



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE DATOS CON LA
TECNOLOGÍA LTE EN REDES DE TELEFONÍA MÓVIL**

Salomón Haref Esquit Valdez

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Archila Moran

Guatemala, enero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE DATOS CON LA
TECNOLOGÍA LTE EN REDES DE TELEFONÍA MÓVIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SALOMÓN HAREF ESQUIT VALDEZ

ASESORADO POR EL ING CARLOS EDUARDO ARCHILA MORAN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva De Los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE DATOS CON LA TECNOLOGÍA LTE EN REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha octubre 2018.

Salomón Haref Esquit Valdez

Guatemala, 23 de noviembre de 2021

Ingeniero
Julio César Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero:

Por este medio me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado **MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE DATOS CON LA TECNOLOGÍA LTE EN REDES DE TELEFONÍA MÓVIL**, desarrollado por el estudiante Salomón Haref Esquit Valdez, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Por lo tanto, el autor de este trabajo y yo como asesor, nos hacemos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro en particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Carlos Eduardo Archila Morán
Ingeniero Electrónico
Colegiado 12,928


Ing. Carlos Eduardo Archila Morán
Asesor



Guatemala, 29 de noviembre de 2021

Señor director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Señor director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE DATOS CON LA TECNOLOGÍA LTE EN REDES DE TELEFONÍA MÓVIL**, desarrollado por el estudiante **Salomón Haref Esquit Valdez**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Julio César Solares Peñate'.

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

REF. EIME 41.2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante Salomón Haref Esquit Valdez: MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE DATOS CON LA TECNOLOGÍA LTE EN REDES DE TELEFONÍA MÓVIL, procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 29 de noviembre de 2021.

Facultad de Ingeniería

Decanato
24189101-
24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.063.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **MEJORAS EN LA EFICIENCIA DE TRANSMISIÓN DE DATOS CON LA TECNOLOGÍA LTE EN REDES DE TELEFONÍA MÓVIL**, presentado por: **Salomón Haref Esquit Valdez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, enero de 2022

AACE/gaac

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi creador, por darme la sabiduría y fuerzas necesarias para poder concluir otra etapa de mi vida.
- Mis padres** Salomón Esquit y Sonia Valdez, por apoyarme durante todos mis estudios y ser un ejemplo de perseverancia y superación.
- Mi esposa** Ana Ruth González, por su apoyo y ánimo para concluir esta etapa de mi vida.
- Mis hijas** Ana Elizabeth y Ana Marcela, por ser dos ángeles a mi vida.
- Mis abuelos** Laura Valdez, Daniel Esquit (q.e.p.d.). Por todo el cariño recibido, los cuidados y momentos especiales con cada uno.
- Mis suegros** Rudy González y Patricia Alcántara, por sus ánimos para concluir esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por la vida y la oportunidad de concluir esta meta al lado de mis seres queridos.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme forjar mis conocimientos en sus aulas.
Escuela Mecánica Eléctrica	Por compartir sus conocimientos con mi persona para poder hacerme un profesional.
Mis padres	Por su apoyo incondicional durante mi vida y mi carrera.
Mi asesor	Ing. Carlos Archila Moran, por su apoyo y asesoría para concluir con mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Redes móviles	1
1.1.1. Sistemas analógicos - Primera generación	1
1.1.2. Sistema digital – Segunda generación	2
1.1.3. Las redes de tercera generación (WCDMA de UMTS)	4
1.1.4. Cuarta generación de redes (All-IP)	4
1.1.5. Técnicas de acceso múltiple.....	5
1.1.6. Modulación	6
1.1.7. Modelo de referencia OSI.....	7
1.1.8. Modelo OSI (Open Systems Interconnection).....	8
1.2. Segunda generación de redes móviles.....	9
1.2.1. Subsistema de estación base (BSS)	9
1.2.2. Estación base transceiver (BTS)	10
1.2.3. Controlador de la estación base (BSC)	10
1.2.4. Subsistema de red (NSS).....	11
1.2.5. Centro de conmutación móvil (MSC).....	11
1.2.6. Registro de abonados locales (HLR).....	11

1.2.7.	Registro de ubicación de visitantes (VLR).....	11
1.2.8.	Centro de autenticación (AUC).....	12
1.2.9.	Equipo de registros de identidad (EIR).....	12
1.3.	Redes móviles de tercera generación	12
1.3.1.	Red de acceso (RNA)	13
1.3.2.	Estación base (BS).....	13
1.3.3.	Radio Network Controller (RNC)	14
1.3.4.	Red de Núcleo (CN)	14
1.3.5.	WCDMA Centro de Conmutación Móvil (WMSC) y VLR.....	14
1.3.6.	Gateway Centro de Conmutación Móvil (GMSC)	15
1.3.7.	Registro de abonados locales (HLR).....	15
1.3.8.	Nodo de soporte de GPRS (SGSN)	15
1.3.9.	Gateway GPRS (GGSN)	15
1.4.	Evolución a largo plazo (LTE – Long Term Evolution)	16
1.4.1.	Aspectos básicos	16
1.4.2.	Requerimientos y objetivos	18
1.4.3.	Requerimientos de desempeño del sistema.....	18
1.4.4.	Picos de transferencia de datos y eficiencia espectral.....	18
2.	PLANEAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE GPRS.....	21
2.1.	El sistema GPRS.....	21
2.1.1.	Estación móvil GPRS	21
2.1.2.	SGSN, Serving GPRS Support Node	22
2.1.3.	GGSN, Gateway GPRS Support Node	23
2.1.4.	BG, Border Gateway	23
2.1.5.	LIG, Legal Interception Gateway DNS, Domain Name Server	23

2.1.6.	PCU, Packet Control Unit	24
2.2.	Estructura de los protocolos en una red GPRS	24
2.2.1.	Protocolos del móvil.....	25
2.2.2.	Protocolos BS.....	26
2.2.3.	Protocolos SGSN.....	26
2.3.	Planificación de red GPRS	27
2.3.1.	Planeamiento de la red de radio.....	27
2.3.2.	Canales lógicos	28
2.3.3.	Esquemas de codificación	28
2.3.4.	Gestión de la movilidad y de la asignación de recursos de radio (RRM y MM).....	28
2.3.5.	Asignación de recursos	29
2.3.6.	Control de potencia.....	30
2.3.7.	TBF (temporary block flow), flujo de bloque temporario.....	30
3.	ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE	31
3.1.	Arquitectura genérica de los sistemas celulares.....	31
3.2.	Arquitectura general de los sistemas 3GPP	32
3.3.	Arquitectura del sistema LTE.....	32
3.4.	Red de acceso evolucionada: E-UTRAN.....	34
3.4.1.	Arquitectura de E-UTRAN	35
3.4.2.	Entidades de red e interfaces	36
3.4.3.	Protocolos.....	38
3.4.4.	Comparativa E-UTRAN Y UTRAN	40
3.5.	Red troncal de paquetes evolucionada (EPC).....	43
3.5.1.	Arquitectura de EPC	44
3.5.2.	Entidades de red e interfaces	44
3.5.3.	Protocolos.....	46

3.5.4.	Configuraciones de la red EPC	46
3.5.5.	Soporte de itinerancia (<i>roaming</i>)	46
3.6.	IP Multimedia Subsystem (IMS)	48
4.	DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA LTE	49
4.1.	Estación móvil GPRS	49
4.1.1.	Tecnologías clave para redes de cuarta generación.....	50
4.1.2.	Multiplexación por división de frecuencia ortogonal	50
4.1.3.	Redes Todo IP	52
4.1.4.	Redes de área local inalámbricas	54
4.1.5.	Retos en redes inalámbricas 4G	54
4.2.	Redes LTE	55
4.2.1.	Red CDMA	57
4.2.2.	Red LTE	60
	CONCLUSIONES.....	61
	RECOMENDACIONES	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Capas, protocolos e interface.....	7
2.	Componentes del sistema.....	9
3.	Red GPRS	22
4.	Estructura de protocolos de la red GPRS	24
5.	Asignación de TS para PS y CS	29
6.	La arquitectura básica de un teléfono móvil.....	31
7.	Arquitectura 3GPP	32
8.	Arquitectura red LTE	34
9.	Red de acceso E-UTRAN	36
10.	Protocolos de las interfaces S1 (izquierda) y X2 (derecha).....	39
11.	Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN	42
12.	Punto de acceso inalámbrico	47
13.	Incremento de capacidad usando sistema de antenas MIMO.....	51
14.	Ejemplo de una red Todo IP.....	53
15.	Principio FDM.....	56
16.	Ortogonalidad de las ondas portadoras	57

TABLAS

I.	GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles).....	3
II.	Entidades de red e interfaces de E-Trun.....	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
bps	Bit por segundo
BC	Broadcast
CS	Circuit switching
CN	Core network
4G	Cuarta generación de redes móviles
EPS	Enhanced packet switching
eNB	Evolved node B
f	Frecuencia
0G	Generación cero de redes móviles
Gbps	Giga bit por segundo
GHz	Giga hertz
Hz	Hertz
HeNB	Home evolved node B
Kbps	Kilo bit por segundo
KHz	Kilo hertz
Mbps	Mega bit por segundo
MHz	Mega hertz
MMS	Multimedia message service
FDM	Multiplexación por división de frecuencia
TDM	Multiplexación por división de tiempo
NB	Node B
PS	Packet switching
1G	Primera generación de redes móviles

QoS	<i>Quality of service</i>
5G	Quinta generación de redes móviles
RNS	<i>Radio network subsystem</i>
2G	Segunda generación de redes móviles
SMS	<i>Short message service</i>
Tbps	Tera bit por segundo
THz	Tera hertz
3G	Tercera generación de redes móviles
UE	User equipment

GLOSARIO

APN	Access point name. Conjunto de configuraciones asignada a un grupo de UE para su acceso a internet.
ATM	Asynchronous transfer mode. Modo de transferencia de datos de manera asíncrona.
AuC	Authentication center. Elemento de red responsable de la autenticación de usuarios.
EIR	Equipment identity register. Elemento e red responsable de indicar si el usuario tiene, o no, autorización para registrarse en la red.
EUTRAN	Evolved UMTS terrestrial radio access network. Técnica utilizada por LTE para el acceso a la red.
FCC	Federal communications commission. Entidad encargada de velar por que las UE cumplan con los requisitos de radiación mínimos para evitar daños a los seres humanos.
GGSN	Gateway GPRS support node. Elemento de red responsable de brindar el enlace a la nube al usuario.

GPRS	General packet radio service. Protocolo de segunda generación para la transferencia de datos.
HEnB	Home eNB. Elemento de red que permite la conexión de usuarios a la red.
HEnB-GW	Home eNB gateway. Elemento de red que permite la conexión de usuarios al bloque de red ECP.
HLR	Home location register. Elemento de red que almacena información de los usuarios de la red.
HSDPA	High-speed downlink packet access. Tecnología 3G para redes móviles especialmente diseñada para enlaces descendentes.
HSPA	High-speed packet access. Tecnología 3G para redes móviles.
HSPA+	Evolved high-speed packet access. Tecnología 3,75G para redes móviles.
LTE	Long term evolution. Tecnología 3,9G para redes móviles.
SGSN	Serving GPRS support node. Elemento de red responsable de enviar las solicitudes de navegación al GGSN.

SMSC	Short message service center. Elemento de reencargado de la administración y entrega de los mensajes de texto corto.
Streaming	Servicio proporcionado por la red, para ver videos en línea a altas velocidades.
S-GW	Serving – gateway. Elemento de red encargado de enviar las solicitudes de acceso al P-GW.
UTRAN	UMTS terrestrial radio access network. Técnica utilizada por HSPA+ para el acceso a la red.
VLR	Visitor location register. Elemento de red que almacena información sobre usuarios visitantes en la red.
3GPP	Third generation partnership project. Entidad responsable de la estandarización y control de los protocolos para las tecnologías de telecomunicaciones.

RESUMEN

El termino LTE se acuñó inicialmente en 3GPP para denominar una línea de trabajo interna cuyo objeto de estudio era la evolución de la red de acceso de UMTS, denominada como UTRAN.

Formalmente, la nueva red de acceso recibe el nombre de E-UTRAN (Evolved UTRAN), aunque muchas veces se utiliza también el término LTE en las especificaciones como sinónimo de E-UTRAN.

En lo concerniente a la red troncal, 3GPP utilizó el término SAE (System Architecture Evolution), para referirse a las actividades de estudio relacionadas con la especificación de una red troncal evolucionada de conmutación de paquetes.

Formalmente, dicha red troncal se denomina EPC (Evolved Packet Core), o también Evolved 3GPP Packet Switched Domain, y de la misma forma que pasa con la red de acceso, es común encontrar el término de SAE como sinónimo de EPC.

La combinación de la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC es lo que constituye la nueva red UMTS evolucionada y recibe el nombre formal de EPS (Evolved Packet System). La primera especificación del sistema EPS ha sido incluida en las especificaciones del 3GPP.

Con esta red logramos mejorar la carga y descarga de datos móviles de una manera mucho más eficiente y alcanzar velocidades de descarga de 326 Mbps

para antenas de 4x4 y 172 Mbps para antenas de 2x2, así también velocidades de subida de 86 Mbps, todas estas velocidades están sujetas a los parámetros óptimos, ya en la práctica pueden variar los valores.

OBJETIVOS

General

Desarrollar de manera documental, la información de la última tecnología utilizada en la red de telefonía móvil, para tener una herramienta que proporcione el conocimiento necesario para competir en el ámbito laboral en el área de telefonía móvil

Específicos

1. Dotar a los profesionales de Ingeniería Mecánica Electrónica de una herramienta técnica de información, que contemple el funcionamiento de la red móvil LTE.
2. Documentar los protocolos, procedimientos y funcionamiento de la red telefonía móvil LTE.
3. Proporcionar un instrumento idóneo, que proporcione las bases necesarias de telefonía móvil LTE, que proporcione conocimiento actualizado y contribuya a facilitar el acceso al mercado laboral de la telefonía móvil LTE.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información y las comunicaciones en general y las comunicaciones móviles en particular tienen una incidencia decisiva en el crecimiento económico, la competitividad y la mejora de la productividad. El terminal móvil ha llegado a constituir hoy en día una parte esencial en la esfera de objetos personales.

En este contexto, la industria de las comunicaciones móviles ha venido aportando soluciones al mercado, en la forma de sucesivas generaciones de sistemas.

La globalización de los mercados y la búsqueda de economías de escala son algunos de los principales argumentos (esgrimidos ya en la concepción de la segunda generación de comunicaciones), que justifican el interés y el desarrollo de sistemas estándares, resultado del consenso entre los diferentes agentes implicados. Así, los diferentes organismos y foros de estandarización adquieren una relevancia muy significativa en el marco general del negocio de las comunicaciones móviles

En el caso de LTE, las especificaciones emanan del 3GPP. Puede decirse que el primer paso hacia LTE se llevó a cabo en noviembre de 2004, cuando 3GPP TSG RAN organizó un Workshop sobre “RAN Evolution” en Toronto (Canadá), en el que se presentaron unas 40 contribuciones con ideas, propuestas, entre otros.

En el propio Workshop se identificaron una serie de requisitos de alto nivel, como un coste por bit reducido, mejora en la provisión de servicios, flexibilidad en el uso de las bandas frecuenciales, arquitectura simplificada con interfaces abiertos, consumo de potencia en el terminal razonable, entre otros.

También se puso de manifiesto que el esfuerzo de estandarización que esta evolución, bautizada como E-UTRAN (Evolved UTRAN), llevaría asociado sólo resultaría justificable si las mejoras fueran significativas.

1. GENERALIDADES

1.1. Redes móviles

Las redes móviles se diferencian unas de otras por la palabra generación, por ejemplo, primera generación, segunda generación, entre otras. Esta modalidad es muy apropiada, debido a que hay un gran salto generacional tecnológico entre ellas.

La primera generación de los sistemas móviles eran sistemas analógicos, disponibles en la década de los ochenta, denominados NMT (Nordic Mobile Telephone). Ofrecían principalmente servicios de voz y servicios relacionados, y eran prácticamente incompatibles entre ellos. Sus principales limitaciones eran los servicios ofrecidos limitados y la incompatibilidad.

1.1.1. Sistemas analógicos - Primera generación

El primer sistema de comunicaciones móviles se inició en la década de 1980 y se basaba en la técnica de transmisión analógica. No estaba disponible en todo el mundo (o incluso a escala europea), y a nivel sistema, tampoco existía una organización para la coordinación y el desarrollo de normas técnicas para desplegar el sistema.

Los países nórdicos desplegaron el sistema Nordic Mobile Telephones o TNM, mientras que Reino Unido e Irlanda fue el Total Access Communication Systems o TACS.

La itinerancia (*roaming*), no era posible, como así también no era posible el uso eficiente del espectro de frecuencia.

1.1.2. Sistema digital – Segunda generación

A mediados de la década de 1980 la Comisión Europea inició una serie de actividades destinadas a liberar el sector de las comunicaciones, incluidas las comunicaciones móviles.

Esto dio lugar a la creación del ETSI, que heredó todas las actividades de normalización en Europa. Éste vio el nacimiento de las primeras especificaciones, y la red basada en la tecnología digital, se llamó Sistema Global para Comunicaciones Móviles, o GSM.

Desde que las redes aparecieron por primera vez a principios de 1991, el GSM ha evolucionado para satisfacer las necesidades de datos de tráfico y ofrecer muchos más servicios que las redes originales.

Tabla I. **GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles)**

<p>Los principales elementos de este sistema son</p>	<p>BSS (Base Station Subsystem), en el que hay el BTS (Base Transceiver Station) y BSC (Base Station Controller); y el NSS (Network Switching Subsystem), en el que está el MSC (Mobile Switching Centre); VLR (Visitor Location Register), HLR (Home Location Register), AC (Centro de autenticación), y EIR (Equipment Registro de Identidad). Esta red es capaz de proporcionar todos los servicios básicos tales como voz y servicios de datos de hasta 9,6 kbps, fax, entre otros. Esta red GSM también tiene una extensión hacia las redes de telefonía fija.</p> <p>GSM y VAS (Servicios de Valor Agregado): El siguiente avance en el sistema GSM fue la adición de dos plataformas, llamadas de correo de voz (VMS) y el de mensajes cortos Service Center (SMSC). El SMSC ha demostrado tener un gran éxito comercial, tanto es así que, en algunas redes, el tráfico de SMS constituye una parte importante del total de tráfico. Junto con el VAS, IN (Intelligent Services) también hizo su marca en la red GSM, con la ventaja de dar a los operadores la oportunidad de crear toda una gama de nuevos servicios. La gestión del fraude y los servicios "pre-pagado" son el resultado de los servicios IN.</p> <p>GSM y GPRS (General Packet Radio Services): Como los requerimientos para el envío de datos en la interface aire aumento, nuevos elementos tales como SGSN (Serving GPRS) y GGSN (GPRS Gateway) se han añadido al sistema GSM existentes. Estos elementos hicieron posible enviar paquetes de datos en la interfaz aire-. Esta parte de la red que se encarga del tráfico de datos también se denomina 'packet core network'.</p> <p>Aparte de los SGSN y GGSN, también contiene los enrutadores IP, servidores de firewall y DNS (servidores de nombres de dominio). Esto permite el acceso inalámbrico a la Internet y la velocidad de transferencia de datos alcanza a 150 kbps en óptimas condiciones.</p> <p>GSM y EDGE (Enhanced Data rates in GSM Environment): ofrece tráfico de voz y datos en movimiento, en la que se aumentó la tasa de datos, utilizando métodos de codificación más sofisticados a través de Internet, aumentando así los la tasa de datos hasta 384 kbps.</p>
------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: elaboración propia.

1.1.3. Las redes de tercera generación (WCDMA de UMTS)

Con EDGE, fue posible transmitir un gran volumen de tráfico de datos, pero aun así la transferencia de paquetes en la interface de aire se comporta como una comunicación en conmutación de circuitos. De esta manera, en la conexión, la eficiencia decae en un sistema de conmutación de circuitos. Las normas para el desarrollo de las redes fueron diferentes para diferentes partes del mundo. Por lo tanto, se decidió tener una red que proporciona servicios independientes de la tecnología de la plataforma y estándares de red cuyo diseño son los mismos a nivel mundial. Así, nació la 3G. En Europa, fue llamada UMTS (Universal Terrestrial Mobile System), y es impulsada por el ETSI. IMT-2000 es el nombre del ITU-T para el sistema de tercera generación, mientras que CDMA2000 es el nombre de la variante estadounidense 3G. WCDMA es la tecnología de interfaz de aire para el UMTS.

1.1.4. Cuarta generación de redes (All-IP)

La razón fundamental de la transición hacia la All-IP (todo IP), es tener una plataforma común para todas las tecnologías que se han desarrollado hasta el momento, y para armonizar con las expectativas del usuario de los muchos servicios que se presten.

La diferencia fundamental entre la GSM/3G y All-IP es que la funcionalidad de la RNC y BSC se distribuye ahora a la BTS y un conjunto de servidores y gateways. Esto significa que esta red será menos costosa y la transferencia de datos será mucho más rápida.

1.1.5. Técnicas de acceso múltiple

El concepto básico de acceso múltiple es permitir que las estaciones transmisoras transmitan a las estaciones receptoras, sin ninguna interferencia. Las portadoras disponibles para la transmisión de información se programan de tal manera que las mismas están separadas por frecuencia, tiempo y códigos para alcanzar este objetivo. La denominación de estas tecnologías es conocida como se detallan a continuación:

- **FDMA:** esta es la técnica más tradicional en las comunicaciones de radio, y se basa en la separación de las frecuencias entre las portadoras. Todo lo que se requiere es que las emisoras deben transmitir en las diferentes frecuencias y su modulación, no debe interferir en las frecuencias de las restantes portadoras. Es decir, el ancho de banda de cada canal debe ser menor que la separación de cada frecuencia portadora.
- **TDMA:** cuando las comunicaciones móviles pasaron a la segunda generación, FDMA no se consideró una manera eficaz para la utilización de frecuencias, y se introdujo el acceso múltiple por división temporal. Una frecuencia portadora puede ser compartida en el tiempo por varios usuarios (de allí su denominación). Así, varios usuarios pueden usar la misma frecuencia aumentando, de esta manera, la eficiencia espectral. Cada usuario utiliza lo que se denomina una ranura temporal, que se genera continuamente. A modo de ejemplo, en la tecnología GSM, cada portadora puede ser dividida en ocho ranuras temporales (time slot).
- **CDMA:** con el uso de la técnica de espectro ensanchado, el acceso múltiple por división de código combina la modulación y el acceso múltiple para lograr un cierto grado de eficacia de la información y protección.

Desarrollado inicialmente para aplicaciones militares, se fue desarrollando progresivamente en un sistema que prometía una mejor eficiencia espectral y calidad de servicio en un ambiente de congestión del espectro y de interferencia. En esta tecnología, a cada usuario se le asigna un código independiente ortogonal en la función de transacción. Un usuario puede tener varios códigos, en determinadas condiciones. Así, la separación no se basa en la frecuencia o el tiempo, pero si sobre la base de los códigos ortogonales. Todos los usuarios utilizan la misma frecuencia portadora, pero la información de cada usuario está afectada por el código ortogonal asignado que se diferencia de los demás usuarios que están comunicándose en esa radio base (a modo de ejemplo). Las principales ventajas en la utilización de un sistema CDMA es que no hay ningún plan para la reutilización de frecuencias, el número de los canales es mayor, y se obtiene una utilización óptima de ancho de banda, y la confidencialidad de la información está muy bien protegida.

1.1.6. Modulación

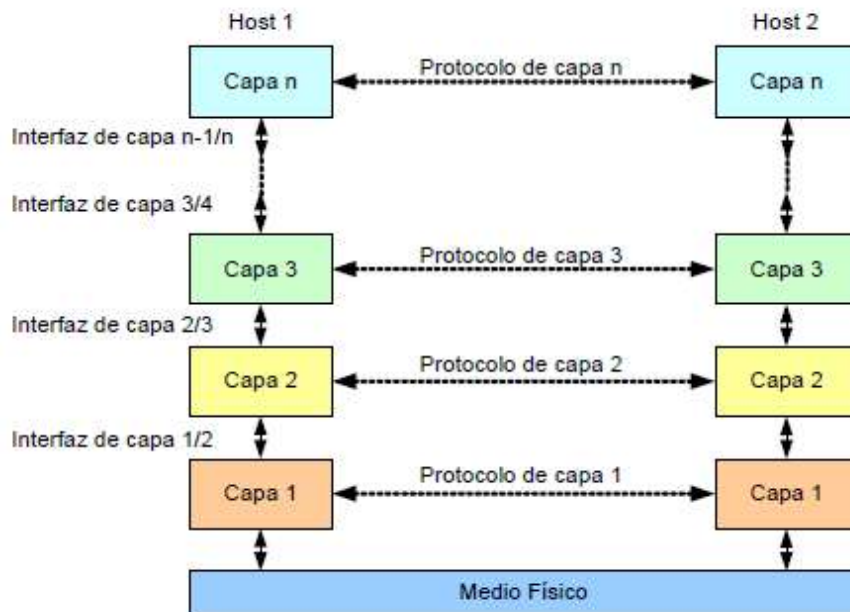
GMSK es el método de modulación de las señales en GSM. Se trata de un tipo especial de método de modulación derivado de la fase mínima Shift Keying (MSK). Pertenece al esquema de modulación de frecuencia. La principal desventaja de MSK es que tiene un espectro relativamente amplio de operación, por lo que GMSK fue elegido para ser el método de modulación, ya que optimiza el uso de los recursos asignados (Ancho de banda del sistema). La modulación GMSK trabaja con dos frecuencias y es capaz de pasar fácilmente entre las dos. La principal ventaja de GMSK es que no contiene ninguna parte de la modulación de amplitud y que el ancho de banda requerido de la frecuencia de transmisión es de 200kHz, un ancho de banda aceptable por las normas GSM. Este es el esquema de modulación utilizado en redes GSM y GPRS.

1.1.7. Modelo de referencia OSI

La comprensión, diseño y construcción de redes de computadoras sería una tarea muy difícil si no se participa el problema en tareas más pequeñas; tradicionalmente el problema se encuentra dividido en capas o niveles.

El número de capas, el nombre, el contenido y la función de cada una difieren de red en red. La idea de utilizar capas o niveles es que cada una es responsable de proveer un servicio a la capa superior utilizando los servicios de la capa inferior.

Figura 1. Capas, protocolos e interface



Fuente: elaboración propia.

1.1.8. Modelo OSI (Open Systems Interconnection)

OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos), conocido como el modelo de referencia OSI, describe como se transfiere la información desde una aplicación de software en una computadora a través del medio de transmisión hasta una aplicación de software en otra computadora. OSI es un modelo conceptual compuesto de siete capas; en cada una de ellas se especifican funciones de red particulares. Fue desarrollado por la ISO (Organización Internacional de Estándares), en 1984 y actualmente se considera el principal modelo de referencia de arquitectura para la comunicación de computadoras. La UIT adoptó la norma propuesta por la ISO (ISO7498), y la incorporó a sus estándares con la sigla X.200.

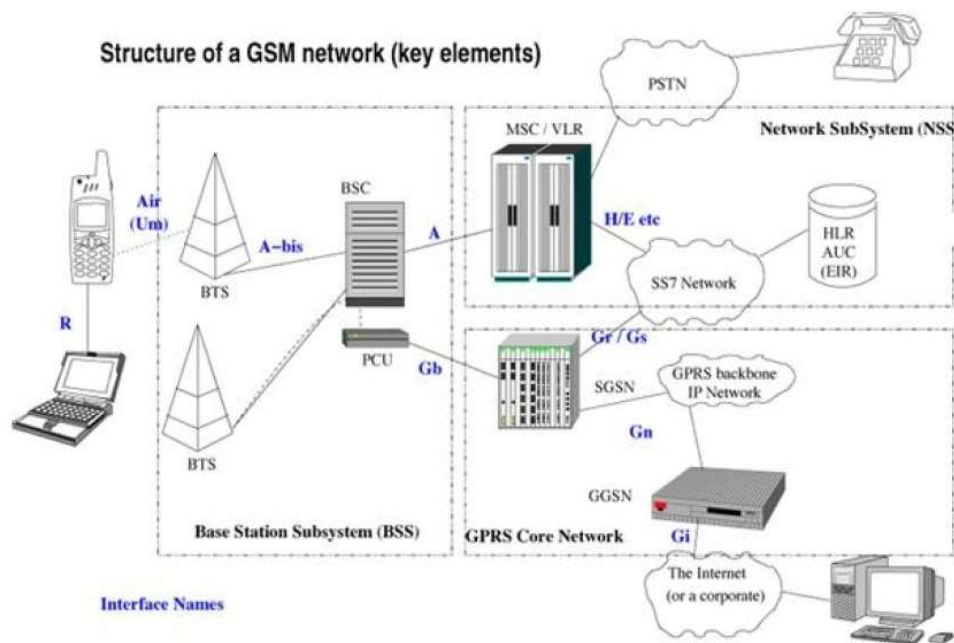
El modelo OSI divide las funciones implicadas en la transferencia de la información entre computadoras de red, en siete grupos de tareas más pequeños y fáciles de manejar. A cada una de las siete capas se asigna una tarea o grupo de tareas. Cada capa es razonablemente individual, por lo que las tareas asignadas a cada capa se pueden implementar de manera independiente. Esto permite que las soluciones ofrecidas a cada capa se puedan actualizar sin afectar a las demás. Se detallan las siete capas del modelo OSI:

- Capa 7 – Capa de aplicación
- Capa 6 – Capa de presentación
- Capa 5 – Capa de sesión
- Capa 4 – Capa de transporte
- Capa 3 – Capa de red
- Capa 2 – Capa de enlace de datos
- Capa 1 – Capa física

1.2. Segunda generación de redes móviles

De todos los sistemas de segunda generación de telefonía móvil existentes, GSM es la más utilizada. En esta sección se describirá brevemente este sistema a través de sus componentes más importantes. Se divide en tres partes principales, subsistema de estación base, el subsistema de red y sistema de gestión de red, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2. Componentes del sistema



Fuente: elaboración propia.

1.2.1. Subsistema de estación base (BSS)

El BSS consiste en una estación con transmisores y receptores (transceivers), base (BTS), controlador de estación base (BSC), y sub-

transcodificador multiplexor (TCSM). Esta última a veces se encuentra físicamente en el MSC, centro de conmutación de móviles. El BSC también cuenta con tres interfaces estándar para la red fija, es decir, Abis, A y X.25.

1.2.2. Estación base transceiver (BTS)

Este administra la interfaz entre la red y la estación móvil. Realiza la importante función de actuar como un centro para la totalidad de la infraestructura de red. Los terminales móviles están vinculados a la BTS a través de la interfaz aérea. La transmisión y recepción en la BTS con el móvil se realiza a través de antenas omnidireccionales o direccionales (por lo general con sectores de 120 grados).

Las funciones principales de la estación base son la transmisión de señales en el formato deseado, la codificación y decodificación de las señales, corregir los efectos de la propagación multirrayecto de transmisión mediante el uso de algoritmos de ecualización, la codificación de los flujos de datos, mediciones de la calidad y potencia de la señal recibida, el funcionamiento y la gestión de la estación de base del propio equipo.

1.2.3. Controlador de la estación base (BSC)

Esto controla el subsistema de radio, especialmente las estaciones BTS. Las principales funciones del controlador de estaciones base incluyen la gestión de los recursos de radio y entrega. También es responsables del control de la potencia transmitida, la dirección y gestión de O & M y su señalización, configuraciones de seguridad y alarmas.

1.2.4. Subsistema de red (NSS)

El subsistema de red actúa como una interfaz entre la red GSM y las redes públicas, PSTN / ISDN. Los principales componentes del NSS son MSC, HLR, VLR, AUC, y el EIR.

1.2.5. Centro de conmutación móvil (MSC)

El MSC es el centro de conmutación de móviles. Es uno de los elementos más importante de la NSS, ya que es responsable de las funciones de conmutación que son necesarios para las interconexiones entre los usuarios móviles y otros usuarios de la red móvil y fija. Con este fin, el MSC hace uso de los tres componentes principales de la NSS, es decir, HLR, VLR y las AUC.

1.2.6. Registro de abonados locales (HLR)

El HLR contiene la información relativa a cada abonado móvil, tal como el tipo de suscripción, los servicios que el usuario puede utilizar, actual ubicación del abonado y estado de los equipos móviles. La base de datos en el HLR permanece intacta y sin cambios hasta la finalización de la suscripción.

1.2.7. Registro de ubicación de visitantes (VLR)

El VLR entra en acción una vez que el suscriptor cambia a otra región de cobertura. A diferencia de los HLR, el VLR es dinámico por naturaleza y se relaciona con el HLR cuando es necesaria la recodificación de los datos de un abonado móvil particular. Cuando el suscriptor cambia a otra región, la base de datos del abonado también se desplazó a la VLR de la nueva región.

1.2.8. Centro de autenticación (AUC)

El AUC (o AC), es responsable de vigilar las acciones en la red. Esto tiene todos los datos necesarios para proteger la red contra los “falsos” abonados y proteger a las llamadas de suscriptores regulares. Hay dos claves importantes en los estándares GSM: el cifrado de comunicaciones entre los usuarios móviles, y la autenticación de los usuarios. El cifrado se lleva a cabo tanto en los equipos móviles, en los AUC y en la información protegida contra el acceso no autorizado.

1.2.9. Equipo de registros de identidad (EIR)

Cada unidad móvil tiene su propia identificación personal, que se denota por un número - International Mobile Equipment Identity (IMEI). Este número se instala durante la fabricación del equipo y cumple con los estándares GSM.

Cuando se realiza una llamada, los controles de red verifican este número de identificación, si el mismo no se encuentra registrado en la lista aprobada de equipo autorizado, se deniega el acceso. El EIR contiene esta lista de números autorizados y permite que el IMEI sea verificado.

1.3. Redes móviles de tercera generación

Las redes móviles de tercera generación están diseñadas para la comunicación de tráfico multimedia, con lo que mejora la calidad de imagen y de vídeo, con el consiguiente aumento de las tasas de transmisión de datos dentro de las redes.

En los foros de normalización, la tecnología WCDMA emerge como la más apta, para el desempeño como la interfaz de aire para las redes de tercera generación.

Las especificaciones fueron creadas por el 3GPP, y el sistema WCDMA es ampliamente utilizado tanto para operar en FDD (duplexación por división de frecuencia), o TDD (duplexación por división temporal).

1.3.1. Red de acceso (RNA)

Los principales elementos de esta parte de la red se encuentran en las estaciones base (BS), y en el controlador de red de radio (RNC). Las principales funciones incluyen la gestión de los recursos de radio y gestión de las telecomunicaciones.

1.3.2. Estación base (BS)

La estación base en redes 3G también se conoce como nodo B. La estación base es una importante entidad como interfaz entre la red y la interfaz de aire WCDMA. Al igual que en la segunda generación de redes de comunicaciones móviles, la transmisión y recepción de señales desde la estación base se realiza a través de antenas omnidireccionales o direccionales.

Las principales funciones de la BS incluyen la codificación de canal, intercalación, adaptación de la tasa, difusión, entre otros, junto con el procesamiento de la interfaz de aire.

1.3.3. Radio Network Controller (RNC)

La RNC actúa como una interfaz entre la estación base y la red principal. El RNC es responsable del control de los recursos de radio. También, a diferencia de GSM, el RNC, en relación con la estación base, es capaz de administrar todas las funciones de recursos de radio sin la participación de la red principal.

Las principales funciones del RNC implican carga y control de congestión de las celdas, control de admisión y asignación de código, el enrutamiento de los datos entre las interfaces Iub y Iur.

1.3.4. Red de Núcleo (CN)

La red básica de las redes 3G se compone de dos áreas: una de conmutación de circuitos (CS), y una de conmutación de paquetes (PS). La parte CS controla el tráfico en tiempo real, y el PS se encarga de otros tipos de tráfico. Estos dos dominios están conectados a otras redes (por ejemplo, CS a la PSTN, y el PS a la red IP pública).

El diseño del protocolo de la UE y UTRAN se basa en la nueva tecnología WCDMA, pero las definiciones CN han sido adoptadas de las especificaciones GSM. Los principales elementos de la CN son WMSC / VLR, HLR, MGW (media gateway), de la parte de la CS, y SGSN (nodo de soporte de GPRS), y GGSN (Gateway GPRS) de la parte de la PS.

1.3.5. WCDMA Centro de Conmutación Móvil (WMSC) y VLR

El conmutador y la base de datos son los responsables de las actividades de control de llamadas. WMSC se utiliza para las transacciones del CS, y la

función VLR contiene información sobre el abonado que visita la región, que incluye la ubicación del móvil dentro de la región.

1.3.6. Gateway Centro de Conmutación Móvil (GMSC)

Esta es la interfaz entre la red móvil y el exterior de las redes de CS. Esto establece las conexiones de llamadas que están entrando y saliendo de la red. También define el trayecto para establecer la conexión WMSC / VLR.

1.3.7. Registro de abonados locales (HLR)

Esta es la base de datos que contiene toda la información relacionada con el usuario móvil y la clase de servicios suscrito.

1.3.8. Nodo de soporte de GPRS (SGSN)

El SGSN mantiene una interfaz entre el RNC y el dominio PS de la red. Es el principal responsable de cuestiones de gestión de la movilidad como el registro y actualización de la UE, las actividades relacionadas con la localización, y las cuestiones de seguridad para la red PS.

1.3.9. Gateway GPRS (GGSN)

Esto actúa como una interfaz entre la red 3G y las redes externas de la PS. Sus funciones son similares a los GMSC en el dominio CS, pero para el dominio PS.

1.4. Evolución a largo plazo (LTE – Long Term Evolution)

Evolución a Largo Plazo (LTE), es el paso más reciente en la evolución de los sistemas de telecomunicaciones móviles.

Las comunicaciones móviles nacieron en la época de los cincuenta con el desarrollo el concepto de celdas. El uso de celdas ha permitido aumentar la capacidad de una red de comunicaciones móviles, mediante la división del área de cobertura en pequeñas celdas, y el reuso de unas pocas frecuencias.

La época de los ochenta se introdujeron los primeros sistemas de comunicaciones móviles a gran escala, conocidos como Sistemas de Primera generación. Esta primera generación de tecnologías se basaba en moduladores analógicos:

- AMPS: Analogue Mobile Phone System, utilizado en America
- TACS: Total Access Communication System, utilizado en partes de Europa.
- NMT: Nordic Mobile Telephone, utilizado en partes de Europa
- J-TACS: Japanese Total Access Communication System, utilizados en Japón y Hong Kong.

1.4.1. Aspectos básicos

El espectro radioeléctrico es un medio compartido entre diversas tecnologías, lo que implica que la interferencia es difícil de mitigar. Como consecuencia, existen organismos reguladores, en particular la UIT-R (Unión Internacional de telecomunicaciones, sector de la comunicación de radio), que

desempeñan un papel muy importante para ayudar la coexistencia entre múltiples tecnologías.

Las porciones del espectro radioeléctrico asignado a las tecnologías de comunicaciones móviles se identifican como parte de la familia Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT – Internacional Mobile Telecommunications). 3GPP, Third Generation Partnership Project es actualmente el grupo de desarrollo de normas dominante para los sistemas de comunicaciones móviles.

LTE fue diseñado desde el principio con el objetivo de evolucionar la tecnología de acceso de radio bajo el supuesto de que todos los servicios serían basados en la conmutación de paquetes. Además de la evolución en el método de acceso, LTE es acompañado por la evolución de su arquitectura de red, denominada bajo el término System Architecture Evolution (SAE), este incluye la Red Núcleo de Paquetes Evolucionada (EPC – Evolved Packet Core). Juntos, LTE y SAE comprenden el Sistema de Paquetes Evolucionado (EPS – Evolved Packet System), donde tanto el núcleo de la red como el acceso de radio son de conmutación de paquetes. LTE se beneficia de los avances más recientes en comprensión de datos, y la evolución de la tecnología HSPA y HSPA+, especialmente aquellas en relación a las optimizaciones de la pila de protocolos, mientras que también adopta una tecnología radicalmente nueva sin las limitaciones de compatibilidad con versiones anteriores y ancho de banda escalable. LTE puede funcionar en modos FDD (Frequency-Division Duplex), y TDD (Time-División Duplex), en un marco armonizado, diseñado también para apoyar la evolución de TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access), que ha sido desarrollado en 3GPP como una rama adicional de la ruta de acceso de la tecnología UMTS, esencialmente para el mercado chino.

1.4.2. Requerimientos y objetivos

Los requisitos pueden resumirse como sigue:

- Reducir el consumo de potencia a un nivel más razonable para el terminal móvil.
- Brindar una alta tasa transferencia de datos.
- Efectivizar el uso del espectro radioeléctrico, tanto en bandas preexistentes como nuevas.
- Reducir el costo por bit, lo que implica mejorar la eficiencia espectral.
- Permitir la movilidad transparente, incluso entre las tecnologías de acceso diferentes.
- Reducir retrasos de establecimiento de la conexión y transmisión de datos.
- Desarrollar una Arquitectura de Red simplificada y más eficiente.
- Aumentar la eficiencia de transmisión de datos en los bordes de las celdas, donde la cobertura es marginal, para proporcionar uniformidad de prestación de servicios.

1.4.3. Requerimientos de desempeño del sistema

La mejora en la performance fue el requerimiento más importante que exigían los operadores de redes.

1.4.4. Picos de transferencia de datos y eficiencia espectral

Cuando se comparan las capacidades de diferentes tecnologías de comunicaciones móviles se pone gran énfasis en las capacidades máximas de transferencia de datos. Mientras que esto puede ser un indicador de cuan tecnológicamente avanzado es el sistema, puede no ser un diferenciado clave en

la práctica, debido a que hay diversos escenarios de uso para un sistema de comunicaciones móviles que afectan la percepción del usuario.

Es relativamente fácil diseñar un sistema que puede proporcionar velocidades de datos pico muy alta para usuarios cercanos a la estación base, donde la interferencia de otras células es baja y técnicas tal como MIMO puede utilizarse en su mayor medida. Es mucho más difícil proporcionar altas velocidades de datos con buena cobertura y movilidad, pero son exactamente estos últimos aspectos los que contribuyen más firmemente a la satisfacción de los usuarios.

2. PLANEAMIENTO Y OPTIMIZACIÓN DE GPRS

2.1. El sistema GPRS

Es el método que se utilizó para la transferencia de datos o paquetes en la segunda generación de la telefonía 2g. Alcanza velocidades de transferencia relativamente bajas para el consumo actual de datos. En esta tecnología es donde se inicia con la distinción de nodos uno para la parte análoga o voz y otro para la conmutación de paquetes o datos.

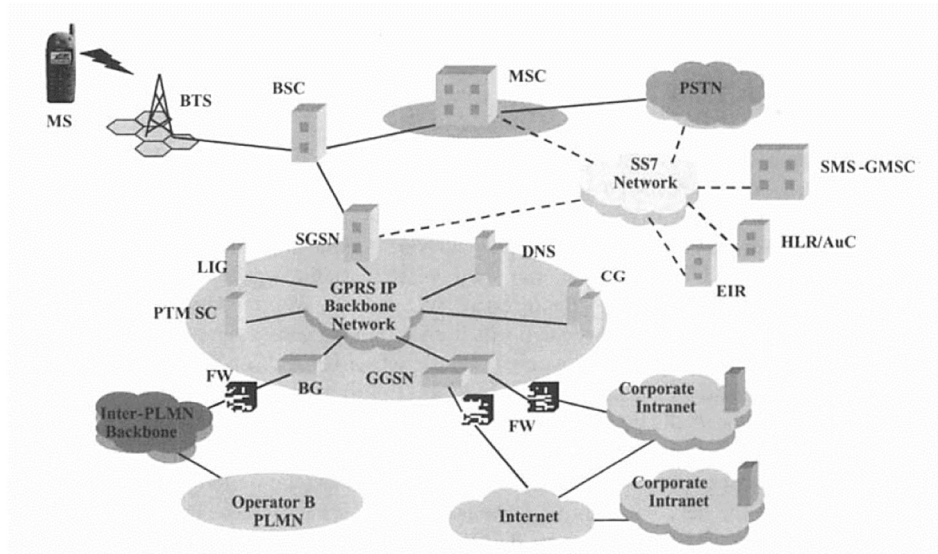
2.1.1. Estación móvil GPRS

Siendo que el sistema GPRS es la adición del servicio de conmutación de paquetes al sistema GSM, incorpora nuevos elementos de red capaces de realizar esta conmutación. Los dos elementos principales son:

- SGSN: Serving GPRS Support Node
- GGSN: Gateway GPRS Support Node

Todos los elementos de la red GSM ya han sido detallados anteriormente por tanto solo se revisarán los elementos nuevos o aquellos que hayan sufrido cambios importantes.

Figura 3. Red GPRS



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. SGSN, Serving GPRS Support Node

El nodo de soporte al servicio GPRS o SGSN es el elemento más importante de la red GPRS. Constituye el elemento de acceso al servicio de la estación móvil. Sus principales funciones son las de proporcionar gestión de la movilidad del usuario, registración y autenticación. Adicionalmente interactúa con el móvil para proporcionar servicios de cifrado y compresión del flujo de datos. Estos servicios son gestionados por medio de protocolos como SNDCP (Sub-network Dependent Convergence Protocol), y LLC (Logical Link Control). El SGSN es también responsable por el tunelling GTP (GPRS Tunnelling Protocol), hacia otros nodos GGSN o SGSN.

2.1.3. GGSN, Gateway GPRS Support Node

El GGSN se conecta al SGSN hacia el lado de la red y hacia las redes del mundo externo tales como la Internet (conceptualmente también aquí se define X.25 pero en la práctica su uso no se ha extendido). Al ser un Gateway hacia redes externas, su principal función es la de actuar como muralla de contención frente a estas redes a fin de proteger la red GPRS. Cuando llegan datos desde la red externa y luego de verificarse su dirección los datos son reenviados al SGSN. Si se encuentra que la dirección es inválida los datos se descartan. En el sentido inverso, el GGSN enruta los paquetes que recibe de los móviles hacia redes externas. Para las redes externas el GGSN es simplemente un router en él se encuentra conectada la red GPRS.

2.1.4. BG, Border Gateway

La pasarela de borde, o mejor llamado (por su nombre en inglés), Border Gateway interconecta a los diferentes backbones de los operadores GPRS, permitiendo la utilización e implementación de acuerdos de roaming. Esta conectividad está basada en la tecnología de enrutamiento IP estándar.

2.1.5. LIG, Legal Interception Gateway DNS, Domain Name Server

El LIG o pasarela de intercepción legal realiza las funciones legales de la red. Los datos del abonado y de su señalización pueden ser interceptados mediante el uso de esta pasarela. Por tanto, permitiendo a las autoridades que se rastreen actividades criminales. Debería de ser considerado un requerimiento obligatorio por parte de las entidades regulatorias al momento de lanzar el servicio GPRS.

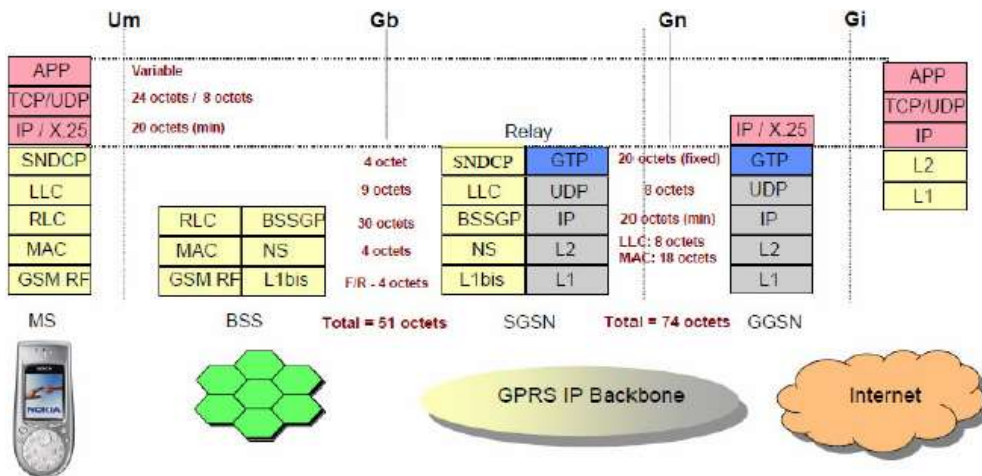
2.1.6. PCU, Packet Control Unit

Suele ser una tarjeta localizada en la BSC para gestionar el tráfico GPRS. La PCU tiene limitaciones respecto del número de transceptores y estaciones base que puede gestionar. Por tanto, suele ser responsable de los cuellos de botella en términos de capacidad. Incrementar la capacidad de la red GPRS lleva a un incremento de las PCUS y por tanto de los costos de hardware de la red.

2.2. Estructura de los protocolos en una red GPRS

La estructura de protocolos de la red GPRS es diferente de la de la red GSM. La misma se muestra en la figura.

Figura 4. Estructura de protocolos de la red GPRS



Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Protocolos del móvil

Hay dos tipos de capa física definidas en la especificación GSM 05: la capa de RF y la capa de enlace. La capa física de RF realiza la modulación y demodulación de la señal de entrada además de la codificación FEC (Forward Error Correction), interleaving y la detección de congestión. La capa física de enlace proporciona los servicios que son requeridos para transferir esta información sobre la interfaz de aire; estos incluyen codificación, entramado, sincronización, monitoreo de la calidad de radio, procedimientos de control de potencia, detección y corrección de errores de transmisión, entre otros. La capa física de enlace permite que múltiples móviles utilicen el mismo canal físico.

- La capa RLC/MAC está presente sobre la capa física de RF. El RLC (Control de Enlace de Radio), es responsable de la transmisión de datos sobre la capa física de la interfaz de radio GPRS. También proporciona un enlace a las capas superiores. La capa MAC (Control de Acceso al Medio), como su nombre lo sugiere es responsable de las funciones de control de acceso del móvil sobre la interfaz de aire. Estas funciones incluyen la asignación de canales y la multiplexación de recursos.
- La capa LLC (Control de Enlace Lógico), está presente sobre la capa RLC y como su nombre lo indica es responsable de la creación de un enlace lógico entre el móvil y el SGSN. Por tanto, es responsable de la transferencia de datos y señalización siendo independiente de las capas inferiores.

- La capa SNDCP (Subnetwork Dependent Convergence Protocol), Protocolo convergente dependiente de la subred) realiza el mapeo y funciones de compresión entre las capas de red y las capas inferiores. La compresión tanto de datos como de información de control se realiza a este nivel.

2.2.2. Protocolos BS

BSSGP (Protocolo de GPRS del Subsystema de Estación Base, Base Station Subsystem GPRS Protocol) es responsable de la transferencia de información entre el SGSN y la capa RLC/MAC. Por tanto, su principal función es la de crear el entorno para que los datos fluyan entre estas dos entidades.

2.2.3. Protocolos SGSN

El protocolo GTP (Protocolo de Tunel GPRS, GPRS Tunnelling Protocol) utiliza los servicios de la capa UDP y es responsable de la transferencia de señalización y datos entre nodos pares GSN. Este protocolo forma un tunel por cada suscriptor con servicio y cada túnel se identifica con un TEid (Tunnel Endpoint Identifier).

La suite TCP/IP es el protocolo utilizado en el backbone de la red para enrutamiento de los datos y la información de control. Mientras que TCP es orientado a la conexión y a un servicio de transporte de datos en forma confiable, UDP es un protocolo no orientado a la conexión y que proporciona datos en formato datagrama en forma no confiable. El Protocolo IP es un protocolo orientado a datagrama que proporciona una interfaz común tanto para TCP como para UDP.

2.3. Planificación de red GPRS

La principal diferencia entre la red GPRS y la red GSM es el agregado de la capacidad de transferir datos de la primera. Todas las diferencias en la planeación de red se deben a este aspecto. Las consideraciones respecto del plan de acceso de radio y de red núcleo son las más afectadas, mientras que el impacto en el plan de transmisión es mínimo.

2.3.1. Planeamiento de la red de radio

A rasgos generales el planeamiento de red de radio es similar que el de GSM.

Algunos aspectos cambian debido a la incorporación de la transmisión de datos. Esto principalmente afecta el dimensionamiento y el plan detallado, que impacta directamente sobre el plan de cobertura y capacidad, teniendo por tanto impacto en el plan de calidad de la red de radio. En GSM la calidad de la red de radio es medida de acuerdo al servicio de voz, pero en GPRS la calidad involucra tanto al servicio de voz como al de datos, esto implica cambios en los indicadores de desempeño (KPI, Key Performance Indicators). Se muestran aquellos indicadores que cambian respecto de los de GSM, que incluyen los siguientes conceptos.

2.3.2. Canales lógicos

Debido a la incorporación de la transmisión de paquetes se usan nuevos canales. Un conjunto separado de canales se asigna a la transmisión de datos lo que permite mayor flexibilidad para la señalización. Estos canales son mapeados dentro de un canal de datos físicos (PDCH). Se pueden encontrar diferentes canales lógicos en un mismo canal físico.

2.3.3. Esquemas de codificación

El bloque de radio consiste en el encabezado, los datos e información de control que son básicamente el encabezado MAC, el bloque de datos RLC y la información de control MAC/RLC. Los datos RLC son codificados por seguridad. En los sistemas GPRS, hay cuatro esquemas de codificación utilizados para los datos: CS- 1, CS-2, CS-3 y CS-4.

2.3.4. Gestión de la movilidad y de la asignación de recursos de radio (RRM y MM)

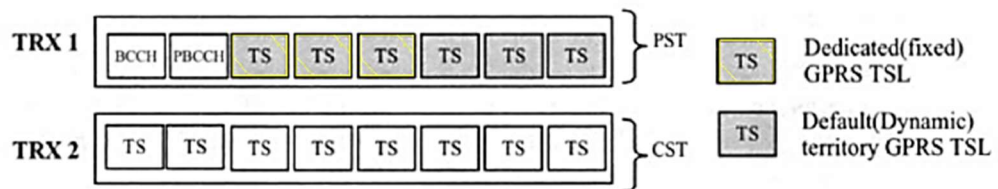
En el sistema GSM, IDLE y DEDICATED son los dos estados posibles de una estación móvil. En el sistema GPRS hay tres estados posibles: IDLE, STANDBY y READY. En el modo IDLE un subscriptor no está conectado a la red GPRS mientras que en el modo STANDBY la red GPRS conoce la localización (a nivel Routing Area), de la estación móvil. La estación móvil entra en el estado READY mediante el envío de un mensaje de solicitud de servicio a la red. En este estado el móvil se encuentra conectado (attached), a la red de GPRS mediante mecanismos de gestión de movilidad (MM) y adicionalmente es conocido por la red en función de su llamada. Una vez que finaliza la llamada la estación móvil entra en modo STANDBY nuevamente. Por tanto, cuando se mueve del estado

STANDBY a READY el SGSN recibe y procesa un mensaje de GPRS Attach Request y cuando se mueve de READY a STANDBY el SGSN recibe y procesa un mensaje de GPRS Detach Request.

2.3.5. Asignación de recursos

La asignación de time-slots de radio también cambia en la interfaz de radio GPRS. Se torna más dinámica. Un móvil GPRS es capaz de usar la red tanto para voz (CS), como para datos (CS y PS). La gestión de tráfico GPRS es realizada por la BSC y realiza la asignación de recursos para CS y PS data. Los time-slots que se usan para el tráfico CS corresponden al territorio CS y los time-slots que se usan para PS corresponden al territorio GPRS. Algunos de los time-slots están en modo dedicado y otros en modo por defecto. Cada grupo de TS corresponde es conocido como territorio.

Figura 5. Asignación de TS para PS y CS



Fuente: elaboración propia.

2.3.6. Control de potencia

El control de potencia en las redes GPRS es más complicado por el agregado del tráfico PS. El control de potencia es tanto en las direcciones de uplink y downlink. El control de potencia en uplink es usado para reducir la interferencia y para ayudar a incrementar el tiempo de vida de la batería del móvil. En la dirección de downlink, el control de potencia se utiliza para controlar la potencia emitida desde la estación base y consecuentemente ayuda a disminuir la interferencia de la red. Como en el sistema GSM, el móvil realiza mediciones de potencia y basado en ellas la estación base controla su potencia emitida.

2.3.7. TBF (temporary block flow), flujo de bloque temporario

Este es un nuevo concepto introducido en las redes GPRS. La red y el móvil establecen una conexión de datos temporaria. Esta conexión es unidireccional por naturaleza y es mantenida en la duración de la llamada. Es establecida para los datos packetizados (por tanto "bloque"), y no es permanente (por tanto, temporaria). Puede ser en *uplink*, *downlink* o en ambas direcciones simultáneamente.

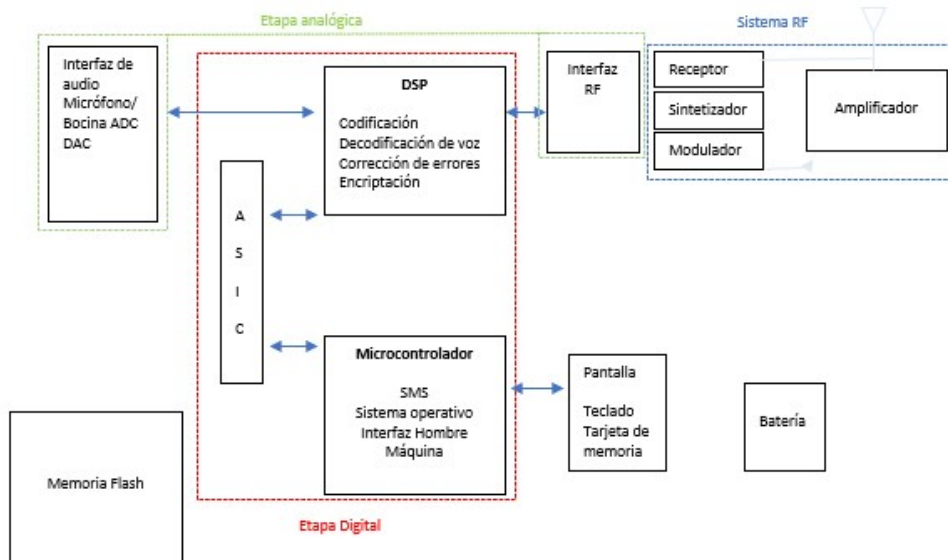
3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA LTE

3.1. Arquitectura genérica de los sistemas celulares

Se entiende por teléfono móvil o celular como un dispositivo electrónico de comunicación, por lo general de tamaño pequeño, peso ligero, portable e inalámbrico que tiene como objetivo principal establecer una comunicación con otros teléfonos móviles o fijos mediante transmisión de radiofrecuencia (RF).

La arquitectura básica de un teléfono móvil se compone a grandes rasgos de los siguientes elementos.

Figura 6. La arquitectura básica de un teléfono móvil

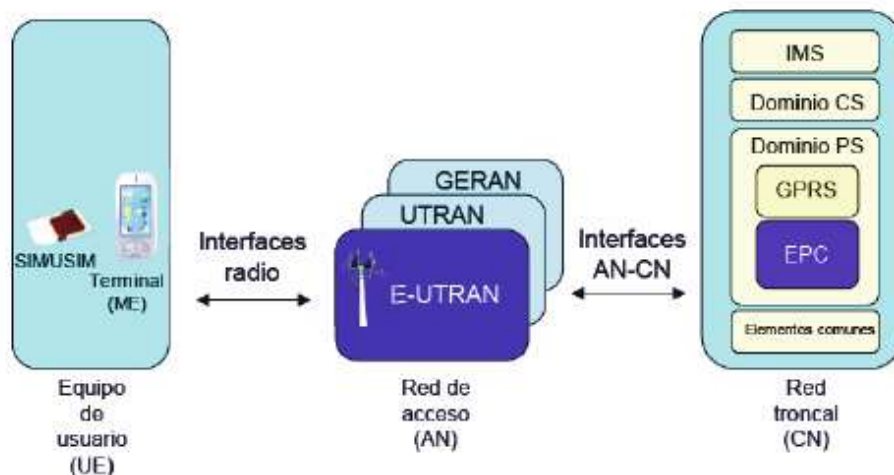


Fuente elaboración propia.

3.2. Arquitectura general de los sistemas 3GPP

Las arquitecturas de red contempladas en la familia de sistemas especificados por 3GPP se adaptan a la arquitectura genérica de los sistemas celulares. Tal como se muestra en la figura, los sistemas 3GPP abarcan la especificación del equipo de usuario y de una infraestructura de red que se divide de forma lógica en una infraestructura de red troncal (Core Network, CN), y una de red de acceso (Access Network, AN).

Figura 7. **Arquitectura 3GPP**



Fuente SIERRA, Carlos. *Revista Telem@tica*. Vol. 12. No.2. p. 82.

3.3. Arquitectura del sistema LTE

La arquitectura de una red es la manera en que se interconectan todos los elementos de la misma para poder brindar los diferentes servicios y lenguajes que logran la comunicación entre sí. Para poder desarrollar una red LTE se debe tener claro que se necesita una transmisión de datos efectiva, una calidad alta

en los servicios y debe tener una gran movilidad de acuerdo a las exigencias actuales.

Para alcanzar todos estos objetivos es necesario implementar una red tipo plana. Estas redes tipo plana logran simplificar al máximo el uso de elementos de la misma, de esta manera algunos elementos de los componentes de radio en LTE deben asumir varios roles que en las tecnologías pasadas estaban distribuidas en otras plataformas.

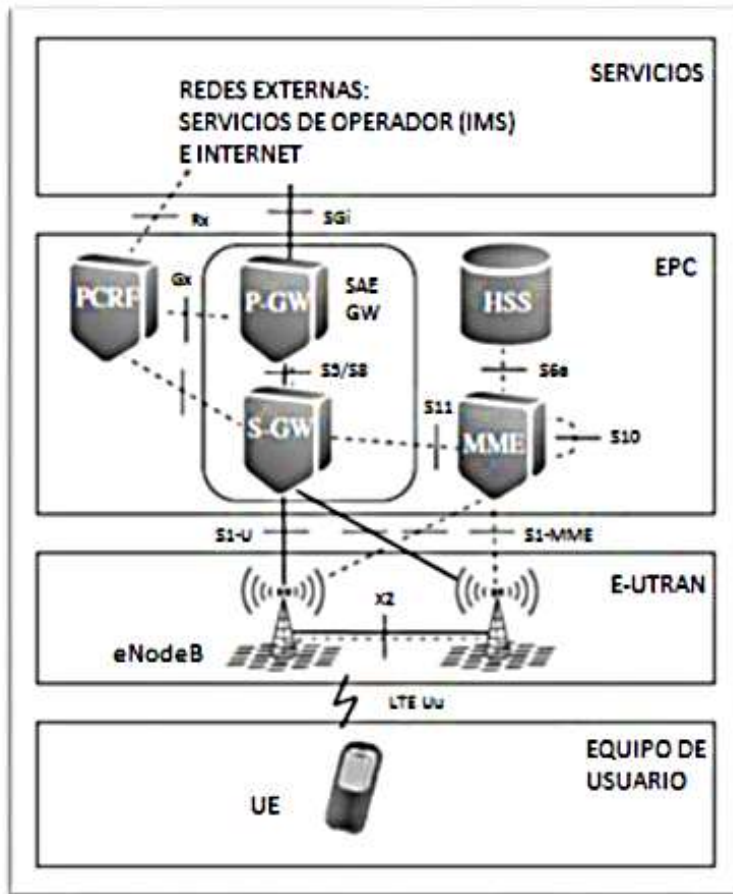
Así, algunos de los requerimientos para los nuevos sistemas son:

- Arquitectura simplificada orientada hacia una red IP
- Óptima administración en la calidad de servicios
- Interoperabilidad con otras redes 3GPP y redes inalámbricas
- Incremento en la eficiencia del espectro
- Mayor rendimiento para transferencias más altas de datos
- Reducción de la latencia de la red
- Mejor distribución de recursos y utilización del canal
- Todos los servicios utilizan conmutación de paquetes

La arquitectura de una red del sistema LTE es conocida como EPS (Sistema de Paquetes Evolucionado). El sistema está compuesto, por los Equipos de Usuario (UE), la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC (Núcleo de Paquetes Evolucionado) como se muestra en la figura 8. Los últimos representan la capa de conexión IP cuyo objetivo principal es la alta conectividad.

Para el caso de las nuevas redes E-UTRAN de LTE, no se tiene contemplado el uso del Dominio de Circuitos debido a que todos sus servicios están orientados únicamente al Dominio de Paquetes.

Figura 8. **Arquitectura red LTE**



Fuente: GUEVARA TOLEDO, Andrea. *Tesis Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica*.

p. 52.

3.4. Red de acceso evolucionada: E-UTRAN

El cambio más significativo en este bloque, con respecto a HSPA+, es la sustitución de los nodos B por los eNodos B. El bloque EUTRAN es responsable de la completa gestión de radio.

El bloque EURTRAN se encuentra compuesto por eNodos B y la interfaz X2. La función básica del bloque EUTRAN es compartir información y tráfico de datos entre el bloque UE y el bloque EPC. En la figura 8 se observa la estructura del bloque EUTRAN.

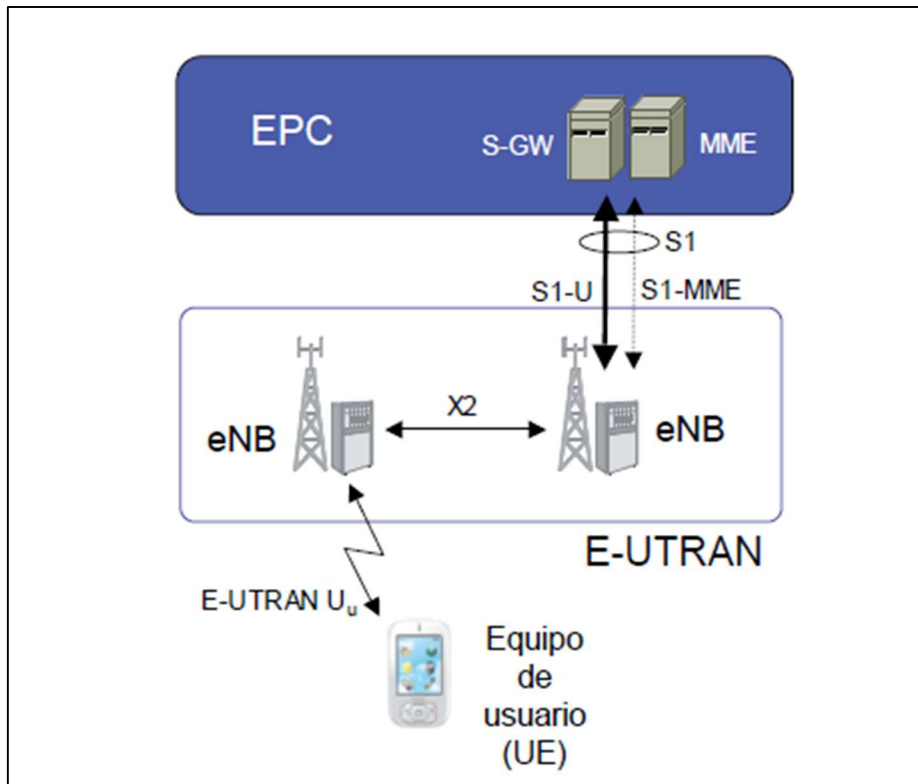
3.4.1. Arquitectura de E-UTRAN

E-UTRAN es la red de acceso especificada para LTE, que utiliza la tecnología OFDMA en la interfaz radio para la comunicación con los equipos de usuario.

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red denominada *evolved NodeB* (eNodeB), que constituye la estación base de E-UTRAN. Así pues, la estación base E-UTRAN integra toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de las redes de acceso de GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS, NodoB), y equipos controladores (BSC y RNC). La descripción de la arquitectura de E-UTRAN se detalla en las especificaciones del 3GPP TS 36.300 y TS 36.401.

Tal y como se ilustra en la siguiente figura, una red de acceso E-UTRAN está formada por eNodeBs que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario (UE), y la red troncal EPC. Un eNodeB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

Figura 9. Red de acceso E-UTRAN



Fuente SIERRA, Carlos. *Revista Telem@tica*. Vol. 12. No.2. p. 87.

3.4.2. Entidades de red e interfaces

La interfaz E-UTRAN Uu, también denominada LTE Uu o simplemente interfaz radio LTE, permite la transferencia de información por el canal radio entre el eNodeB y los equipos de usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar la operativa de la interfaz E-UTRAN Uu se implementan en el eNodeB.

El eNodeB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está desdoblada en realidad en dos interfaces diferentes: S1-MME para

sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario. La separación entre plano de control y plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE.

Así pues, el plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz (e.g., paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U). Por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad correspondiente (e.g., configuración de la operativa del eNodeB desde la red EPC a través de S1-MME). Esta separación entre plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNodeB con dos nodos diferentes de la red troncal. Así, mediante la interfaz S1-MME, el eNodeB se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control (dicha entidad de red de la red troncal EPC se denomina *Mobility Management Entity*, MME). Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNodeB se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario (dicha entidad de red de la EPC se denomina *Serving Gateway*, S-GW). Esta separación entre entidades de red dedicadas a sustentar el plano de control o bien el plano de usuario es una característica importante de la red LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

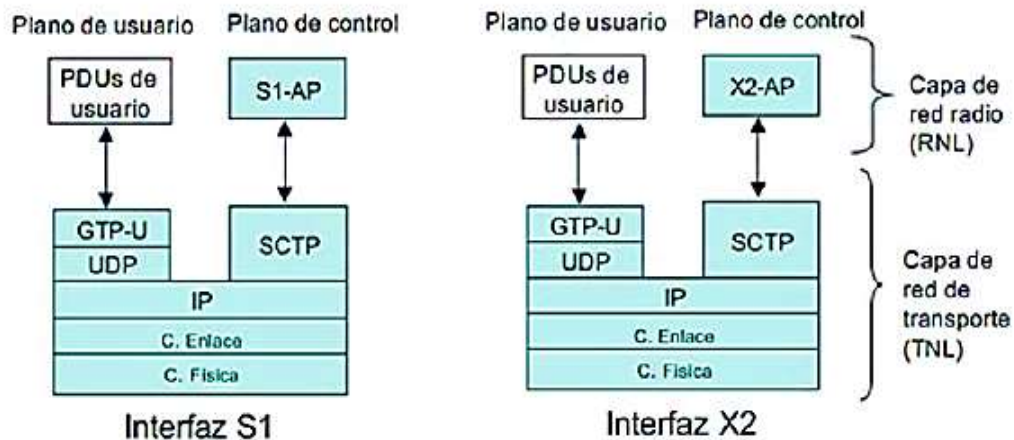
Opcionalmente, los eNodeBs pueden conectarse entre sí mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNodeB se intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los

recursos radio (como por ejemplo información para reducir interferencias entre eNodeBs) así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNodeB a otro durante un proceso de *handover*.

3.4.3. Protocolos

La estructura de protocolos utilizada en E-UTRAN para soportar las interfaces S1 y X2 establece una separación entre la capa de red radio (Radio Network Layer, RNL) y la capa de red de transporte (Transport Network Layer, TNL), tal como ya introdujo la red UMTS. Esta descomposición tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema de comunicaciones móviles (UMTS o LTE), de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada (e.g., IP, ATM). De esta forma, los protocolos específicos de la red de acceso radio constituyen la capa RNL mientras que la capa TNL alberga los protocolos utilizados para el transporte de la información de la capa RNL entre las entidades de la red. En la figura 10 se ilustra la arquitectura de protocolos de las interfaces S1 y X2. La separación entre las capas TNL y RNL en E-UTRAN.

Figura 10. **Protocolos de las interfaces S1 (izquierda) y X2 (derecha)**



Fuente NUÑEZ MORFA, Camilo. *Revista Telem@tica*. Vol. 12. No. 3. p. 36.

Tanto el plano de usuario de la interfaz S1 (S1-U) como el de la interfaz X2 utilizan el protocolo de encapsulado GTP-U (GPRS Tunneling Protocol UserPlane), para el envío de paquetes IP de usuario. El protocolo GTP-U es un protocolo heredado de GPRS que en las redes GSM y UMTS se utiliza dentro del dominio de paquetes de la red troncal (e.g., en la interfaz entre SGSN y GGSN), así como en el plano de usuario de la interfaz lu-PS de la red de acceso UTRAN. En las interfaces S1-U y X2, el protocolo GTP-U se transporta sobre UDP/IP y fundamentalmente se utiliza para multiplexar los paquetes IP de múltiples usuarios (los paquetes IP de un determinado servicio portador se encapsulan con una determinada etiqueta identificador de túnel). Dada su gran relevancia en el contexto de las redes 3GPP. Finalmente, es importante destacar que los planos de usuario de ambas interfaces no contemplan mecanismos de entrega garantizada para la transferencia de los paquetes de usuario, ni tampoco mecanismos de control de errores o control de flujo. Respecto al plano de control de la interfaz S1 (S1-MME o S1-C), la capa de red radio consiste en el protocolo

S1-AP (S1 - ApplicationPart). Este protocolo es el que sustenta los procedimientos soportados en la interfaz S1 (establecimiento de servicios portadores en el eNB, control del handover, paging, entre otros). La transferencia de los mensajes de señalización del protocolo S1-AP entre eNBs y MMEs se realiza mediante el servicio de transferencia fiable que ofrece el protocolo de transporte Stream Control Transmission Protocol (SCTP).

SCTP es un protocolo de transporte (al igual que otros protocolos como TCP y UDP) de propósito general que fue concebido originariamente para el envío de señalización de redes telefónicas sobre redes IP. SCTP hereda muchas de las funciones contempladas en TCP a la vez que introduce importantes mejoras encaminadas a proporcionar mayor robustez y versatilidad en la transferencia de diferentes tipos de información. En particular, al igual que TCP, SCTP dispone de mecanismos de control de flujo y de congestión en la conexión, denominada asociación en SCTP. Por otro lado, SCTP incorpora soporte para multihoming (las asociaciones soportan la transferencia a través de múltiples caminos entre los nodos participantes, es decir, los nodos participantes pueden disponer de múltiples direcciones IP), multi-streaming (múltiples flujos pueden enviarse en paralelo en el seno de una misma asociación), y el envío de la información se estructura en base a mensajes (a diferencia del protocolo TCP que trata la información como una secuencia de bytes). Estas nuevas capacidades son las que hicieron que en 3GPP se optara por la utilización de este protocolo, en lugar de TCP, para implementar el plano de control de las interfaces S1 y X2 de E-UTRAN.

3.4.4. Comparativa E-UTRAN Y UTRAN

Las redes de acceso UTRAN se basan en una arquitectura jerárquica donde las funciones de la red de acceso se distribuyen en dos tipos de servicios:

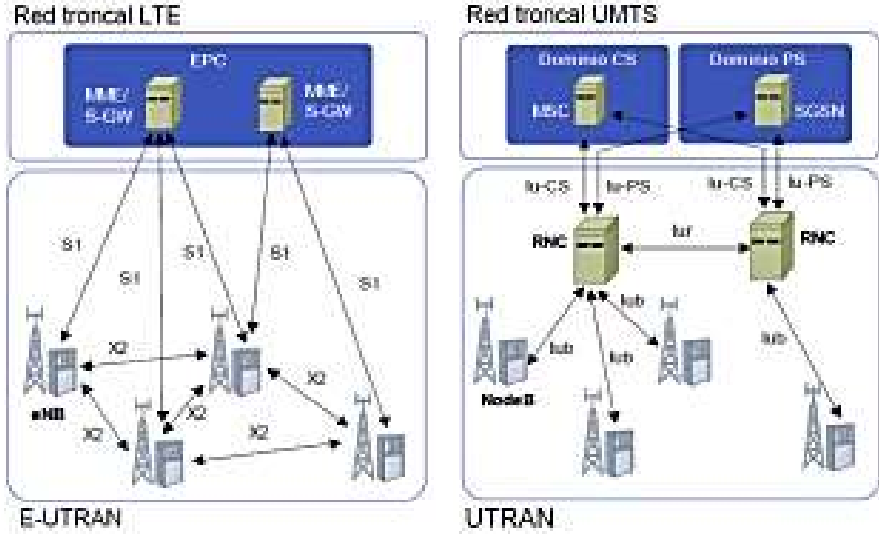
estaciones base (denominados Nodos B en UTRAN) y equipos controladores de estas estaciones base (denominados RNC en UTRAN).

La estructura de UTRAN se especifica en el documento 3GPP TS25.401. En esta estructura jerarquizada, los equipos de control albergan el plano de control de la interfaz radio (señalización de control del enlace radio), así como múltiples funciones del plano de usuario (algunas funciones de la capa de acceso al medio, control de enlace, compresión de cabeceras, entre otros).

Por otro lado, las estaciones base se ocupan principalmente de las funciones de transmisión radio (procesado de capa física), y su operación se administra de forma remota desde los equipos controladores. La interconexión entre estaciones base y controladores se realiza mediante una interfaz denominada Iu de forma que la estructura de red resultante a nivel lógico es una estructura en forma de estrella.

Los equipos controladores también pueden conectarse entre sí mediante interfaces específicas como la interfaz Iu que, en el caso de UTRAN, permite la explotación del mecanismo de macro diversidad entre dos Nodos B que se encuentren conectados a RNCs diferentes. La interconexión de la red de acceso a la troncal se realiza a través de los equipos controladores mediante las interfaces Iu-PS, entre RNCs y los nodos SGSNs del dominio de paquetes, y Iu-CS, entre RNCs y las centrales de conmutación MSC del dominio de circuitos.

Figura 11. Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN



Fuente NUÑEZ CORAL, Jimmy. *Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3gpp y la recomendación ITU-R M.1457.* p. 16.

Tabla II. **Entidades de red e interfaces de E-Trun**

Entidades de red	Denominación	Descripción
	Evolved NodeB (eNB)	Estación de la red de acceso E-UTRAN
Interfaces	Denominación	Entidades de red asociadas
	E-UTRAN Uu (también denominada LTE Uu o interfaz de radio)	eNB - UE
	X2	eNB - eNB
	S1-MME	eNB - EPC (MME)
	S1-U	eNB - EPC (S-GW)

Fuente elaboración propia.

3.5. Red troncal de paquetes evolucionada (EPC)

La red EPC debe tener interfaces con LTE y puede estar conectado a otras redes, como redes de segunda y tercera generación. EPC debe cooperar con el IMS. Los datos de usuario pueden ir a través del P-GW y sobre una red de Core de paquetes GPRS por medio de la interfaz S4. Otras interfaces hacia el GPRS Packet Core son S3 y S6d. El EPC puede estar conectado a una red CDMA2000 por medio de las interfaces S103, S101, S2a y Gxa.

Por medio de la capa de conectividad del IMS el EPC se conecta a redes WLAN, acceso de banda ancha por cable, PSTN e Internet. Las capas superiores del EPC implican la capa de control y la capa de servicio del IMS. Otros nodos que se encuentran interconectados son el P-GW, PCRF y HSS.

3.5.1. Arquitectura de EPC

El diseño de la red troncal EPC ha sido concebido principalmente para proporcionar un servicio de conectividad IP (evolución del servicio GPRS), mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso E-UTRAN.

3.5.2. Entidades de red e interfaces

S6a es la interfaz entre el MME y HSS. Esta interfaz es usada para intercambiar datos relacionados con la ubicación del UE y la administración del suscriptor. El principal servicio provisto al suscriptor es la capacidad de transferencia de datos dentro de toda el área de servicio. El MME informa al HSS de la ubicación de un UE administrado informando la última ubicación. El HSS envía al MME todos los datos necesarios para soportar el servicio al UE. El intercambio de datos se realizará cuando un suscriptor requiere un servicio particular, cuando quiere cambiar algunos datos enlazados a su suscripción o cuando algunos parámetros de suscripción son modificados por medios administrativos.

- Interfaz S6d: esta es la interfaz entre el SGSN y el HSS, es usada para intercambiar datos relacionados con la ubicación del UE y la administración del suscriptor. El SGSN informa al HSS de la última ubicación de un UE. También el HSS envía al SGSN todos los datos necesarios para soportar el servicio al suscriptor, con procedimientos semejantes a la interfaz S6a.
- Interfaz S11: esta interfaz es usada para soportar la movilidad y la administración de portadoras entre el MME y el S-GW.

- Interfaz S10: esta interfaz es usada para soportar la información de usuario transferida y la reubicación de MME soportada por los MME.
- Interfaces S5/S8: estas son las interfaces entre el S-GW y el P-GW. Estas interfaces proveen el soporte para funciones de servicios de datos hacia usuarios finales durante casos de *roaming* y *nonroaming*, por ejemplo, S8 es la variante de S5 para el inter PLMN.
- Interfaz S3: interfaz entre el MME y SGSN. Esta interfaz permite el intercambio de información de usuario y portadoras para la movilidad de acceso inter 3GPP en estado *idle* o estado activo.
- Interfaz S4: esta es la interfaz entre el S-GW y el SGSN. Esta provee soporte de control y movilidad entre el GPRS Core y la función de anclaje 3GPP del S-GW. Adicionalmente si un Direct Tunnel no ha sido establecido, esta interfaz proveerá el *tunnelling* del User Plane.
- Interfaz SGs: esta interfaz se encuentra entre la MSC/VLR y el MME. Es usada para la administración de la movilidad y los procedimientos de *paging* entre el EPS y el dominio CS. La interfaz SGs es usada para proveer el *fallback* para los servicios de localización (LCS), y servicios suplementarios independientes de llamada (SS), se usa para la entrega de SMS originados y destinados sobre EUTRAN cuando no se usa SMSIP. La señalización en esta interfaz usa SCTP como protocolo de transmisión y el protocolo de aplicación SGsAP para el intercambio de mensajes entre el VLR y el MME.
- Interfaz Sv: esta interfaz puede ubicarse entre una MSC 3GPP y un MME o un SGSN. Esta interfaz tiene un Sv *reference point* que provee soporte al SRVCC para funciones como el envío de vuelta de mensajes de relocalización entre MME o SGSN y la MSC.

3.5.3. Protocolos

EPC (Evolved Packet Core). La interfaz X2 permite la interconexión uno a uno entre eNBs. Mientras que la interfaz S1 logra la conexión de varios eNBs a MME o SGW. La conexión entre estaciones bases eNBs ya no se realiza a través de un controlador de radio (RNC) como en UMTS. Todas las funciones del RNC se incorporan al eNB. De esta forma el control de los recursos de radio y la comunicación entre eNB cercanas es mucho más directa. Las redes LTE separan en dos planos la transferencia de datos de usuario y de control en la interfaz de radio. En el plano de usuario circulan los datos del usuario, permitiendo la distribución y procesamiento de los servicios y aplicaciones en el terminal móvil, mientras que en el plano de control se distribuye y procesa la información de control propia del sistema, permitiendo la supervisión de la red. Esta separación entrega un mayor control de los datos y una mejor calidad de tráfico cuando la red está congestionada. Cada uno de estos planos posee una pila de protocolos que permite realizar las diversas funciones de cada bloque de la arquitectura de red.

3.5.4. Configuraciones de la red EPC

La EPC es la unidad encargada de proporcionar el control y el transporte los servicios de la red.

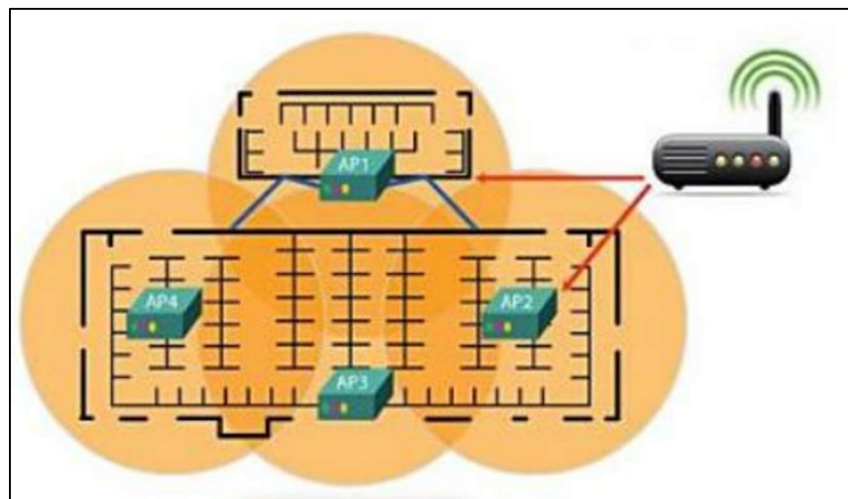
3.5.5. Soporte de itinerancia (*roaming*)

La itinerancia, más conocida por su término en inglés *roaming*, es un concepto que define la capacidad de un dispositivo inalámbrico para poder trasladarse y desplazarse de una celda de cobertura a otra. Cada celda de cobertura está gobernada por un punto de acceso diferente. El concepto de

roaming o itinerancia, cuando es utilizado en las redes inalámbricas, significa que el dispositivo cliente puede desplazarse e ir registrándose en diferentes celdas o puntos de acceso, sin perder en ningún momento acceso a la conectividad de red.

Para que esta itinerancia sea posible, tiene que haber un traslape en las coberturas de cada una de las celdas, de tal manera que los usuarios puedan desplazarse y siempre tengan cobertura, de esta manera para el usuario es transparente el cambio que se hace con cada una de las celdas. Los puntos de acceso incorporan un algoritmo de decisión que, con base al consumo y distancias, deciden cuando una celda debe desconectarse de un punto de acceso y conectarse a otro más favorable. La figura muestra la configuración típica de centros y *campus* donde existen diferentes puntos de acceso, que van proporcionando a los usuarios conexión al desplazarse por las diferentes zonas.

Figura 12. **Punto de acceso inalámbrico**



Fuente: OCHOA GOMEZ, Georgina. *Manual para establecer la certificación del servicio de roaming internacional de voz sobre una red GSM*. p. 110.

3.6. IP Multimedia Subsystem (IMS)

El Subsistema Multimedia IP (IMS), es un concepto para una red integrada de operadores de telecomunicaciones que facilitaría el uso de IP (Protocolo de Internet), para comunicaciones de paquetes en todas las formas conocidas a través de redes inalámbricas o líneas terrestres. Ejemplos de tales comunicaciones incluyen telefonía tradicional, *fax*, correo electrónico, acceso a Internet, servicios *web*, voz sobre IP (VoIP), mensajería instantánea (IM), sesiones de videoconferencia y video a pedido (VoD).

4. DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA LTE

4.1. Estación móvil GPRS

La respuesta es que la capacidad actual 3G se considera mucho menor de lo previsto para las futuras necesidades y aplicaciones. Los futuros sistemas deben ser mucho más económicos para los consumidores. Así, estos conceptos se pueden resumir como:

- Las redes de cuarta generación ofrecerán a los suscriptores un mayor ancho de banda y una velocidad de datos móviles de 100 Mbps y mucho más.
- Se espera que las redes de tercera generación no serán capaces de satisfacer las necesidades de los servicios como la vídeo-conferencia, vídeo de movimiento completo, entre otros, en términos de calidad de servicio.
- Habrá una mayor movilidad y menor coste.
- Será posible integrar WLAN y WAN.

4.1.1. Tecnologías clave para redes de cuarta generación

Aunque hay unas pocas tecnologías que compiten por ser adoptadas en las redes de cuarta generación, OFDM y MC-CDMA puede llegar a ser los competidores clave para la interfaz física, y All-IP y WLAN para las capas superiores. Esta sección presenta OFDM (Multiplexación por división de frecuencias ortogonales), para la interfaz de aire y All-IP para la capa superior. Más adelante en el capítulo, se dará un panorama general para la planificación de red y de los sistemas WLAN.

4.1.2. Multiplexación por división de frecuencia ortogonal

OFDM es una técnica de multiplexación por división de frecuencia que se utiliza para transmitir grandes cantidades de datos sobre una señal de radio. Básicamente, una señal de radio con un gran ancho de banda se subdivide en otras señales de menor ancho de banda y luego se las transmite al receptor utilizando diferentes frecuencias ortogonales.

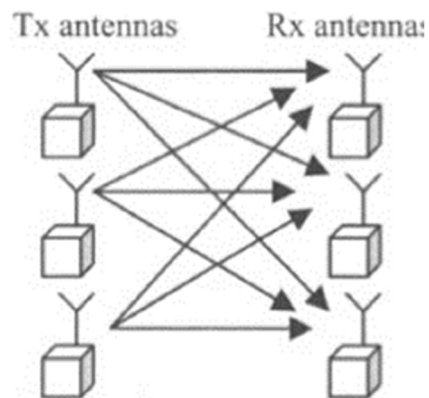
Se cree que OFDM será capaz de cumplir los tres requisitos más importantes de las redes móviles 4G: mayor cobertura y capacidad, con calidad de servicio deseada, con mínimo costo.

La mayor ventaja de la técnica OFDM es la ortogonalidad mutua de sus portadoras, que proporciona una alta eficiencia espectral. Esto es posible, debido a que no se utiliza una banda de guarda y las portadoras pueden ser empaquetadas muy próximas entre sí. La mayoría de las técnicas alternativas requieren bandas de guarda. En OFDM, incluso sin una banda de guarda, no existen interferencias debido a que las portadoras son ortogonales. El espectro

de OFDM se encuentra entre 200 MHz y 3,5 GH aproximadamente, con una eficiencia espectral de alrededor de 1 bit / s / Hz.

La cobertura en los sistemas CDMA está limitada por el fenómeno de la respiración celular (que se describió anteriormente), porque un número creciente de usuarios reduce la zona de cobertura debido un aumento de la interferencia. En un sistema OFDM, se utiliza la técnica de superposición de celdas (similar a la de GSM), lo que reduce las interferencias cocanal. La planificación de red para un sistema de OFMD es bastante similar a la de GSM / GPRS. Esto es debido a que el reuso de frecuencias se vuelve a adoptar (a diferencia de WCDMA, donde el factor de re-utilización de frecuencias es 1, en teoría).

Figura 13. **Incremento de capacidad usando sistema de antenas MIMO**



Fuente: elaboración propia.

Por esta razón, la función de control de potencia en redes OFDM no es tan esencial como en las redes WDCMA. En las redes de radio WCDMA, el control de potencia y el espectro ensanchado son requeridos para reducir la interferencia. En las redes de radio OFDM, es necesaria la estimación precisa del desplazamiento de la frecuencia.

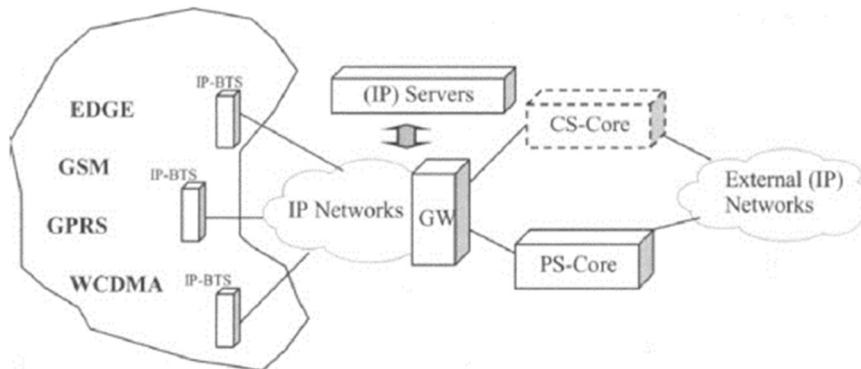
Incrementando el número de antenas transmisoras y receptoras pueden aumentar la capacidad. Pueden utilizarse los sistemas de antenas de Multiple-input/multiple-output (MIMO), como se muestra en figura 13.

La planificación de red para redes OFDM es más simple que para las redes CDMA. OFDM reduce la cantidad de interferencias en las transmisiones de la señal. Así, en pocas palabras, se puede observar que OFDM tiene algunas ventajas sobre CDMA, y es la tecnología preferida de interfaz aérea para el futuro de las redes móviles.

4.1.3. Redes Todo IP

La red All-IP se ha inclinado como la tecnología más probable a ser un sinónimo con las redes de cuarta generación. Una red simplificada All-IP se muestra en la Figura 14. La diferencia más importante entre la red All-IP, y las redes existentes 2G y 3G es en la funcionalidad de la RNC y el BSC, que ahora se distribuye a la BTS y un conjunto de servidores y *gateways*. A continuación, se describen varios elementos de esta red.

Figura 14. **Ejemplo de una red Todo IP**



Fuente: elaboración propia.

- **IP-BTS:** La funcionalidad de la estación base IP en esta red es más que la funcionalidad de estaciones base visto en capítulos anteriores. Esta estación base funciona también como un mini-RNC/BSC, generalmente capaz de realizar funciones de la capa 1, 2 y 3. Hay dos tipos: serving BTS y drift BTS (equivalente a serving y drift RNC en una red de radio WCDMA).
- **Servidores (IP):** La estación base IP no es capaz de realizar todas las funciones de los RNC / BSC, que son de nivel de red. Estos servidores manejan la señalización entre los elementos de la red. Son capaces también de realizar ajuste automático de los parámetros de la red de radio, conduciendo a una mejor utilización de los recursos de radio. Como hay varias tecnologías que se utilizan, un servidor común mejora el rendimiento y la eficiencia de la red en comparación con los servidores separados para cada una de las interfaces de radio.

- Gateways (GW): Estos son los responsables de la interacción de las redes IPRAN y IP-Core. Por lo general estos son de dos tipos, CS-GW y PS-GW, basado en el tipo de llamada que es capaz de manejar. (de conmutación de circuitos o conmutación de paquetes).

4.1.4. Redes de área local inalámbricas

Una red inalámbrica de área local (WLAN), es un sistema de comunicación de datos flexible, siendo una alternativa a las actuales redes LAN cableadas. Esta tecnología elimina las molestias de tener cables y los cables desde y hacia el equipo en un entorno de oficina. EL IEEE ha desarrollado los estándares para WLAN, especificada en IEEE 802.11. El estándar inicial especifica una banda de frecuencia de funcionamiento de 2,4 GHz y un teórico de transmisión de datos de hasta 11 Mbps. Ediciones posteriores de las normas han aumentado la capacidad de la WLAN de 54 Mbps, en la misma banda de frecuencia.

4.1.5. Retos en redes inalámbricas 4G

Dos principales desafíos deben abordarse antes de que las redes de cuarta generación se hayan convertido en una realidad. El primero se refiere a la accesibilidad a los diferentes tipos de red celular. El segundo se refiere a cómo mantener la calidad de servicio deseada de extremo a extremo para el tráfico que tiene distintos requerimientos de ancho de banda, de tasa de bit, las características del canal, entre otros, y sobre todo el retardo de handover, que son una causa de preocupación. Durante el proceso de handover, lo suscriptores móviles pueden experimentar una caída en el nivel de QoS.

Las redes de cuarta generación todavía no están completamente definidas desde la perspectiva de los procesos de planificación de la red. Esto es en parte debido a que la evolución de estas redes 4G no es impulsado solamente por el sector de la industria de móviles. Por otra parte, las definiciones de normas que definen el instituto IEEE continúan en proceso de producción de las recomendaciones de referencia. Un desafío importante es la planificación de *handovers* no sólo entre las diferentes generaciones de redes, sino también entre tecnologías diferentes de la misma generación (All-IP para WLAN, entre otros), manteniendo al mismo tiempo las normas de calidad de servicio.

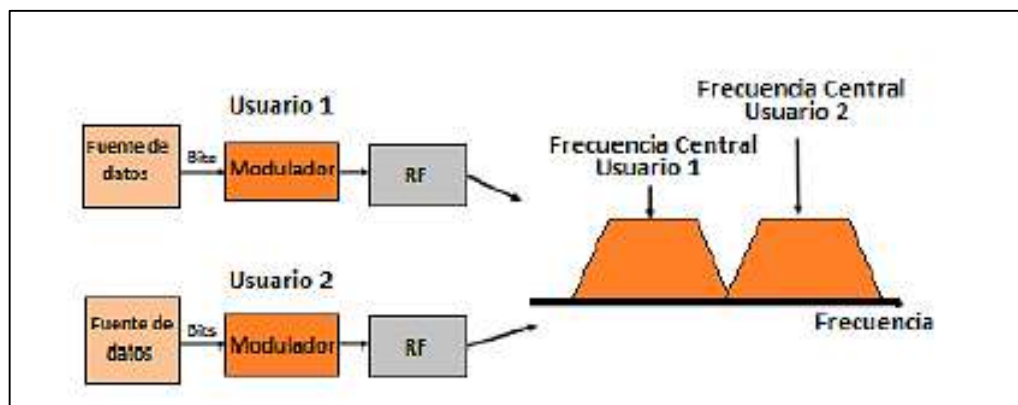
4.2. Redes LTE

LTE es una solución de banda ancha móvil que ofrece varias características con mucha flexibilidad en términos de despliegue y servicios potenciales. Algunos de los parámetros más importantes que merecen ser mencionados son los siguientes:

- OFDM y OFDMA
 - La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), consiste en varias portadoras espaciadas de tal forma que, a pesar de que sus espectros se cruzan, no causan interferencias unas en otras. Se pueden enviar varias ondas portadoras (múltiples señales), simultáneamente en frecuencias distintas, de esto nace la necesidad de una división de frecuencias. Para la división del espectro es necesario dejar un espacio antes y otro después de cada frecuencia portadora para que no haya interferencias entre ellas. A estos espacios se les llama bandas de guarda. La OFDM tiene a la FDM como principio. En la FDM los datos de un usuario

se transmiten constantemente en una sola frecuencia como se muestra en la figura 1-5, mientras que con la OFDM los datos se dividen y se transmiten continuamente por varias subportadoras de menor capacidad.

Figura 15. **Principio FDM**

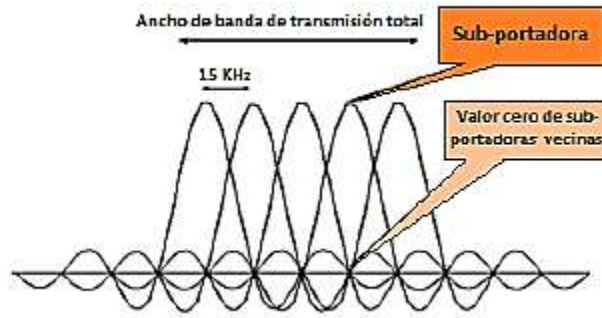


Fuente elaboración propia.

Como se explicó anteriormente, las señales podrían interferir unas con otras si no se da una banda de guarda adecuada para cada frecuencia portadora que evite que se superpongan.

La ortogonalidad de las frecuencias permite que estas bandas sean innecesarias. En la OFDM se crean subportadoras cuyas ondas se puedan superponer sin causar interferencias. Las frecuencias centrales son seleccionadas con una diferencia de espacio específica que hace que las ondas portadoras tengan el valor de cero en las frecuencias centrales de las vecinas, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 16. **Ortogonalidad de las ondas portadoras**



Fuente elaboración propia.

4.2.1. **Red CDMA**

CDMA significa Acceso Múltiple por División de Código. En los sistemas CDMA todos los usuarios transmiten en el mismo ancho de banda simultáneamente, a los sistemas que utilizan este concepto se les denomina sistemas de espectro disperso. En esta técnica de transmisión, el espectro de frecuencias de una señal de datos es esparcido usando un código no relacionado con dicha señal. Como resultado el ancho de banda es mucho mayor. En vez de utilizar las ranuras de tiempo o frecuencias, como lo hacen las tecnologías tradicionales, usa códigos matemáticos para transmitir y distinguir entre conversaciones inalámbricas múltiples. Los códigos usados para el esparcimiento tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario. Esta es la razón por la que el receptor de un determinado transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada.

Uno de los problemas más importantes en el diseño de un sistema de comunicaciones inalámbricas consiste en proveer facilidades de comunicación a diferentes usuarios, de tal forma que el espectro de radiofrecuencias sea aprovechado de una forma óptima y a un costo razonable. Teniendo en cuenta que el espectro de frecuencias es un recurso limitado es necesario diseñar estrategias de acceso múltiple, de tal forma que se puedan asignar, dentro de las debidas restricciones económicas de un ancho de banda previamente asignado.

Los códigos usados para el esparcimiento tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario. Esta es la razón por la que el receptor que tiene conocimiento del código de un determinado transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada. CDMA de sistemas proveen operadores y suscriptores con ventajas importantes sobre TDMA analógico y convencional. Las ventajas principales de CDMA son como se indica a continuación:

- Resiste la interferencia intencional y no intencional, una cualidad muy importante cuando se transmite en áreas congestionadas.
- Tiene la habilidad de eliminar o atenuar el efecto de la propagación multicamino, la cual es un gran obstáculo en las comunicaciones urbanas.
- Puede compartir la misma banda de frecuencia (como un traslapamiento), con otros usuarios, debido a su similitud con una señal de ruido.
- Operación limitada de interferencia, en cualquier situación todo el ancho de banda es usado.
- Privacidad debido a los códigos aleatorios desconocidos, los códigos aplicados con - en principio - desconocidos para un usuario no deseado.
- Posibilidad de acceso aleatorio, los usuarios pueden iniciar su transmisión a cualquier instante de tiempo.

Los sistemas basados en CDMA presentan una reducción de la potencia de transmisión incrementando la vida de las baterías y reduciendo el tamaño de los transmisores y receptores.

- Funcionamiento

- CDMA se basa en la separación del espectro, que en los medios de la transmisión digital es cuando la señal ocupa una banda de frecuencia que sea considerablemente más amplia que el mínimo requerido para la transmisión de datos por otras técnicas.

Los usuarios comparten la misma banda de frecuencia y cada señal es identificada por un código especial, que actúa como una clave reconocida por el transmisor y el receptor. La señal recibida es la suma de todas las señales combinadas, y cada receptor debe clasificar e identificar las señales que le corresponden de las demás señales. Para hacer esto utiliza un código que corresponde con el código transmitido.

La primera operación implica encontrar del código correcto, y así sincronizar el código local con el código entrante. Una vez ha ocurrido la sincronización, la correlación del código local y del código entrante permite a la información apropiada ser extraída y las otras señales ser rechazadas.

- También permite que dos señales idénticas que vienen de diversas fuentes, sean demoduladas y combinadas, de modo tal que se mejore la calidad de la conexión, por lo que es también una ventaja el uso simultáneo de varios satélites (diversidad). Igualmente, una

de las principales características de la tecnología CDMA es que hace prácticamente imposible que sea objeto de interferencias e interceptaciones, ofreciendo gran seguridad en las comunicaciones.

4.2.2. Red LTE

Todo lo anteriormente explicado coopera para que se pueda especificar las ventajas que significaría el hecho de emplear LTE.

- Con LTE será posible llegar a velocidades de hasta 200 Mbps
- La latencia, es decir el retardo en la respuesta desde la red, será menor a 10 milisegundos.
- Se contará con una arquitectura de red basada únicamente en el protocolo IP que permitirá a los operadores reducir el costo de los servicios que ofrecen, y a su vez permitirá a los usuarios contar con nuevas posibilidades de servicios multimedia interactivos. Con ello se tendrá que el costo de esta tecnología se reducirá notablemente.
- Se generará una alta eficiencia en lo que respecta a los costos de operación de las redes, y permitirá reducir el impacto ambiental en la zona donde esta se implemente.

CONCLUSIONES

1. En los primeros años de las telecomunicaciones, todas las transmisiones realizadas eran de forma análoga y no se contaban con estándares para poder interconectarse, esto provocaba que las comunicaciones fueran de forma sectorizada, por lo cual no se lograba realizar interconexiones entre compañías, al estandarizar los protocolos de comunicación se lograron las interconexiones entre compañías.
2. Al momento de lograr estandarizar y normar las técnicas de transmisión y recepción se logra comenzar la evolución de las comunicaciones de una forma más acelerada, porque se logra tener un control sobre la investigación de las mismas, y así se logra formar GSM que es el Sistema Global de Comunicaciones Móviles.
3. Las comunicaciones han sufrido 4 cambios importantes a las que les pueden denominar generaciones, se denominan como 1G, 2G, 3G y 4G, en ellas se puede ver la evolución descrita en los capítulos de esta tesis.
4. La manera de lograr altas velocidades en la transmisión de datos está vinculado a la manera de multiplexar la información en el medio en que se está transmitiendo, así se puede obtener una variedad de canales sin estar usando mucho más ancho de banda y lograr menos errores.

RECOMENDACIONES

1. Seguir en la búsqueda y actualización de los estándares de comunicación porque esto servirá para poder ser competitivos en el mercado laboral.
2. Contar con el equipo actual en los laboratorios de comunicaciones para poder entender las nuevas tecnologías y así poder estar actualizados y competitivos en el mercado laboral al momento de concluir los estudios de ingeniería.
3. Solicitar apoyo de los países actualizados en este campo para poder hacer alianzas de estudio y poder dotar a los estudiantes de la mejor preparación en este campo, ya que es una de las tecnologías con mayor crecimiento a nivel mundial.

BIBLIOGRAFÍA

1. GESBERT, David. *Shifting de MIMO. Paradigm: From single user to multiuser communications*, *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 24, no. 5. 2007. 29 p.
2. GUEVARA TOLEDO, Andrea Patricia. *Estado actual de las redes LTE en Latinoamérica*. Trabajo de graduación de Ing. Electrónica. Universidad Cuenca Ecuador, Facultad de Ingeniería, 2013. 229 p.
3. HYUNG, Myung. *Single carrier FDMA for uplink wireless transmission*, *IEEE vehicular technology magazine*, 2006. 38 p.
4. IETF RFC 4303. *IP encapsulating security payload (ESP)*. 2005. 44 p.
5. MISHRA, Ajay. *Fundamentals of cellular network planning and optimisation*. England: John Wiley & Sons, 2004. 290 p.
6. NUÑEZ CORAL, Jimmy. *Diseño de una red de nueva generación LTE-A para una zona urbana en Bogotá bajo el estándar 3gpp y la recomendación ITU-R M.1457*. Trabajo de graduación de Magister en Telecomunicaciones. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Sistemas e Industrial, 2013. 125 p.
7. NUÑEZ, Camilo. *Revista Telem@tica*. Vol. 12. No. 3. 2013. ISSN 1729-3804. 9 p.

8. OCHOA GOMEZ, Georgina. *Manual para establecer la certificación del servicio de roaming internacional de voz sobre una red GSM*. Trabajo de graduación de Ing. Electrónica. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Eléctrica, 2012. 217 p.
9. SERRA, Carlos. *Revista Telem@tica Vol. 12. No. 2. 2013. ISSN 1729-3804. 10 p.*
10. 3GPP TS 33.210. *3G Security: Network domain security: IP network layer security*. 2018. 25 p.
11. 3GPP TS 36.211 V8.1.0. *Evolved universal terrestrial radio access (EUTRA): Physical channels and modulation*. 2016. 170 p.