



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

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE

Erick Fernando Arriaga Meneses

Asesorado por el Ing. Julio César Solares Peñate

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE
UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ERICK FERNANDO ARRIAGA MENESES

ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 25 de agosto de 2014.



Erick Fernando Arriaga Meneses



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 17 de julio de 2015

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Guzmán:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado:
"DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE",
desarrollado por el estudiante **Erick Fernando Arriaga Meneses**, 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 particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Asesor

JULIO CESAR SOLARES P.
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
COLEGIADO No. 2338



Ref. EIME 53. 2015

Guatemala, 28 de JULIO 2015.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE
TELEFONÍA MÓVIL LTE**, del estudiante Erick Fernando Arriaga
Meneses, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
D Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Eduardo Guzman Salazar
Coordinador Área Electrónica



SFO



REF. EIME 53 2015.

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; ERICK FERNANDO ARRIAGA MENESES titulado: DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 31 DE JULIO 2015.



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.462-2015

El Decano 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: **DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE TELEFONÍA MOVIL LTE**, presentado por el estudiante universitario: **Erick Fernando Arriaga Meneses**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2015



ACTO QUE DEDICO A:

Santísima Trinidad	Dios, Jesucristo y el Espíritu Santo, por darme la sabiduría para cumplir mis metas.
Virgen María	Por su intercesión en todas mis peticiones.
Mis padres	Sergio Arriaga y Mirsa Meneses, por su amor y apoyo para profesionalizarme.
Mis hermanos	Alejandro, Karen y Yenni Arriaga Meneses, por su amor y por ayudarme siempre que lo he necesitado.
Mis tíos	César Montúfar, Marta Meneses y Carlos Reyes, por su cariño y los buenos momentos que hemos convivido. Especialmente por sus enseñanzas de vida y consejos.
Mis primos	Por la convivencia y los gratos momentos que hemos tenido.
Mis sobrinos	Rebeca Paz Arriaga, Marjorie Daniela Arriaga Duarte, Steven Coronado Montúfar, Gesler y Katherine Montúfar Morales, por ser los futuros profesionales de la familia.

Mis abuelos

Daniel Meneses y Zoila García a quienes recuerdo gratamente. También Juan Arriaga y María Pineda, por su cariño.

Todos mis familiares

Porque la familia es lo más importante que tenemos. También a quienes ya partieron y dejaron huella en nuestros corazones.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Por ser como mi otra casa y donde pude profesionalizarme.

Facultad de Ingeniería

Por ser la Facultad que me dio muchas enseñanzas y gratas experiencias.

Mis amigos de la Facultad

El grupo 2007, con quienes ingresamos y compartimos mucho tiempo. También a los demás amigos que hice durante mi carrera.

**Los catedráticos de la
Escuela de Mecánica
Eléctrica**

Por su aporte de conocimientos a los estudiantes de esta Universidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
GLOSARIO	XIX
RESUMEN.....	XXXV
OBJETIVOS.....	XXXVII
INTRODUCCIÓN.....	XXXIX
1. FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL.....	1
1.1. Sistema de telefonía móvil.....	1
1.2. Principales elementos de una red de telefonía móvil	2
1.2.1. Terminal móvil	2
1.2.2. Servicios de telefonía	3
1.2.2.1. Llamadas telefónicas	3
1.2.2.2. Mensajes de texto.....	3
1.2.2.3. Datos de usuario.....	4
1.2.3. Estación Base.....	4
1.2.4. Controlador de Estaciones Base y Centrales Móviles	5
1.2.5. Radio canales	6
1.2.6. Canales de Control (CCH).....	8
1.2.6.1. Canal de Control de Adelanto (FCCH)	8
1.2.6.2. Canal de Paging	8
1.2.6.3. Canal de Acceso.....	8
1.2.7. Canales de Tráfico (TCH).....	9

1.3.	Red de telefonía móvil básica	9
1.3.1.	Red de acceso	10
1.3.1.1.	Técnicas de acceso.....	11
1.3.1.2.	Celda.....	12
1.3.1.3.	Reutilización de recursos	14
1.3.1.4.	Módulos de radio base	15
1.3.2.	Red de núcleo (Core)	16
1.3.2.1.	Conmutación de Circuitos (Circuit Switch).....	18
1.3.2.2.	Centro de Conmutación Móvil (MSC) ...	18
1.3.2.3.	Registro de ubicación visitada (VLR) ...	19
1.3.2.4.	Registro de ubicación local (HLR)	19
1.3.2.5.	Centro de Autenticación (AUC)	20
1.3.2.6.	Registro de Identidad de Equipo (EIR).....	20
1.3.2.7.	Puerta de enlace de Medios (MGW)	21
1.3.2.8.	Puerta de enlace del Centro de Conmutación Móvil (GMSC).....	21
1.3.2.9.	Puerta de enlace de Registro de Ubicación (GLR).....	22
1.3.2.10.	Red Móvil Terrestre Pública (PLMN)	23
1.3.2.11.	Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN)	23
1.3.3.	Servicios de valor agregado	23
1.3.3.1.	Conmutación de Paquetes (Packet Switch).....	24
1.3.3.2.	Nodo de Soporte de Servicios GPRS (SGSN).....	25

	1.3.3.3.	Nodo de Soporte GPRS de Puerta de enlace (GGSN)	25
	1.3.3.4.	Nodo de Punto de Acceso (APN)	25
	1.3.3.5.	Servidor de Nombres de Dominio (DNS).....	26
	1.3.3.6.	Red IP externa.....	26
	1.3.3.7.	Internet	26
1.4.		Conceptos importantes de telefonía móvil.....	27
	1.4.1.	Plano de usuario (<i>user plane</i>).....	27
	1.4.1.1.	Flujo de datos (<i>data stream</i>)	27
	1.4.1.2.	Portadora de datos (<i>data bearer</i>).....	28
	1.4.1.3.	Rendimiento (<i>throughput</i>)	28
	1.4.2.	Plano de control (<i>control plane</i>)	29
	1.4.3.	Red de Transporte de Plano de Control (Transport Network Control Plane)	29
	1.4.4.	Plano Posterior (<i>backplane</i>).....	30
	1.4.4.1.	Plano Posterior Activo (Active Backplane).....	31
	1.4.4.2.	Plano Posterior Pasivo (Passive Backplane).....	31
	1.4.5.	Traspaso (<i>handover</i>)	31
	1.4.6.	Normas de la telefonía móvil	32
	1.4.6.1.	3GPP	32
	1.4.6.2.	ITU.....	33
	1.4.6.3.	IEEE	34
	1.4.6.4.	IETF	35
2.		DESCRIPCIÓN DE LAS REDES GSM Y UMTS.....	37
	2.1.	Descripción de Red de Acceso GSM (GRAN).....	37

2.1.1.	Técnicas de acceso utilizadas en GSM.....	37
2.1.1.1.	Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).....	38
2.1.1.2.	Acceso Multiple por División de Código (CDMA)	39
2.1.2.	Problemas de transmisión	41
2.1.2.1.	Pérdida de Trayectoria (Path Loss).....	42
2.1.2.2.	Ensombrecer (Shadowing).....	42
2.1.2.3.	Desvanecimiento Multitrayecto (Multipath Fading)	43
2.1.2.4.	Desvanecimiento de Rayleigh (Rayleigh Fading).....	43
2.1.2.5.	Interferencia co-canal.....	44
2.1.2.6.	Canales adyacentes.....	44
2.1.3.	Interfaces entre nodos.....	45
2.1.3.1.	Interfaz A-bis	46
2.1.3.2.	Interfaz Um.....	47
2.1.3.3.	Interfaz A	47
2.1.3.4.	Interfaz A-ter.....	48
2.1.4.	Funcionalidades de Traspaso (Handover)	49
2.1.4.1.	Traspaso Intra-Celda (Intra-Cell Handover).....	50
2.1.4.2.	Handover entre celdas de una BSC	51
2.1.4.3.	Handover entre celdas de diferente BSC	51
2.1.4.4.	Handover entre celdas de diferente MSC/VLR	51
2.1.5.	Protocolos de comunicación y señalización en GSM	52

	2.1.5.1.	MTP	53
	2.1.5.2.	SCCP.....	54
	2.1.5.3.	BSSAP.....	55
	2.1.5.4.	BSSMAP.....	55
	2.1.5.5.	DTAP	56
	2.1.5.6.	BTAP	57
	2.1.5.7.	BTSM.....	57
2.2.		Descripción de la Red de Acceso Terrestre UMTS (UTRAN)..	57
	2.2.1.	Técnica de Acceso en UMTS	59
		2.2.1.1. WCDMA.....	60
	2.2.2.	Problemas de transmisión y recepción	63
		2.2.2.1. Propagación Multitrayecto (Multipath Propagation)	63
		2.2.2.2. Desvanecimiento por sombreado (Shadow Fading)	64
		2.2.2.3. Pérdida de Trayectoria (Path Loss)	65
	2.2.3.	Funcionalidades de Traspaso (Handover).....	65
		2.2.3.1. Traspaso mas suave (Softer Handover).....	66
		2.2.3.2. Traspaso suave (Soft Handover)	67
		2.2.3.3. Traspaso entre frecuencias (Inter- frequency Handover)	67
		2.2.3.4. Traspaso entre Tecnologías de Acceso de Radio (Inter-Ratio Access Technology Handover)	67
	2.2.4.	Interfaces entre nodos	68
		2.2.4.1. Interfaz Cu	69
		2.2.4.2. Interfaz Uu	69
		2.2.4.3. Interfaz Iur.....	70

	2.2.4.4.	Interfaz lub	70
	2.2.4.5.	Interfaz lu-cs.....	71
	2.2.4.6.	Interfaz lu-ps	71
	2.2.4.7.	Interfaz lu-bc	72
	2.2.4.8.	Interfaz lu-pc	72
2.2.5.		Protocolos de comunicación y señalización	72
	2.2.5.1.	NBAP.....	74
	2.2.5.2.	RANAP.....	75
	2.2.5.3.	PCAP.....	76
	2.2.5.4.	SABP.....	76
	2.2.5.5.	RNSAP	77
2.3.		Descripción del Núcleo (Core)	77
	2.3.1.	Arquitectura en capas	78
		2.3.1.1. Capa de Aplicación	79
		2.3.1.2. Capa de Control	79
		2.3.1.3. Capa de Conectividad	80
	2.3.2.	Funcionalidades de la Red de Núcleo (Core).....	81
		2.3.2.1. Solución Monolítica	81
		2.3.2.2. Solución de Subsistema Móvil (MSS)	82
		2.3.2.3. Controlador de Puerta de Enlace (MGC).....	83
		2.3.2.4. Subsistema de Multimedia IP (IMS) ...	84
		2.3.2.5. Redes externas	87
	2.3.3.	Interfaces entre nodos de la red Core	87
		2.3.3.1. Interfaz Nb.....	88
		2.3.3.2. Interfaz Mc.....	89
		2.3.3.3. Interfaces D y C.....	89
		2.3.3.4. Interfaz Nc.....	89
		2.3.3.5. Interfaz Gn.....	90

	2.3.3.6.	Interfaz Gr.....	90
2.3.4.		Protocolos de comunicación y señalización	90
	2.3.4.1.	M3UA.....	90
	2.3.4.2.	SCTP	91
	2.3.4.3.	Protocolo IP	92
	2.3.4.4.	MAP	92
	2.3.4.5.	TCAP	93
	2.3.4.6.	ISUP	93
	2.3.4.7.	BICC	94
	2.3.4.8.	GCP - H248	95
3.		DESCRIPCIÓN DE UNA RED LTE	97
3.1.		Requisitos de una red LTE	97
3.2.		Sistema de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet System)	104
	3.2.1.	Evolución de Arquitectura de Sistema (System Architecture Evolution).....	105
3.3.		Descripción de E-UTRAN	107
	3.3.1.	Nodo B Evolucionado (eNodeB)	108
		3.3.1.1. Subsistema Home eNode B (Home eNodeB Subsystem - HeNS)	110
	3.3.2.	Técnica de acceso en LTE	112
		3.3.2.1. OFDMA.....	114
		3.3.2.2. SC-FDMA	114
		3.3.2.3. MIMO	114
	3.3.3.	Interfaces en LTE	116
		3.3.3.1. Interfaz X2	116
		3.3.3.2. Interfaz S1	119
	3.3.4.	LTE Avanzado (LTE-Advanced)	120

	3.3.4.1.	Agregación de Portadoras (Carrier Aggregation).....	121
	3.3.4.2.	Técnica MIMO en LTE Advanced.....	123
	3.3.4.3.	Nodos Relevadores (Relay Nodes)	125
	3.3.4.4.	Compatibilidad en LTE	127
3.4.		Núcleo de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet Core)....	128
	3.4.1.	Servidor de Subscriptor Local (HSS).....	129
	3.4.1.1.	Responsabilidades del HSS.....	130
	3.4.1.2.	Funcionalidades del HSS	131
	3.4.2.	Entidad de Administración de Movilidad (MME)	131
	3.4.2.1.	Funciones del MME.....	132
	3.4.2.2.	Responsabilidades del MME	133
	3.4.3.	S-GW.....	134
	3.4.3.1.	Funciones del S-GW	134
	3.4.4.	P-GW.....	135
	3.4.4.1.	Funciones del P-GW	136
	3.4.5.	PCRF.....	136
	3.4.6.	Nodos adicionales de EPC.....	137
	3.4.6.1.	Centro de Servicio de Localización Móvil Evolucionado (Evolved Serving Mobile Location Centre - E-SMLC).....	137
	3.4.6.2.	Servicio de Difusión y Multidifusión de Multimedia (Multimedia Broadcast Multicast Service - MBMS)	138
	3.4.7.	Interfaces en EPC	138
	3.4.7.1.	Interfaz S6a.....	139
	3.4.7.2.	Interfaz S6d.....	139
	3.4.7.3.	Interfaz S11	140

	3.4.7.4.	Interfaz S10	140
	3.4.7.5.	Interfaces S5/S8	140
	3.4.7.6.	Interfaz S3	140
	3.4.7.7.	Interfaz S4	140
	3.4.7.8.	Interfaz SGs.....	141
	3.4.7.9.	Interfaz Sv.....	141
3.5.		Funcionalidades y protocolos de comunicación en LTE	141
	3.5.1.	Funcionalidades de una red LTE	142
		3.5.1.1. TA.....	142
		3.5.1.2. Creación de tuneles (<i>tunnelling</i>)	143
		3.5.1.3. Portadora (<i>bearer</i>)	145
		3.5.1.4. Traspaso Interno en un eNB (Intra eNB Handover).....	146
		3.5.1.5. Traspaso entre eNB (Inter eNB Handover).....	147
		3.5.1.6. Bajada en Tecnología de Conmutación de Circuitos (<i>CS fall back</i>).....	150
		3.5.1.7. SRVCC	151
		3.5.1.8. Traspaso entre Tecnologías de Acceso de Radio (Inter RAT Handover).....	153
	3.5.2.	Protocolos de aplicación.....	154
		3.5.2.1. S1AP	154
		3.5.2.2. X2AP	155
		3.5.2.3. GTP	156
		3.5.2.4. SGsAP	157
		3.5.2.5. MAP	159
		3.5.2.6. DIAMETER	159

	3.5.2.7.	SS7	159
3.5.3.		Protocolos de transporte	160
	3.5.3.1.	UDP	160
	3.5.3.2.	SCTP	160
	3.5.3.3.	TCP	161
4.		COMPARACIÓN ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL.....	163
4.1.		Similitudes y diferencias entre tecnologías	163
	4.1.1.	Evolución de las tecnologías	163
		4.1.1.1. Generaciones de tecnologías.....	164
		4.1.1.2. Convergencia de las redes.....	166
		4.1.1.3. Arquitectura de capas	167
	4.1.2.	Modulaciones utilizadas	167
		4.1.2.1. GMSK.....	168
		4.1.2.2. QPSK	169
		4.1.2.3. 16-QAM	169
		4.1.2.4. 64-QAM	170
	4.1.3.	Modos de operación	170
		4.1.3.1. FDD	171
		4.1.3.2. TDD	172
	4.1.4.	Métodos de transporte	172
		4.1.4.1. Protocolos de transporte	173
		4.1.4.2. Redundancia	175
		4.1.4.3. Redundancia geográfica	177
	4.1.5.	Señalización.....	178
		4.1.5.1. NAS	179
		4.1.5.2. AS	179
	4.1.6.	Carga útil (<i>payload</i>)	179

	4.1.6.1.	Carga de tramas (<i>upstream</i>).....	180
	4.1.6.2.	Descarga de tramas (<i>downstream</i>)....	180
	4.1.7.	Limitaciones del espectro electromagnético	180
	4.1.8.	Ventajas y desventajas de LTE	181
	4.1.8.1.	Voz sobre IP	183
4.2.		Convivencia entre las diferentes tecnologías	183
	4.2.1.	Soluciones a los problemas de las tecnologías	184
	4.2.1.1.	STP.....	185
	4.2.1.2.	SIGTRAN.....	186
	4.2.1.3.	SUA	188
	4.2.1.4.	SIP.....	188
	4.2.1.5.	SIP-I.....	190
	4.2.2.	Nuevas tendencias en la red de telefonía móvil ...	191
	4.2.2.1.	FNR	191
	4.2.2.2.	Todo en IP	192
5.		OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE TELEFONÍA	
		MÓVIL LTE.....	193
5.1.		Normas que debe cumplir.....	193
	5.1.1.	Normativos de 3GPP	193
	5.1.2.	Revisiones de capacidades	194
5.2.		Equipos utilizados.....	195
	5.2.1.	Soluciones de proveedores	195
	5.2.1.1.	Soporte de proveedores	196
5.3.		Operación de una red de telefonía móvil	196
	5.3.1.	Gestión de los equipos	197
	5.3.2.	Rutinas de mantenimiento	198
	5.3.2.1.	Revisión de Salud (Health-check).....	198

5.3.2.2.	Copia de respaldo (<i>backup</i>) automático.....	199
5.3.2.3.	Copia de respaldo (<i>backup</i>) manual...	199
5.3.2.4.	Actualización (<i>update</i>).....	200
5.3.2.5.	Mejora (<i>upgrade</i>).....	200
5.3.2.6.	Marcha atrás (<i>roll-back</i>).....	201
5.3.3.	Gestión de alarmas	201
5.3.3.1.	Criticidad de alarmas.....	202
5.3.3.2.	Falla de equipo.....	203
5.3.3.3.	Escalación de fallas en equipos	203
5.3.3.4.	Solicitud de servicio del cliente al proveedor (<i>customer service request</i>)	204
5.3.3.5.	Acuerdo de nivel de servicio (<i>level service agreement</i>).....	204
5.3.4.	Solución de problemas (<i>troubleshooting</i>)	205
5.3.4.1.	Registro de eventos (<i>log</i>)	205
5.3.4.2.	Captura de trazados.....	206
5.4.	Optimización de la red.....	207
5.4.1.	Administración de capacidades (<i>capacity management</i>)	208
5.4.2.	Indicadores de desempeño principales (KPI).....	208
5.4.3.	Calidad de servicio (QoS).....	209
CONCLUSIONES.....		211
RECOMENDACIONES		213
BIBLIOGRAFÍA.....		215
ANEXOS.....		217

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Red de telefonía móvil.....	6
2.	Radio canales	7
3.	Subsistema de Estación Base (Base Station Subsystem - BSS).....	10
4.	Red de Acceso Terrestre UMTS (UMTS Terrestrial Access Network - UTRAN).....	11
5.	Técnicas de acceso.....	12
6.	Ubicación de un terminal en una celda	13
7.	Sectores de celda	13
8.	Reutilización de frecuencias en TDMA.....	14
9.	Reutilización de Código de Aleatorización (Scrambling Code) en WCDMA	15
10.	Modularidad	16
11.	Red de Núcleo de Conmutación de Circuitos (CS Core Network)	17
12.	Red de Núcleo de Conmutación de Paquetes (PS Core Network)	24
13.	Interfaz Iu	30
14.	Estructura de una trama TDMA.....	39
15.	Funcionamiento del Espectro Ensanchado (Spread-Spectrum).....	40
16.	Correlación cruzada de secuencias ortogonales.....	41
17.	Problemas de transmisión en GSM.....	42
18.	Interferencia C/I.....	44
19.	Interferencia C/A	45

20.	Modelo de capas de GRAN	46
21.	Conexión Consociada (Conexión en Pool) de las BSC	48
22.	Interfaces de GRAN.....	49
23.	Handover en GSM	50
24.	Señalización en GSM	53
25.	Agregado de tráfico de varios Node B	59
26.	Ensanchamiento (<i>spreading</i>)	61
27.	Operación con C.C. y S.C.....	62
28.	(ISI)	64
29.	Handover en WCMDA	66
30.	Capas de UMTS	69
31.	Interfaces en la arquitectura UTRAN	72
32.	UTRAN	73
33.	RANAP sobre ATM	76
34.	Modelo de arquitectura en capas.....	78
35.	Dominios de la red de Núcleo	80
36.	Modelo de una red Monolítica.....	82
37.	Modelo de una red MSS	83
38.	MGC	84
39.	IMS	86
40.	Interfaces en la red Core	88
41.	Protocolos de comunicación en la red de Core	96
42.	EPS.....	105
43.	SAE.....	106
44.	E-UTRAN.....	108
45.	Protocolo del Plano de Usuario E-UTRAN (E-UTRAN User Plane Protocol)	110
46.	HeNS	111
47.	Arquitectura HeNS	112

48.	OFDMA y SC-FDMA	113
49.	Funcionamiento de MIMO	115
50.	Interfaces en LTE	116
51.	Pila de protocolos de la interfaz X2	117
52.	Backhaul con E-LINE	118
53.	Backhaul con E-LAN	118
54.	Stack de protocolos de S1	120
55.	Agregación de portadoras	123
56.	Técnicas MIMO y Precodificación (Precoding) en LTE Advanced	125
57.	Operación con Relay Node	126
58.	Compatibilidad entre radio bases LTE	127
59.	Nodos del EPC.....	129
60.	TAI.....	143
61.	Tunnelling.....	144
62.	Bearer	146
63.	Intra eNB Handover.....	147
64.	X2 Handover	148
65.	Señalización del X2 Handover	150
66.	Configuración de CSFB.....	151
67.	Configuración de SRVCC.....	152
68.	GMSK y 8PSK.....	168
69.	QPSK	169
70.	Constelaciones de QPSK, 16-QAM y 64-QAM	170
71.	Modos de operación.....	171
72.	Comparación de las capas de transporte en RNSAP.....	175
73.	Señalización.....	178
74.	Comparación con LTE.....	182
75.	Convivencia entre tecnologías	184
76.	Implementación de STP	186

77.	Implementación de SIGTRAN.....	187
78.	Mensajes en una comunicación SIP.....	190
79.	Release de 3GPP	194
80.	O&M.....	197
81.	Captura de trazados en LTE.....	207
82.	Reportes de KPI.....	209
83.	Aplicación de QoS	210

TABLAS

I.	Mensajes GTP-U	157
II.	Tipos de mensajes de SGsAP	158

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
B	Ancho de banda
α	Alpha
β	Beta
dB	Decibel
f	Frecuencia en Hz
γ	Gamma
Gbps	Giga bits por segundo
GHz	Giga Hertz
Kbps	Kilo bits por segundo
KHz	Kilo Hertz
Km/h	Kilometro por hora
Mbps	Mega bits por segundo
Mcps	Mega chips por segundo
MHz	Mega Hertz
ms	Milisegundo
μ	Mu
T	Período de una señal
s	Segundos

GLOSARIO

1G	Primera generación de telefonía móvil celular.
2G	Segunda generación de telefonía móvil celular.
3G	Tercera generación de telefonía móvil celular.
3GPP	Third Generation Partnership Project.
4G	Cuarta generación de telefonía móvil celular.
16-QAM	16-ary QAM, Modulación QAM de orden 16.
64-QAM	64-ary QAM, Modulación QAM de orden 16.
8-PSK	8-state Phase Shift Keying.
AAL	ATM Adaptation Layer.
AAL2	ATM Adaptation Layer type 2.
AAL5	ATM Adaptation Layer type 5.
ACM	Address Complete Message.
ALCAP	Access Link Control Application Protocol.

AMPS	Advanced Mobile Phone Service.
AN	Access Network.
ANM	Answer Message.
AS	Access Stratum.
ATM	Asynchronous Transfer Mode.
AuC	Authentication Centre.
BCH	Broadcast Channel.
BER	Bit Error Ratio.
BGR	Guaranteed Bit Rate.
Bit	Unidad mínima de información digital; puede tener valor 1 o valor 0.
BPSK	Binary Phase Shift Keying.
BS	Base Station.
BSS	Base Station Subsystem.
BSSAP	Base Station Subsystem Application Part.

BSSMAP	Base Station Subsystem Management Application Part.
BTS	Base Transceiver Station.
BW	Bandwidth, Ancho de banda de una señal normalmente expresado en Hertz.
C.C.	Channelisation Codes.
C/A	Carrier-to-Adjacent Power Ratio, relación portadora a portadora adyacente de una señal.
C/I	Carrier-to-Interference Power Ratio, relación portadora a interferencia de una señal.
CAMEL	Customised Application for Mobile network Enhanced Logic.
CAP	CAMEL Application Part.
CBC	Cell Broadcast Centre.
CC	Call Control.
CC	Country Code.
CC	Component Carrier.

CCH	Control Channel.
CDMA	Code Division Multiple Access.
CDR	Charging Data Record.
CGI	Cell Global Identifier.
Charging	Carga, proceso de realizar la carga o habilitación de los servicios de datos a un usuario para controlar la cantidad de bits que tiene permitido utilizar.
CI	Cell Identity.
CM	Connection Management.
CN	Core Network.
Conmutar	Cambiar el destino de una señal o corriente eléctrica.
CP	Control Plane.
C-plane	Control Plane.
CS	Circuit Switched.
DFT	Discrete Fourier Transformation, Transformada de Fourier en tiempo discreto.

DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol.
diff-serv	Differentiated services.
DL	Downlink (Forward Link).
DS-CDMA	Direct-Sequence Code Division Multiple Access.
DTAP	Direct Transfer Application Part.
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution.
EIR	Equipment Identity Register.
eNB	E-UTRAN Node B o Evolved Node B, Nodo B mejorado para LTE.
EPC	Evolved Packet Core.
EPS	Evolved Packet System.
E-RAB	E-UTRAN Radio Access Bearer.
E-SMLC	Enhanced Serving Mobile Location Centre.
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access.
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.

Fading	Desvanecimiento o atenuación de una señal.
FCCH	Frequency Correction Channel.
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
FNR	Flexible Number Register.
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network.
GGSN	Gateway GPRS Support Node.
GMSC	Gateway MSC.
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying.
GPRS	General Packet Radio Service.
GSM	Global System for Mobile communications.
GT	Global Title.
GTP	GPRS Tunnelling Protocol.
GTP-U	GPRS Tunnelling Protocol for User Plane.
HLR	Home Location Register.
HO	Handover.

Hot-spot	Área física desde la cual es posible establecer una conexión en forma inalámbrica.
HPLMN	Home Public Land Mobile Network.
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access.
HSPA	High Speed Packet Access.
HSS	Home Subscriber Server.
HW	Hardware.
IAM	Initial Address Message.
Idle	Desocupado.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, o Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
IETF	Internet Engineering Task Force.
IMS	IP Multimedia Subsystem.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity.
IMT-2000	International Mobile Telecommunications 2000.
IP	Internet Protocol.

ISDN	Integrated Services Digital Network.
ISI	Intersymbol Interferencia, o Interferencia Intersimbólica.
ISP	Internet Service Provider.
ISUP	ISDN User Part.
ITU	International Telecommunication Union.
ITU-R	Radiocommunication Sector of the ITU.
L1	Layer 1 (physical layer).
L2	Layer 2 (data link layer).
L3	Layer 3 (network layer).
LA	Location Area.
LAC	Location Area Code.
LAI	Location Area Identity.
MAC	Medium Access Control (protocol layering context), desde el contexto de las capas del modelo OSI.

MAC	Message authentication code (encryption context), desde el contexto de encriptación de mensajes.
MAP	Mobile Application Part.
MBMS	Multimedia Broadcast and Multicast Service.
MCC	Mobile Country Code.
MGW	Media Gateway.
MIMO	Multiple Input Multiple Output.
MM	Mobility Management.
MME	Mobile Management Entity.
MS	Mobile Station.
MSC	Mobile Switching Centre.
MSISDN	Mobile Subscriber ISDN Number.
MSRN	Mobile Station Roaming Number.
MTP	Message Transfer Part.
MTP3-B	Message Transfer Part level 3.

NAS	Non-Access Stratum.
NB	Node B.
NBAP	Node B Application Part.
NSS	Network Sub System.
O&M	Operations & Maintenance.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access.
OS	Operations System.
OSS	Operations support systems - Sistemas de soporte a las operaciones.
Paging	Realizar mensajes de búsqueda.
PDCP	Packet Data Convergence Protocol.
PDN	Packet Data Network.
PDN GW	Packet Data Network Gateway.
P-GW	Packet Data Network Gateway.

PLMN	Public Land Mobile Network.
Protocolo	Conjunto de normas para la transmisión de datos entre entes comunicantes.
PS	Packet Switched.
PSTN	Public Switched Telephone Network.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation o modulación de amplitud en cuadratura.
QCI	QoS Class Identifier.
QoS	Quality of Service.
QPSK	Quadrature (Quaternary) Phase Shift Keying.
RAB	Radio Access Bearer.
RAN	Radio Access Network.
RANAP	Radio Access Network Application Part.
RAT	Radio Access Technology.
RB	Radio Bearer.
RBS	Estación Radio Base.

REL	Release Message.
RFC	Request For Comments.
RLC	Release Complete Message.
RLC	Radio Link Control.
RN	Relay Node.
RNC	Radio Network Controller.
RNL	Radio Network Layer.
RNS	Radio Network Subsystem.
RNSAP	Radio Network Subsystem Application Part.
Router	Dispositivo enrutador de paquetes de datos IP que opera en la capa de red del modelo OSI.
RR	Radio Resources.
RRC	Radio Resource Control.
S.C.	Scrambling Codes.
S/N	Relación señal a ruido.

S1AP	S1 Application Protocol.
S1-MME	S1 for the control plane.
S1-U	S1 for the user plane.
SAE	System Architecture Evolution.
SCCH	Synchronisation Control Channel.
SCCP	Signalling Connection Control Part.
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access.
S-CSCF	Serving CSCF.
SCTP	S Common Transport Protocol.
SGSN	Serving GPRS Support Node.
S-GW	Serving Gateway.
SIM	GSM Subscriber Identity Module.
SIP	Session Initiated Protocol.
SLA	Service Level Agreement.
SMS	Short Message Service.

SMS-SC	Short Message Service - Service Centre.
SNMP	Simple Network Management Protocol.
SNR	Signal-to-Noise Ratio.
SPC	Signalling Point Code.
SS7	Signalling System No. 7.
SSN	Sub-System Number.
STP	Signalling Transfer Point.
SW	Software.
Switch	Dispositivo digital lógico de interconexión de equipos que opera en la capa de enlace de datos del modelo OSI.
TA	Tracking Area.
TCH	Traffic Channel.
TCP	Transmission Control Protocol.
TDMA	Time Division Multiple Access.
TR	Technical Report.

TS	Technical Specification.
TV	Televisión.
UDP	User Datagram Protocol.
UE	User Equipment.
UL	Uplink (Reverse Link).
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System.
UP	User Plane.
U-plane	User Plane.
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access.
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network.
VLR	Visitor Location Register.
VoIP	Voice Over IP.
VPLMN	Visited Public Land Mobile Network.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access.
Wifi	Wireless fidelity.

WLAN	Wireless Local Area Network.
X2-C	X2-Control plane.
X2-U	X2-User plane.
Yuxtaponer	Poner algo junto a otra cosa o inmediata a ella.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se describe cada una de las partes principales que componen a una red de telefonía móvil, para desarrollar de una forma más comprensible el funcionamiento de una red de telefonía móvil LTE.

En el capítulo 1 se determinan los principales elementos que permiten el funcionamiento de una red de telefonía móvil, indicando las divisiones principales que se realizan en una red de telefonía móvil básica.

En el capítulo 2 se realiza una descripción de las redes GSM y UMTS, indicando las técnicas de acceso y su operación con las redes de núcleo.

En el capítulo 3 se presenta la descripción de una red de telefonía móvil LTE indicando las técnicas de acceso, la red de núcleo evolucionada y los principales protocolos de aplicación utilizados.

En el capítulo 4 se realiza una comparación entre las tecnologías utilizadas en las redes de telefonía móvil.

En el capítulo 5 se indican las actividades de operación y mantenimiento de una red LTE, indicando los procedimientos para mantener la red en funcionamiento.

OBJETIVOS

General

Describir el funcionamiento general de una red de telefonía móvil LTE.

Específicos

1. Explicar el funcionamiento de una red de telefonía móvil.
2. Presentar la descripción de las redes de telefonía móvil GSM y UMTS.
3. Describir una red de telefonía móvil LTE.
4. Realizar la comparación entre las tecnologías de las redes de telefonía móvil.
5. Describir la operación y mantenimiento de una red de telefonía móvil LTE.

INTRODUCCIÓN

Debido a las nuevas tecnologías implementadas en la telefonía móvil y a los avances de las aplicaciones utilizadas por los usuarios de equipos móviles en su vida cotidiana, las empresas de telefonía móvil deben implementar estas nuevas tecnologías para estar a la vanguardia en cuanto a las necesidades de los usuarios.

LTE son las siglas en inglés del estándar de banda ancha móvil denominado Long Term Evolution, el cual está presente en las redes de comunicación modernas. Esta evolución a largo plazo multiplica el acceso a redes inalámbricas para dar complemento a las redes 3G, conocidas como las redes de tercera generación.

Debido al reciente aumento del uso de datos móviles y la aparición de nuevas aplicaciones y servicios como juegos masivos multijugador en línea, televisión móvil, flujo de datos de contenidos entre otros, ha sido necesario el desarrollo del proyecto LTE.

Para implementar esta nueva tecnología las empresas de telefonía móvil necesitan personal capaz de comprender el funcionamiento de LTE, es por ello que este trabajo busca ampliar el conocimiento del estudiante y profesional de ingeniería para poder desarrollarse en esta área de las telecomunicaciones.

1. FUNCIONAMIENTO DE UNA RED DE TELEFONÍA MÓVIL

1.1. Sistema de telefonía móvil

Los sistemas de telefonía móvil son también nombrados como telefonía celular, se conforman básicamente por dos partes importantes: una red de comunicaciones o red de telefonía móvil y los terminales o teléfonos móviles que permiten el acceso a los servicios de la red. Este sistema permite la realización de una comunicación inalámbrica entre usuarios que se encuentren en el área de cobertura de esta red, y para poder identificarse se utiliza un estándar de tecnología GSM, UMTS o bien LTE configurada para la red que provee el servicio de telefonía de los usuarios.

Estos sistemas de comunicación son proporcionados por compañías de telefonía móvil también conocidas como operadores, las cuales poseen una amplia estructura de antenas, terminales de conmutación, bases de datos de usuarios, entre otras. Para utilizar estos servicios de la red es necesario pagar una cuota dependiendo del servicio a utilizar ya sea un plan prepago, pospago o bien una combinación de ambos, incluso se pueden brindar planes corporativos para clientes de consumo masivo.

La comunicación telefónica se realiza por medio de la interconexión entre centrales móviles y públicas. Según las bandas o frecuencias en las que opera el teléfono móvil, podrá funcionar en una u otra parte del mundo.

La telefonía móvil se conforma de la combinación de una red de estaciones transmisoras o receptoras de radio (repetidores, estaciones base o BTS) y una conjunto de centrales telefónicas de conmutación (MSC y BSC), lo que posibilita la comunicación entre terminales telefónicos portátiles llamados también teléfonos móviles, teléfonos celulares o terminales celulares móviles y teléfonos de la red fija tradicional.

1.2. Principales elementos de una red de telefonía móvil

Entre los componentes o elementos que intervienen en la telefonía celular y que tienen funciones definidas por software y por hardware, se encuentran: terminal móvil, estación base, estaciones de control y conmutación, radio canales, entre otros.

1.2.1. Terminal móvil

El terminal celular móvil es el equipo electrónico que permite a un abonado realizar o recibir llamadas telefónicas, está compuesto por: unidad de control, fuente de alimentación, transmisor/receptor, antena. De acuerdo a la tecnología en que se encuentre operando al teléfono móvil se le conocerá también como *mobile station (MS)*, *user equipment (UE)* o simplemente terminal móvil.

Realiza una actualización periódica de la señal recibida de la estación base, enviando información para registrarse en la estación base. En su operación, el teléfono móvil establece una comunicación con una estación base y, a medida que se desplaza, los sistemas computacionales que administran la red realizan la transferencia de la llamada a la siguiente estación base de forma transparente para el usuario. Es por esto que se dice que las estaciones base

forman una red de celdas, cada estación base provee servicios a los equipos móviles que se encuentran dentro de su área de cobertura o celda.

1.2.2. Servicios de telefonía

Representan la función más importante para ambas partes, el usuario final y la operadora telefónica, debido a que es la interacción final entre el teléfono móvil y la red de telefonía móvil que la operadora despliega a través de una infraestructura necesaria para proveer ciertos servicios.

1.2.2.1. Llamadas telefónicas

Es el principal servicio para el que fueron creado los teléfonos móviles, se realiza por medio de la asignación de los recursos de la estación base al teléfono móvil, proveyendo canales de radio y de señalización para controlar la operación de una llamada y mantener un monitoreo constante, para contabilizar el tiempo que dure la llamada y brindar la mejor calidad de audio siempre.

1.2.2.2. Mensajes de texto

Una buena parte de los mensajes que se intercambian por este medio, de telefonía celular, no se basan únicamente en la voz, sino también en la escritura y los datos de usuario. En lugar de hablar al micrófono, cada vez más usuarios recurren al teclado para enviarse mensajes de texto. Sin embargo, debido a que el usuario tiene que introducir los caracteres en el terminal, ha surgido un lenguaje en el que se abrevian las palabras valiéndose de letras, símbolos y números. A pesar de que redactar y teclear es considerablemente más incómodo que conversar, dado su reducido costo, se ha convertido en una de las principales alternativas a los mensajes de voz.

Los mensajes de texto tienen un menor costo y pueden transmitir información suficiente para lograr una conversación o dar un mensaje que sea claro para su receptor, en la mayoría de los casos no se necesita dar un mensaje tan complejo por lo que se piensa evitar realizar una llamada de voz y es en este caso donde los mensajes de texto llegar a tener un gran valor.

1.2.2.3. Datos de usuario

Otro de los servicios de mayor demanda en el mercado de la telefonía móvil es la transferencia de datos del usuario para realizar consultas a páginas web, servicios de correo electrónico, mensajería instantánea, video *online* entre otros, lo cual requiere un servicio más completo para cumplir con las exigencias y la demanda de los usuarios, pueden mencionarse la asignación de mas canales de radio para un solo terminal, mayor ancho de banda, mejor calidad de señal, entre otros.

1.2.3. Estación Base

La Estación Base es la estación central dentro de una celda, conocida como BTS (Base Tranceiver Station en GSM), Nodo B (en UMTS) o e-NodeB (en LTE), esta realiza el enlace de radiofrecuencia con los terminales celulares, transmite información entre la celda y la estación de control y conmutación, así como también monitorea la comunicación de los abonados. Está conformado por: unidad de control, unidad de energía, antenas sectoriales (que utilizan métodos diversos para captar la mejor señal), TRAU (unidad encargada de adaptar y hacer la conversión de código y velocidad de las señales), y terminal de datos.

1.2.4. Controlador de Estaciones Base y Centrales Móviles

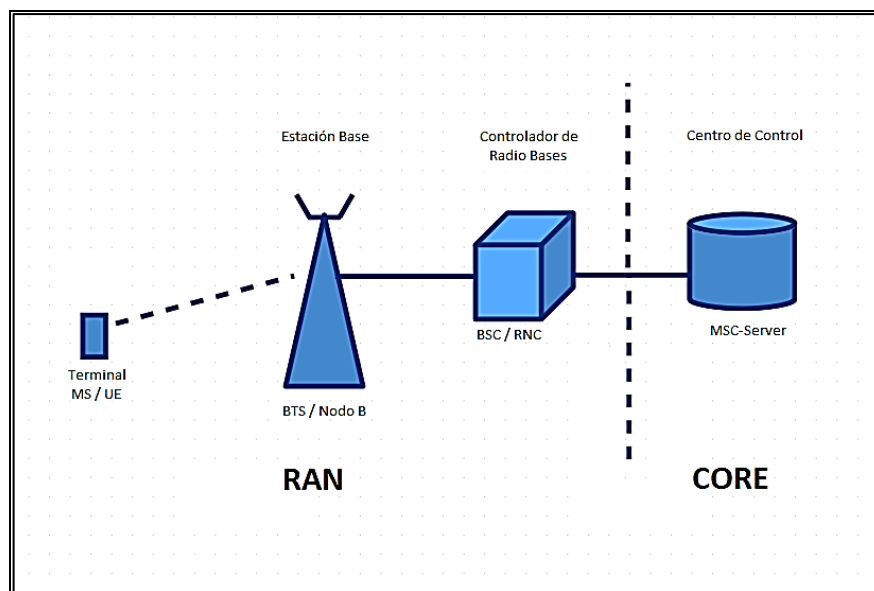
Los centros de control y conmutación en una red de telefonía se dividen en Controladores de Estaciones Base y Centrales Móviles, cuando se aplican tecnologías GSM y UMTS se denominan BSC (Base Station Controller) o RNC (Radio Network Controller) y MSC (Mobile Switching Center) respectivamente.

Los Controladores de Estaciones Base en conjunto con las Centrales Móviles forman el elemento central de todo el sistema y entre sus funciones principales se encuentran:

- Coordinar y administrar todas las BTS o Nodos B.
- Coordinar las llamadas entre la red de telefonía fija y los abonados, así como las llamadas entre los terminales celulares y los abonados, a través de las BTS.
- Se encarga de la facturación (*billing*).
- Dirigir el *hand over* entre los sitios de celda.
- Tiene un software de gestión: *network management system*.
- Se interconecta a otras centrales para comunicarse con otras redes telefónicas.
- Puede ser de 2 tipos (de acuerdo al área geográfica y cantidad de tráfico):
 - Centralizadas: una única central para toda el área de concesión del operador, usando una topología estrella.
 - Descentralizadas: más de una central, distribuido en el área de concesión.

Las Radio Bases, Controladores de Estaciones Base y Centrales Móviles se interconectan vía enlaces de fibra óptica que son enlaces de datos de alta velocidad por ejemplo SDH, o vía microondas. La velocidad y capacidad de transmisión de datos dependerá de este factor.

Figura 1. **Red de telefonía móvil**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

1.2.5. **Radio canales**

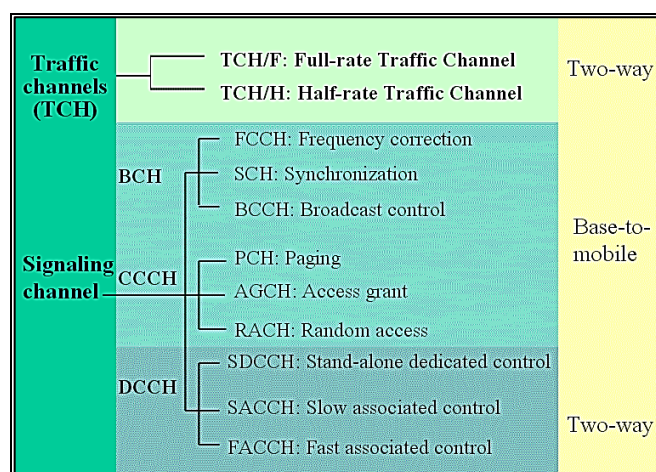
Los radio canales están conformados por las ondas electromagnéticas que transmiten la información y que tienen determinada frecuencia para poder ser captadas, tanto por la radio base como por la terminal celular móvil sin interrumpir otros medios de comunicación como la televisión o la radio comercial. Las radio bases y las terminales celulares están diseñadas para identificar determinada frecuencia de transmisión y recepción. Estos canales

pueden ocupar tanto recursos físicos de radio frecuencia como recursos lógicos de procesamiento.

Se entiende por “radio canal” al par de frecuencias portadoras más un *time slot*, que funcionan como canales de tráfico en una comunicación. De estas dos frecuencias una opera como la frecuencia de transmisión Tx de la estación base y recepción Rx del terminal, la otra frecuencia es la de recepción Rx de la estación base y transmisión Tx del terminal.

Los radio canales transportan datos y voz entre el abonado y las estaciones base, cada abonado solo puede usar un canal a la vez en las tecnologías antiguas y en las tecnologías modernas pueden variar estas características. Los canales o radio canales celulares son aquellos que hacen posible una comunicación de telefonía celular y pueden ser de 2 tipos: canales de control y canales de tráfico.

Figura 2. **Radio canales**



Fuente: *Interfaz de aire mobile network-canales y protocolos lógicos*. <https://conningtech.files.wordpress.com/2008/05/airinterfacechannels.gif>. Consulta: 21 de marzo de 2015.

1.2.6. Canales de Control (CCH)

Este tipo canales permite enviar y recibir datos entre la BTS y el teléfono portátil. Estos canales pueden ser:

1.2.6.1. Canal de Control de Adelanto (FCCH)

Generalmente proporciona una información básica acerca del sistema celular particular: número de identificación del sistema, rango de los canales de *paging* y de acceso que puede escanear.

1.2.6.2. Canal de Paging

Son los canales usados para mantener en ubicación temporal a un terminal.

1.2.6.3. Canal de Acceso

Son canales usados para responder cuando el terminal está siendo llamado, o para iniciar una llamada. También se usan para informar al portátil el TCH que debe utilizar.

En áreas pequeñas de poco tráfico, un solo canal de control puede realizar las tareas de los tres canales.

1.2.7. Canales de Tráfico (TCH)

Conocidos también como Canal de Voz, son los encargados de conducir el tráfico (voz o datos) entre la estación base y el teléfono portátil cuando se está en un proceso de llamada. También usados para enviar mensajes de señalización por parte de la BTS hacia el teléfono móvil, para manejar el proceso de *hand over*, y el control de potencia de transmisión del terminal. Los datos provenientes de la BTS se conocen como datos en adelante y los provenientes del terminal móvil se denominan datos reversos, enviados a velocidades de transmisión definidas por cada estándar de tecnología de operación.

1.3. Red de telefonía móvil básica

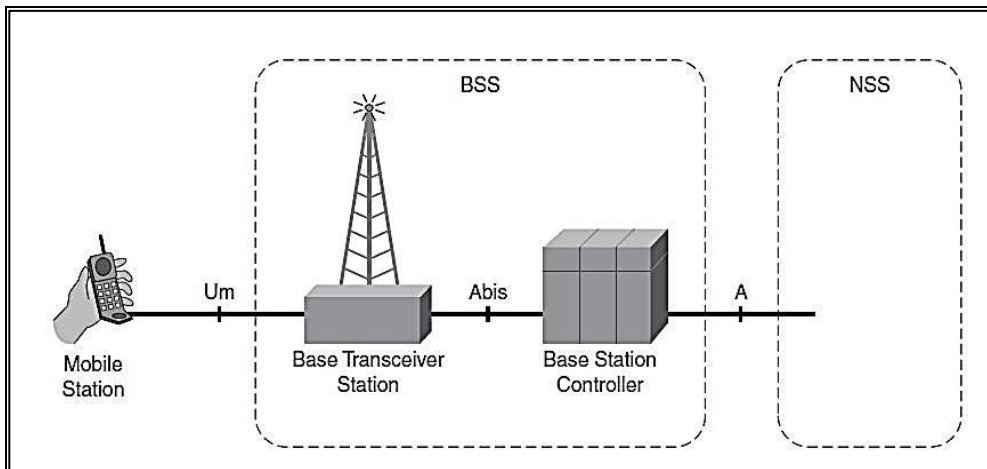
Una red de telefonía móvil consiste básicamente de un conjunto de equipos de tecnología avanzada interconectados por diferentes medios de transmisión, en una red telefonía móvil se encuentran radio bases, estaciones de control, centrales de control y conmutación, dispositivos de transmisión por fibra óptica y microondas entre otros componentes, la finalidad de la red es proveer el acceso a los medios al usuario desde su teléfono móvil, también brinda servicios de llamada de voz, mensajes de texto, datos de usuario, localización, entre otros, que el operador le pueda ofrecer conocidos como servicios de valor agregado.

La red de telefonía móvil se subdivide para su comprensión en dos partes principales, una red de acceso a los medios y una red de control y conmutación.

1.3.1. Red de acceso

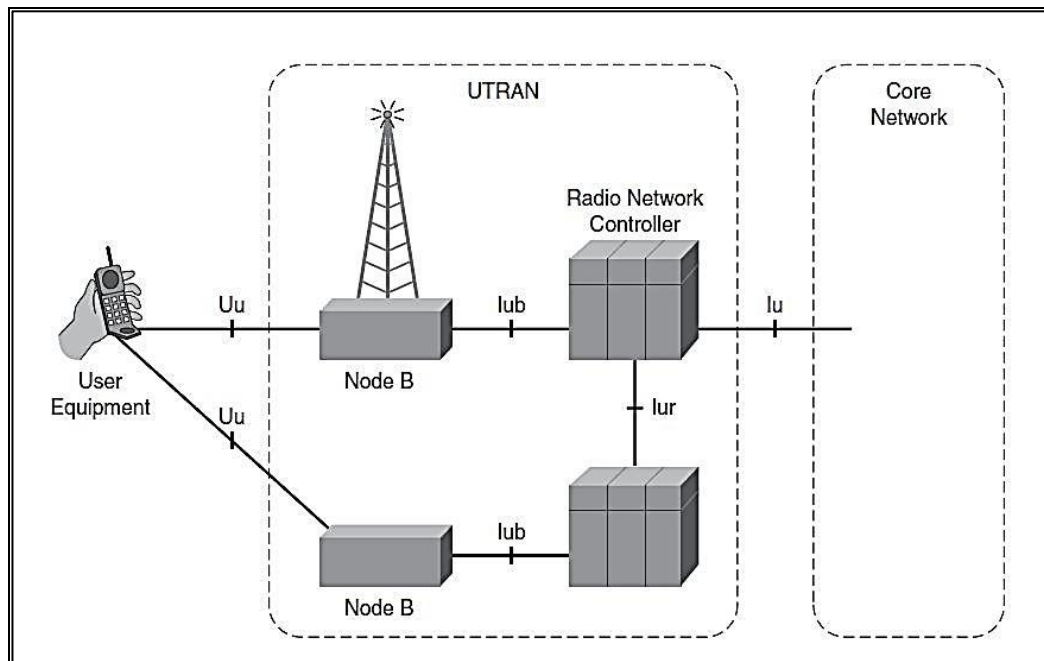
La red de acceso a los medios se conoce como RAN (Radio Access Network), debido a que su función principal es brindar al usuario final un medio para acceder a los servicios que brinda un operador, este es básicamente un medio de radiofrecuencias. Esta red está conformada por las radio bases o BTS con sus antenas transmisoras y los equipos electrónicos radiotransmisores que las hacen operar a determinadas frecuencias, también los sistemas de transmisión de las radio bases hacia los equipos controladores de las radio bases tales como BSC y RNC, considerando tales controladores como parte de la red de acceso. La red de acceso GSM es conocida como BSS y en UMTS se conoce como UTRAN.

Figura 3. **Subsistema de Estación Base (Base Station Subsystem - BSS)**



Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 42.

Figura 4. **Red de Acceso Terrestre UMTS (UMTS Terrestrial Access Network - UTRAN)**

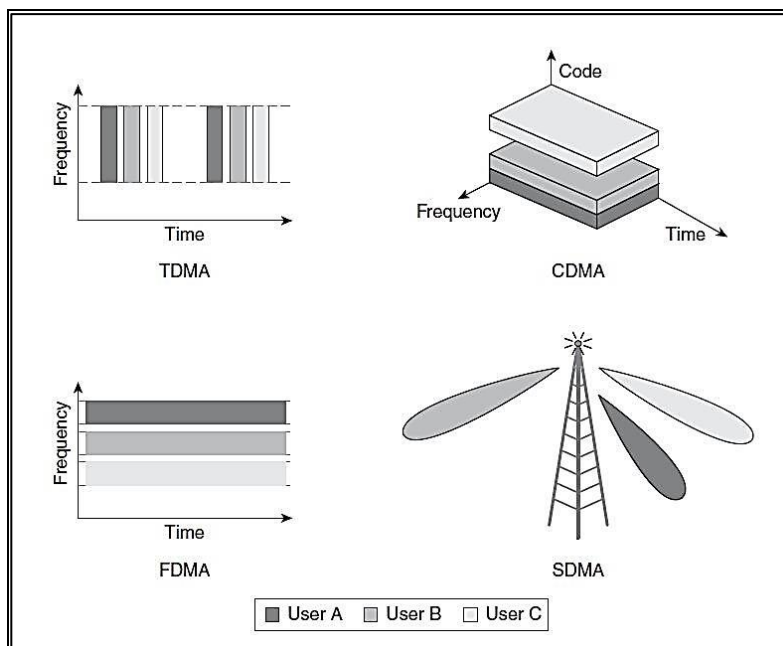


Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 56.

1.3.1.1. Técnicas de acceso

Las técnicas de acceso son definidas como la manera en que las radio bases modulan las señales de radio u ondas electromagnéticas, para proveer un canal de comunicación entre la terminal móvil del usuario y las antenas de la radio base, se pueden mencionar FDMA, TDMA, WCDMA, OFDM, SC-FDM.

Figura 5. **Técnicas de acceso**

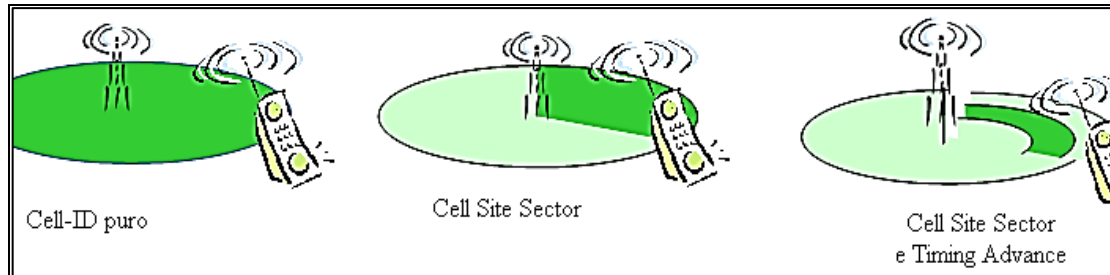


Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 19.

1.3.1.2. **Celda**

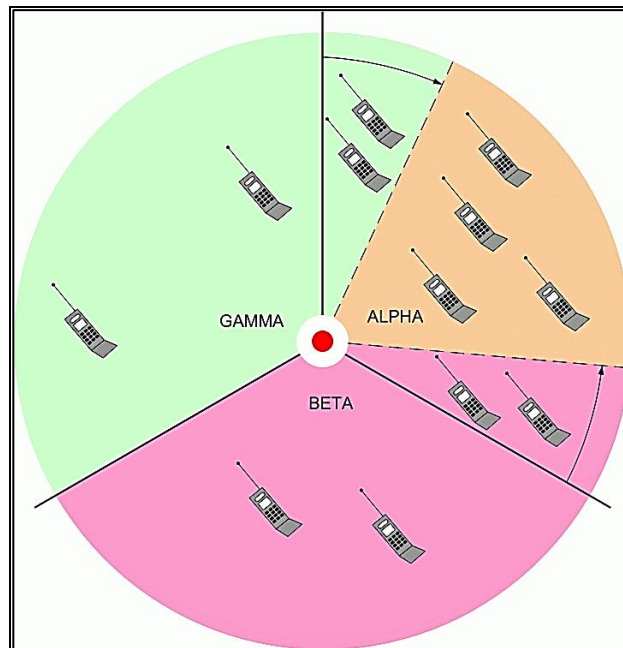
Se conoce como celda al área de cobertura para la cual está diseñada una radio base y en la cual se debe garantizar en la medida posible la total disponibilidad de los recursos al usuario final, con el mejor nivel y calidad de señal. La celda se puede dividir en sectores o cuadrantes de acuerdo a la tecnología en que esté operando la radio base, normalmente se utilizan los sectores Alpha, Beta y Gamma, comúnmente se tienen los sectores nombrados de acuerdo a las frecuencias de las tecnologías de operación y dependerá del operador la nomenclatura que se utilice para llevar el control de las propiedades de las celdas por medio de un identificador de celda; Cell-ID, identificador de sector; Cell Sector y ubicación dentro del sector; Timing Advance o TA.

Figura 6. **Ubicación de un terminal en una celda**



Fuente: *Métodos de localização baseados no Cell-ID*. http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thienne_johnson/cell_id/cell_id_arquivos/fig03.jpg.
Consulta: 22 de marzo de 2015.

Figura 7. **Sectores de celda**

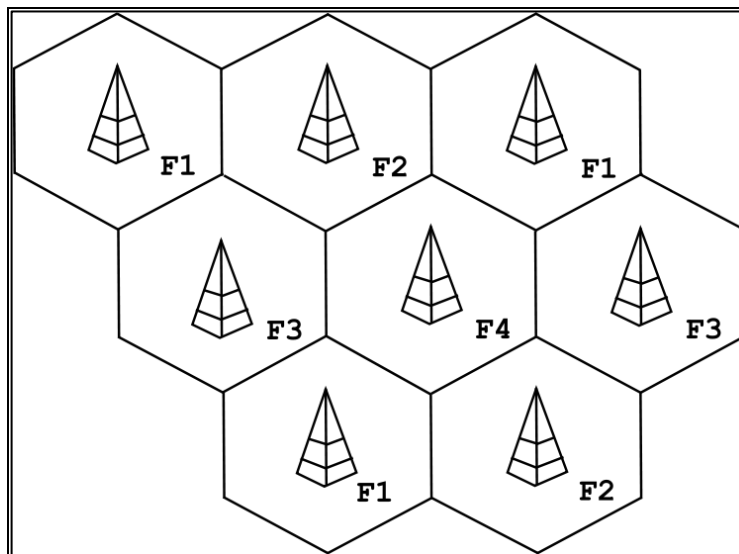


Fuente: *Métodos de localização baseados no Cell-ID*. http://www.wirelessbrasil.org/wirelessbr/colaboradores/thienne_johnson/cell_id/cell_id_arquivos/fig03.jpg.
Consulta: 22 de marzo de 2015.

1.3.1.3. Reutilización de recursos

Debido a las limitaciones que presentan las diferentes técnicas de acceso utilizadas en la telefonía móvil, es necesario asignar nuevamente los recursos con los que cuenta un abonado hacia otros abonados. La manera de realizar esto es asignando los canales de radio utilizados por un usuario a otros usuarios en diferentes ubicaciones o diferentes tiempos, también se reasignan los canales de control en diferente momento cuando un usuario particular lo requiere, también los códigos que se asignan a un usuario dentro de la lógica de control de las BSC y que ocupan espacio de memoria y procesamiento son reasignados.

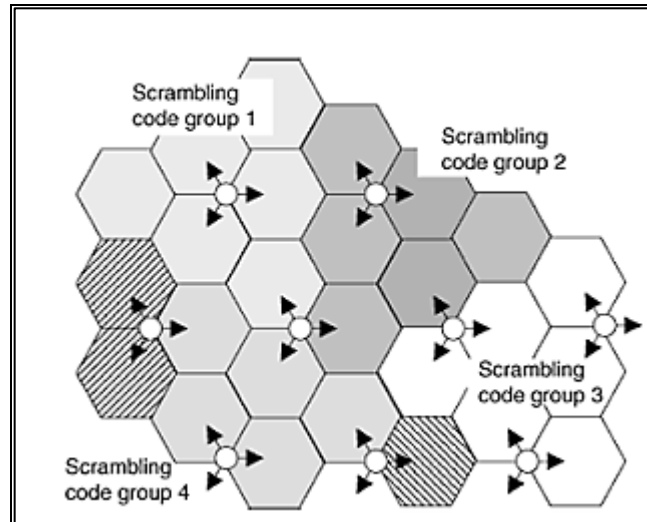
Figura 8. Reutilización de frecuencias en TDMA



Fuente: *Reutilización frecuencia.*

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/48/Reutilizacion_frecuencia.svg/743px-Reutilizacion_frecuencia.svg.png. Consulta: 22 de marzo de 2015.

Figura 9. **Reutilización de Código de Aleatorización (Scrambling Code) en WCDMA**



Fuente: *Reutilización frecuencia.*

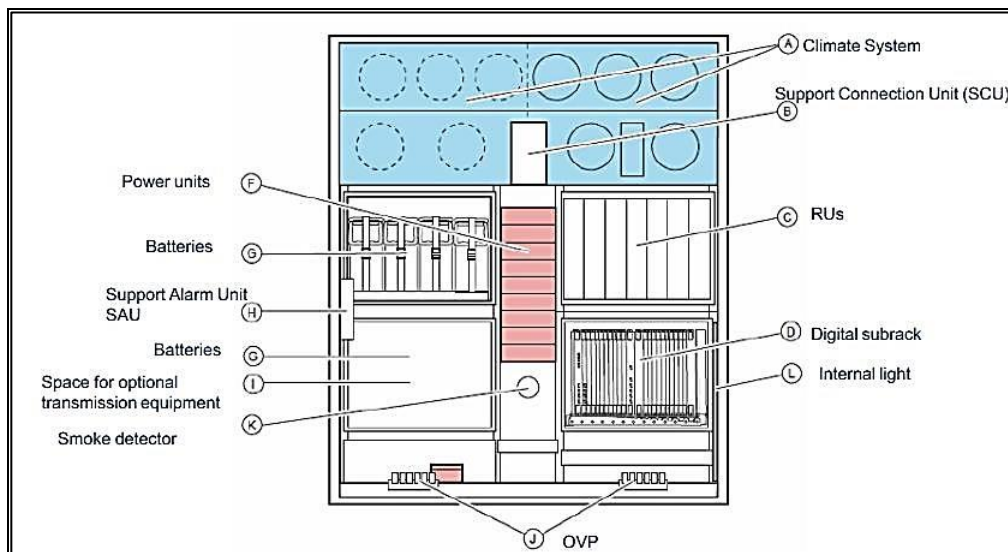
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/48/Reutilizacion_frecuencia.svg/743px-Reutilizacion_frecuencia.svg.png. Consulta: 22 de marzo de 2015.

1.3.1.4. Módulos de radio base

Comúnmente las radio bases son diseñadas de forma genérica de manera que la estructura de hardware y software es la misma en cada sitio donde son ubicadas, decir de que son genéricas se refiere a que se utilizan gabinetes y tarjetas de control conocidas también como módulos que contienen un hardware y software igual al de otra radio base, en el que solo se harán ajustes de ciertos parámetros para su operación y que son de fácil instalación y reemplazo ante averías, haciendo que la gestión y el control de las radio bases sea más fácil desde los centros de mando. Un módulo puede contener tarjetas para operar en una sola tecnología o en diferentes tecnologías de telefonía móvil a la vez.

Dentro de los gabinetes que forman parte de las radio bases se pueden tener unidades de radio RU, unidades digitales DU, equipo de transmisión, fuentes de energía y ventilación, entre otros. Adicionalmente se tienen opciones *indoor* y *outdoor*, las radio bases Indoor son utilizadas en interiores por ejemplo edificios y sótanos, las radio bases más comunes son las de tipo *outdoor* que son ubicadas mayormente en los sitios de celdas externos.

Figura 10. **Modularidad**



Fuente: *Al aire libre miembro de RBS de la familia RBS 6000*. http://rbs6102.com/wp-content/uploads/2013/09/rbs6102_overview.jpg. Consulta: 22 de marzo de 2015.

1.3.2. Red de núcleo (Core)

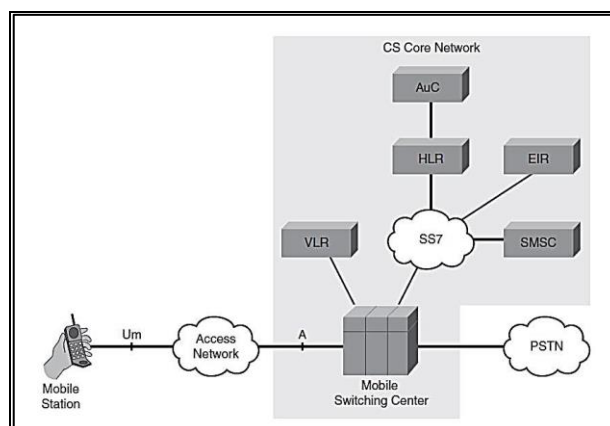
La red de núcleo se denomina Core, esta actúa como la columna vertebral para una red de telefonía móvil, debido a que contiene los principales nodos de conmutación y enrutamiento, así como también los equipos de bases de datos y las interfaces hacia servidores de aplicaciones. Esta red de Core se divide en

dos dominios separados para la conmutación de circuitos de voz y la conmutación de tráfico de paquetes IP, así como también es la interfaz hacia el dominio IMS que puede representar redes externas.

Esta es una red creada para controlar e interactuar con nodos que proveen servicios multimedia entre usuarios y usuarios finales. Las redes externas a las que se conecta la red de Core pueden ser una PSTN que es la red de telefonía fija, utilizando la conmutación de circuitos para llamadas de voz o puede interconectarse con una LAN de internet o una LAN corporativa por medio de sesiones de paquetes de datos.

La red de Core contiene distintos nodos de bases de datos con funciones específicas para poder mejorar el rendimiento de la red de telefonía, se distribuye la carga de trabajo a cada equipo de acuerdo a su función para operar de una forma más rápida y brindar los servicios que requiere el usuario final con prontitud y soportar los requerimientos para los que se diseña la red.

Figura 11. **Red de Núcleo de Conmutación de Circuitos (CS Core Network)**



Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 272.

1.3.2.1. Conmutación de Circuitos (Circuit Switch)

Se denomina a la función de conmutación de circuitos de voz como Circuit Switch, la red de Core se encarga de proveer y dedicar un circuito de voz a un usuario cuando requiere realizar una llamada a otro usuario dentro de la misma red del operador o hacia un usuario de otro operador, a esto se le conoce como Dominio de voz.

Este circuito se generaba inicialmente de forma física por medio de circuitería y ahora se realiza de forma lógica asignando un espacio de memoria dentro del software que funciona en una central de conmutación. Los circuitos de voz pueden funcionar de diferentes formas para brindar una llamada de voz entre dos usuarios, llamadas tripartitas y conferencias, inclusive se brindan servicios de *roaming* y llamadas internacionales.

1.3.2.2. Centro de Conmutación Móvil (MSC)

Mobile Switching Center – Centro de Conmutación Móvil para las redes de tecnologías GSM y Mobile Services Switching Centre – Central de Conmutación de Servicios Móviles para redes de tecnologías UMTS. Es el nodo de conmutación de una PLMN ya que desempeña todas las funciones de un nodo de conmutación, realiza la colocación y administración de los recursos de radio y la movilidad de los suscriptores, adicionalmente provee funciones para registro de la ubicación de los suscriptores y las funciones de *handover* en una conexión en caso de cambiar de una celda a otra, una PLMN puede tener varias MSC cada una responsable de una parte del área de servicio, la funciones de una MSC son conmutar las transacciones de Circuit Switch.

1.3.2.3. Registro de ubicación visitada (VLR)

Visited location register, (registro de ubicación visitada), es una base de datos que almacena la información de las estaciones móviles en las cuales se mantiene actualmente el área administrativa de la MSC asociada. Un VLR puede ser responsable de las áreas de una o más MSC, las terminales móviles son libres de desplazarse y por ello dependiendo de su localización actual, pueden estar registradas en uno de los VLR de su red doméstica o en un VLR de una red extranjera si hay acuerdos de servicio de *roaming* entre las redes de ambos operadores.

Una terminal móvil inicia el procedimiento de registrarse cuando ingresa a un LA (Location Area), la MSC responsable pasa los datos de identidad de la MS y su LAI actual al VLR, que agrega los valores en su base de datos y así se registra una MS, Si la MS no se ha registrado con un VLR, el HLR es informado de la ubicación actual de la MS para habilitar el enrutamiento de las llamadas entrantes hacia esta MS, el VLR brinda la información de ubicación actual para los servicios conmutados por circuitos, la terminal móvil envía periódicamente una señal para mantener actualizada su ubicación en la base de datos del VLR.

1.3.2.4. Registro de ubicación local (HLR)

El HLR es una base de datos que tiene información de cada suscriptor y cada número móvil ISDN que tiene su respectiva red doméstica (MSISDN), este almacena todos los datos permanentes del suscriptor y la información temporal más relevante de todos los suscriptores registrados permanentemente en el HLR. Adicionalmente almacena datos que contienen la ubicación actual de una MS, el HLR es necesario como un registro centralizado para enrutar a los suscriptores de los cuales tiene responsabilidad administrativa, el HLR no tiene

el control directo sobre una MSC, todas las actividades administrativas relacionadas a un suscriptor son realizadas por el HLR.

La base de datos del HLR en la red doméstica de un usuario almacena el perfil de servicios del usuario, sus respectivas MSISDN e IMSI, las áreas de *roaming* prohibidas, y servicios suplementarios como el estado de los desvíos de llamadas, esta información es creada cuando se aprovisiona un nuevo suscriptor en el sistema y se almacena todo el tiempo que este activa la suscripción.

1.3.2.5. Centro de Autenticación (AUC)

Authentication Center es una base de datos que sirve para mantener claves para la autenticación y autorización del servicio de acceso a la red respectivo a una terminal, móvil, actualmente esta base de datos puede venir integrada en una MSC.

1.3.2.6. Registro de Identidad de Equipo (EIR)

Equipment Identity Register, almacena los números de serie que provee el fabricante de los terminales (IMEI), el cual hace posible verificar que las terminales móviles sean compatibles con la tecnología que brinda el operador a una terminal, para permitir el acceso a la red y hace posible bloquear el acceso a terminales reportadas como robadas.

1.3.2.7. Puerta de enlace de Medios (MGW)

El Media Gateway se utiliza para desarrollar la conmutación de los datos de usuario del dominio de CS y el proceso de interacción con la red, por ejemplo la cancelación de eco o la codificación y decodificación de la voz, en redes de tecnología recientes es el equipo que permite una mejor escalabilidad de la red, ya que incrementa las velocidades de datos que demandan los nuevos servicios en el dominio de CS, en algunos casos solo es necesario incrementar el número de MGW en la red.

Cuando en una red no se tienen MGW, la MSC es responsable de todo el control y la conmutación, en la actualidad las MSC o GMSC realizan las funciones de control y los datos son conmutados por medio de los MGW, de esta forma una MSC o GMSC pueden ser responsables del control de múltiples MGW.

1.3.2.8. Puerta de enlace del Centro de Conmutación Móvil (GMSC)

Gateway MSC, es el conmutador en el punto donde una PLMN de tecnología UMTS es conectada a redes del dominio de CS externas, todas las conexiones CS entrantes y salientes pasan a través de la GMSC, al igual que con una MSC, la GMSC se divide ahora en dos partes, servidor GMSC que realiza la parte del control y MGW que realiza la conmutación, una GMSC es usada para conectarse por ejemplo a otra PLMN que puede ser otro operador o a una PSTN.

Una GMSC puede pasar el tráfico de voz entre redes fijas y redes móviles. Si una red fija no puede conectar una llamada entrante a una MSC local debido a que no puede consultar con el HLR por ejemplo, entonces enruta la conexión a la siguiente GMSC, la cual consulta la información de enrutamiento de el HLR y enruta la conexión a la MSC local en la cual se encuentra la terminal móvil.

1.3.2.9. Puerta de enlace de Registro de Ubicación (GLR)

Un Gateway Location Register es un nodo ubicado entre el VLR o SGSN y el HLR, el cual puede ser utilizado para optimizar la actualización de ubicación y el manejo de los datos del perfil de un suscriptor a través de los límites de la red.

Cuando un suscriptor esta de *roaming*, el GLR realiza la función del HLR hacia el VLR y SGSN de la red visitada y realiza la función del VLR y SGSN hacia el HLR en la red doméstica. La información del suscriptor se descarga del HLR al GLR durante el primer procedimiento de actualización de ubicación (Location Update). Un GLR proporciona un proceso invisible para la red doméstica reduciendo la señalización entre redes, para el manejo de la ubicación del usuario y mantiene la información del usuario hasta que se recibe el mensaje de cancelación de ubicación (Cancel Location) del HLR.

1.3.2.10. Red Móvil Terrestre Pública (PLMN)

Una Public Land Mobile Network es la red de telefonía móvil en si vista como una red en general incluyendo todos sus componentes de RAN y Core, normalmente una PLMN, está bajo el dominio de un solo operador y se conecta a otras PLMN, así como también a otros tipos de redes como ISDN, PSTN, Internet, entre otras.

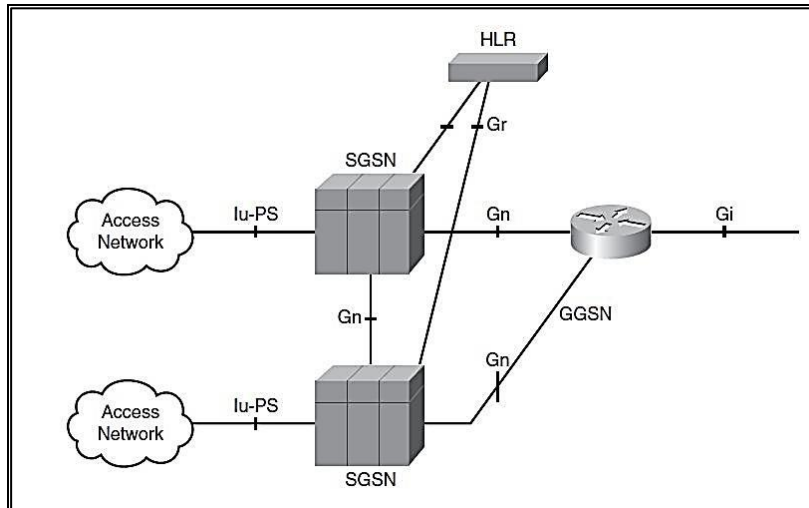
1.3.2.11. Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN)

Public Switched Telephone Network – red de telefonía pública conmutada, esta representa la red de telefonía fija tradicional la cual puede interconectarse con las PLMN, para permitir que abonados de la telefonía fija puedan interactuar con abonados de la telefonía móvil en el dominio de CS.

1.3.3. Servicios de valor agregado

Los servicios adicionales a una llamada que el operador ofrezca al usuario se conocen comúnmente en el ámbito de las telecomunicaciones como VAS, que significa servicios de valor agregado, ya que se diseñan para proveer al usuario una mejor experiencia y facilitarle diferentes medios de comunicación. Estos servicios pueden ser servicios de mensajes de texto, mensajería instantánea, descargas de datos como archivos, música, videos y aplicaciones, también se brindan servicios de video *online* y audio *streaming* como la radio por internet, haciendo esto posible por medio de sesiones que se establecen entre un usuario y una servidor por medio de la conmutación de paquetes IP.

Figura 12. **Red de Núcleo de Conmutación de Paquetes (PS Core Network)**



Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 305.

1.3.3.1. **Conmutación de Paquetes (Packet Switch)**

La conmutación de los paquetes IP se denomina como Packet Switch, la interacción entre los diferentes equipos que operan dentro de la red de Core, cuya función es brindar al usuario las sesiones de datos se conoce como dominio de paquetes. Para brindar un servicio específico al usuario pueden intervenir diferentes nodos de bases de datos y servidores, estableciendo sesiones de datos y enrutando los paquetes IP a través de la red del operador y el terminal móvil.

1.3.3.2. Nodo de Soporte de Servicios GPRS (SGSN)

Es el nombre dado al nodo Serving GPRS Support Node o Nodo de Soporte de Servicios GPRS, este nodo tiene funcionalidades similares a las de una MSC ya que es el que controla los servicios del dominio de paquetes PS y mantiene un registro de los usuarios que están enganchados a los servicios de navegación de datos, esta función es similar a la del VLR, Los servicios de datos a los que se acceden por medio del SGSN son comúnmente conmutados por medio de paquetes IP.

1.3.3.3. Nodo de Soporte GPRS de Puerta de enlace (GGSN)

Gateway GPRS Support Node es el nodo que funciona como puerta de enlace a redes externas, su función es similar al de una GMSC pero en el dominio de paquetes, brindando interconexión con redes LAN corporativas, servidores, bases de datos externas e internet.

1.3.3.4. Nodo de Punto de Acceso (APN)

Access Point Node, un APN es el encargado de brindar los parámetros de QoS de acuerdo a las configuraciones definidas por operador, los APN se ubican en el GGSN. Debido a que la utilización de ciertos servicios de datos debe realizarse por medio de los APN definidos por el operador, es posible limitar las velocidades de datos que se brinden a los usuarios para dichos servicios, permitiendo que el operador de prioridad a los servicios propietarios que brinda en comparación con servicios externos, por medio de los APN es

posible brindar a clientes corporativos o a empresas; servicios de datos especializados de acuerdo a sus necesidades.

1.3.3.5. Servidor de Nombres de Dominio (DNS)

Un Servidor de Nombres de Dominio es utilizado en la telefonía móvil para brindar a los servicios de navegación una traducción del nombre de una página web, a la dirección IP de los servidores donde se encuentran las páginas web. Para realizar una descarga de datos de una página web, el UE realiza una consulta al servidor DNS con en nombre del dominio que desea acceder, el DNS responde con la dirección IP del servidor donde se ubica la página web, luego el UE establece una conexión TCP o UDP con el servidor web de acuerdo al servicio de datos a acceder.

1.3.3.6. Red IP externa

Las redes IP externas a una PLMN pueden ser redes LAN donde se ubican bases de datos, granjas de servidores y otras PLMN que brinden servicios de datos especializados a los usuarios enganchados a la red de datos de un operador, como las bases de datos o servidores de una corporación que se interconecta con el operador para ofrecer servicios adicionales al usuario.

1.3.3.7. Internet

Funciona como el último recurso en la red del operador para brindar una salida al usuario a los servicios de datos que no puede ofrecer por medio de sus bases de datos o servidores internos u otras redes IP externas. Por medio del protocolo IP un UE establece sesiones con servidores en internet para obtener

servicios como *video streaming*, *podcast*, mensajería instantánea y navegación web.

1.4. Conceptos importantes de telefonía móvil

Son aquellas redes pensadas para que el teléfono o equipo del usuario pueda moverse con libertad en la zona cubierta por dicha red, incluso mientras mantiene una conversación o una conexión de datos. Una red móvil debe permitir el movimiento incluso a la velocidad de un coche sin que exista una pérdida de la conexión. Las redes móviles actuales permiten mantener esta conexión incluso a la velocidad de un tren de alta velocidad con velocidades superiores a 300 kilómetro/hora.

1.4.1. Plano de usuario (*user plane*)

Toda la información enviada y recibida por el usuario en su terminal móvil se conoce como *user plane*, la voz codificada en una llamada de voz o los paquetes en una conexión de internet son transportados por medio del *user plane*. Este incluye el *data stream* y *data bearer*.

1.4.1.1. Flujo de datos (*data stream*)

En las comunicaciones orientadas a la conexión, un *data stream* o flujo de datos es una secuencia de señales coherentes codificadas digitalmente (*data packets* o paquetes de datos) que se usan para transmitir o recibir información que está en el proceso de ser transmitida.

1.4.1.2. Portadora de datos (*data bearer*)

La señal portadora de datos se conoce como *data bearer* o portador, este es solo un concepto virtual. Define cómo se tratan los datos del UE cuando viajan a través de la red. La red podría tratar algunos datos de una manera especial y tratar a los demás con normalidad. Algunos flujos de datos pueden ser proporcionados para garantizar velocidad de bits, mientras que otros pueden tener una transferencia baja.

En resumen, el portador es un conjunto de parámetros de la red que define por ejemplo en el tratamiento de datos específicos del usuario A, siempre se llega al menos a 256 Kbps de velocidad de descarga en su teléfono para una tecnología LTE, mientras que para el usuario B no existe una tasa de bits garantizada y podría enfrentar extremadamente mala velocidad de descarga algunas veces.

1.4.1.3. Rendimiento (*throughput*)

Es la cantidad de información que una computadora puede procesar en un período de tiempo dado. En la transmisión de datos, es la cantidad de datos que es transportada exitosamente desde un dispositivo a otro en un determinado período de tiempo. La tasa promedio de la transmisión de datos exitosa a través de un canal de comunicación es también conocida como Network Throughput, por ejemplo la transmisión de datos en una red Ethernet. Estos datos pueden ser transportados por medio de un canal físico o un canal lógico, el *throughput* es usualmente medido en bits por segundo (bit/s o bps) y es sinónimo del consumo de ancho de banda digital.

1.4.2. Plano de control (*control plane*)

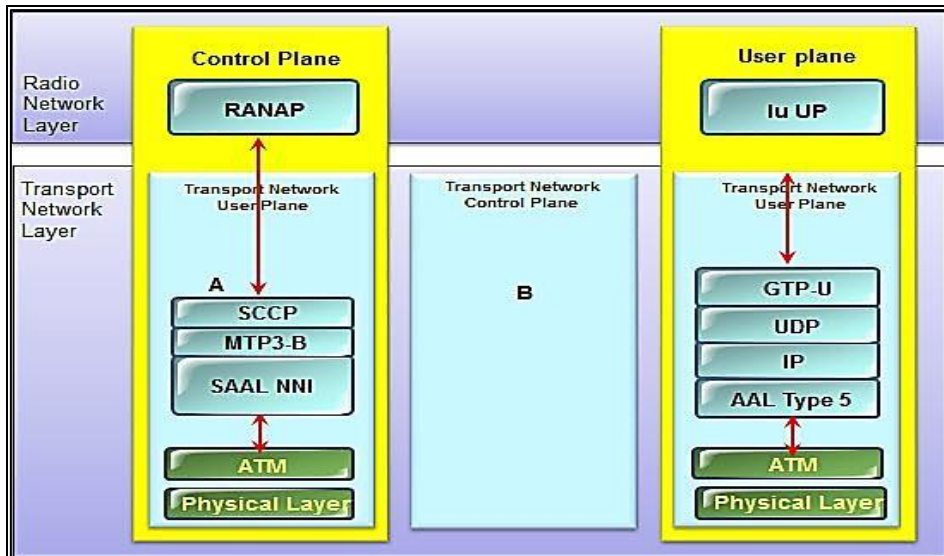
Es la capa de la red que se encarga del control y funcionamiento de la interacción entre el terminal móvil y los servicios de la red, en el *control plane* se incluyen los protocolos de aplicación por ejemplo RANAP para la interfaz lu, RNSAP para la interfaz lur o NBAP para la interfaz lub y las portadoras de señalización para transportar los mensajes de los protocolos de aplicación.

El protocolo de aplicación es usado por ejemplo para designar portadoras para el equipo terminal, como la portadora de radio acceso o enlace de radio en la capa de red de radio.

1.4.3. Red de Transporte de Plano de Control (Transport Network Control Plane)

El Transport Network Control Plane no incluye ninguna información de la capa de red de radio y se encuentra completamente en la capa de transporte, este plano actúa entre el *control plane* y el *user plane*, hace posible que el protocolo de aplicación en la capa de red de radio sea independiente de la tecnología seleccionada por el *data bearer* en el *user plane*. Este plano incluye el Access Link Control Application Protocol (ALCAP) o protocolo de aplicación para el control de enlace de acceso, el cual es el nombre para el protocolo de transporte de señalización usado para ajustar y liberar las portadoras de transporte.

Figura 13. Interfaz Iu



Fuente: Reutilización frecuencia.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/48/Reutilizacion_frecuencia.svg/743px-Reutilizacion_frecuencia.svg.png. Consulta: 22 de marzo de 2015.

1.4.4. Plano Posterior (*backplane*)

El término *backplane* es sinónimo de *motherboard* o tarjeta madre, es una tarjeta de circuitos que contiene *sockets* o ranuras en las cuales otras tarjetas de circuitos son incrustadas y que provee de buses de datos para la interconexión y comunicación entre las tarjetas así como también provee de alimentación de energía eléctrica para el funcionamiento de las tarjetas, existen dos tipos de *backplane*, activo y pasivo.

1.4.4.1. Plano Posterior Activo (Active Backplane)

Además de contener ranuras para insertar tarjetas, también contienen circuitería lógica que desarrolla funciones de cómputo por medio de chips de computación.

1.4.4.2. Plano Posterior Pasivo (Passive Backplane)

Los *backplane* pasivos no contienen ninguna circuitería computacional y únicamente tienen buses de comunicación o de alimentación de energía eléctrica.

1.4.5. Traspaso (*handover*)

Es el proceso de cambiar de celdas durante una llamada o una sesión de datos para un terminal móvil, en la comunicación entre el terminal y la radio base se realizan mediciones de los niveles de señal y para mantener activa la comunicación es posible que se requiera un cambio de celda o de tecnología de acuerdo a la ubicación del usuario y a la infraestructura del operador.

El terminal móvil continuamente realiza una medición de la intensidad y calidad de la señal en su propia celda y la intensidad de señal en las portadoras de la celdas vecinas, estas mediciones son llevadas a cabo por el terminal en el proceso de *downlink* y son enviados posteriormente a la radio base. La radio base también lleva a cabo sus mediciones en el proceso de *uplink*, basado en estos reportes, los controladores de las radio bases, las BSC o RNC deciden si es necesario el proceso de *handover* y hacia que celda re direccionar la llamada o sesión.

1.4.6. Normas de la telefonía móvil

Los estándares en las telecomunicaciones aseguran interoperabilidad entre dispositivos y equipos hechos por diferentes fabricantes. Existen diferentes organizaciones que influyen en los estándares de tecnologías por radio frecuencia en todo el mundo y que establecen las normas que deben cumplir los fabricantes y operadores para funcionar correctamente y establecer las interconexiones entre operadores.

1.4.6.1. 3GPP

3rd Generation Partnership Project; es la unión de siete organizaciones de desarrollo de estándares de telecomunicaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC). Este proyecto tiene a su cargo definir los reportes y especificaciones que definen las tecnologías 3GPP. Es un proyecto que cubre tecnologías de redes de telecomunicaciones celulares, incluyendo el acceso de radio, la red central de transporte y las capacidades de servicio, incluyendo trabajos en codificadores, seguridad, calidad de servicio y proveer las especificaciones de los sistemas completamente. Las especificaciones que define también proveen el enlace de acceso no radio eléctrico a la red de núcleo y la interrelación con redes wifi.

Las especificaciones y estudios de 3GPP son impulsadas por la contribución de sus compañías asociadas, por medio de grupos de trabajo en un nivel de grupo de especificaciones técnicas TSG (Technical Specification Group). Los cuatro niveles de TSG en 3GPP son:

- Radio Access Networks (RAN)
- Service & Systems Aspects (SA)

- Core Network & Terminals (CT)
- GSM EDGE Radio Access Networks (GERAN)

Los grupos de trabajo dentro de las TSG se reúnen regularmente y se congregan trimestralmente en la reunión plenaria de TSG, donde sus trabajos son presentados para información, discusión y aprobación. Las tecnologías 3GPP de estos grupos están evolucionando constantemente a través de generaciones de sistemas móviles celulares, es así como sus trabajos llegaron a definir las especificaciones de LTE y Evolved Packet Core.

1.4.6.2. ITU

Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT o ITU) es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación TIC. Regula la asignación del espectro radioeléctrico y las órbitas de satélite a escala mundial, elabora normas técnicas que garantizan la interconexión continua de las redes y las tecnologías, realizando esfuerzos por mejorar el acceso a las TIC para todo el mundo. ITU define las recomendaciones UIT-R o ITU-R, estas recomendaciones constituyen una serie de normas técnicas internacionales desarrolladas por el Sector de Radiocomunicaciones de la ITU. Estas son el resultado de estudios efectuados por las Comisiones de Estudio de Radiocomunicaciones sobre:

- La utilización de una amplia gama de servicios inalámbricos, incluyendo las nuevas tecnologías de comunicación móvil.
- La gestión del espectro de radiofrecuencia y las órbitas de satélite.
- El uso eficaz del espectro de radiofrecuencia por todos los servicios de radiocomunicaciones.
- La radiodifusión terrenal y las radiocomunicaciones por satélite.

- La propagación de las ondas radioeléctricas.
- Los sistemas y las redes para el servicio fijo por satélite, para el servicio fijo y para el servicio móvil.
- Las operaciones espaciales, el servicio de exploración de la Tierra por satélite, el servicio de meteorología por satélite y el servicio de radioastronomía.

Las Recomendaciones ITU-R se aprueban por consenso entre los Estados Miembros de la ITU. Su aplicación no es obligatoria; sin embargo, puesto que estas son elaboradas por expertos de las administraciones, los operadores, el sector industrial y otras organizaciones dedicadas a las radiocomunicaciones en todo el mundo, tienen una prestigiosa reputación y se aplican a escala mundial.

1.4.6.3. IEEE

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos es una asociación que trabaja en todos los aspectos de electricidad, electrónica y campos de la computación y áreas de la ciencia y la tecnología. IEEE especifica cómo se modula la RF para transportar la información, provee los estándares para las redes de área local y metropolitana con la familia de estándares de LAN y MAN IEEE 802. Los estándares dominantes en la familia IEEE 802 son Ethernet 802.3 y WLAN 802.11.

IEEE especifica los estándares para los dispositivos de modulación de RF, pero no especifica los estándares de fabricación; por lo que las interpretaciones de los estándares por parte de los diferentes proveedores deben evitar generar problemas de interoperabilidad entre los dispositivos.

1.4.6.4. IETF

Internet Engineering Task Force es una comunidad de diseñadores de red, operadores, vendedores e investigadores relacionados con la evolución de la arquitectura de internet y la ligera operación del internet. IETF tiene la misión de hacer que internet trabaje mejor, produciendo documentos técnicos relevantes y de alta calidad para influenciar la manera en que la gente diseña, usa y maneja el internet, estos documentos incluyen estándares de protocolos, mejores prácticas, y documentos informativos de varios tipos.

Los grupos de trabajo de IETF son divididos en áreas y manejados por los directores de área o AD, los AD son a la vez miembros del Internet Engineering Steering Group IESG, solo el IETF representado por el IESG puede aprobar los registros de estándares de RFC. Las RFC o Request For Comments, son documentos de trabajo en internet que tienen el propósito de definir nuevos estándares o revisiones de los estándares de protocolos TCP/IP, donde las versiones preliminares de RFC son conocidas como *internet drafts* o borradores de internet, y pueden llegar a ser estándares o meramente propuestas para nuevos protocolos.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS REDES GSM Y UMTS

2.1. Descripción de Red de Acceso GSM (GRAN)

La red de Acceso en la tecnología GSM es conocida comúnmente en el ámbito de los operadores como GRAN, este fue definido como la red de radio BSS – Base Station Subsystem. El BSS está compuesto por las celdas GSM expandidas alrededor del área de cobertura de radio de una BTS, la cual provee la señalización y tráfico de datos de usuario en las celdas por medio de sus componentes de señal y procesamiento de protocolos, pero solo son consideradas como parte de la interfaz de aire. Adicionalmente se cuenta con las BSC que tienen realmente el control y la inteligencia de los protocolos esenciales para el funcionamiento de las celdas.

Las BSC son las encargadas de la mayoría de las funcionalidades del BSS, por ejemplo el protocolo de *handover* es ejecutado por las BSC. Adicionalmente varias BTS pueden ser controladas por una misma BSC. El BSS se conecta posteriormente al Network Switching Subsystem NSS donde se encuentran nodos de la red de Core que realizan el procesamiento de los datos de usuario y provee funcionalidades de control y señalización de estos datos.

2.1.1. Técnicas de acceso utilizadas en GSM

La finalidad de las técnicas de acceso que utiliza GSM es permitir a un número de usuarios acceder a los recursos de las celdas simultáneamente. Se debe evitar la interferencia entre los usuarios en todo momento manteniendo el flujo de datos de los usuarios separado. Esto se consigue utilizando una técnica

de acceso que separe a los usuarios en un dominio particular, estas técnicas son conocidas como Tecnologías de Acceso Múltiple.

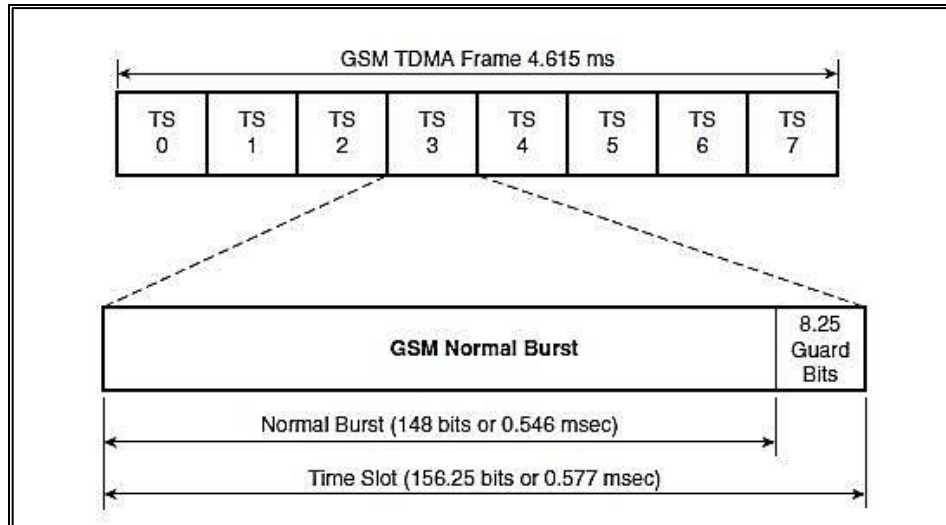
2.1.1.1. Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA)

Acceso Múltiple por División de Tiempo, nombrado TDMA, en esta técnica la frecuencia disponible es dividida en unidades, las cuales corresponden a unidades de tiempo, conocidas como *time slots*. Cada suscriptor que requiere los recursos de radio es ubicado en una unidad de tiempo *time slot* durante la cual él puede transmitir o recibir datos. Esta técnica es utilizada en los sistemas GSM más antiguos. En estos sistemas el dominio de frecuencia es compartido y los usuarios son separados en el tiempo. Es posible que cada usuario tenga uno de ocho *time slots*, esta cantidad de *time slots* aumentó para GPRS.

En GPRS un usuario puede ser ubicado en hasta 4 *time slots* en el proceso de *downlink* pero se mantiene en 1 *time slot* para el *uplink*. La información del suscriptor como la voz, datos o señalización, es dividida y transmitida bit por bit, usando el *time slot* asignado. La transmisión en alta frecuencia de cada *time slot* es llamada *burst*. Un *time slot* se encuentra normalmente en el orden de un milisegundo. TDMA requiere una sincronía muy estricta de la transmisión de los *burst* con el fin de evitar la superposición de *time slots* adyacentes.

El retardo causado por la transmisión de los *burst* es un problema en sistemas celulares con celdas amplias. Se requiere una sincronización precisa entre el MS y la radio base. Se utiliza información para mejorar la sincronía *Timing Advance* y períodos de espera *Guard Periods* entre *time slots* adyacentes para prevenir interferencias entre *burst* de *time slots* adyacentes.

Figura 14. Estructura de una trama TDMA



Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 20.

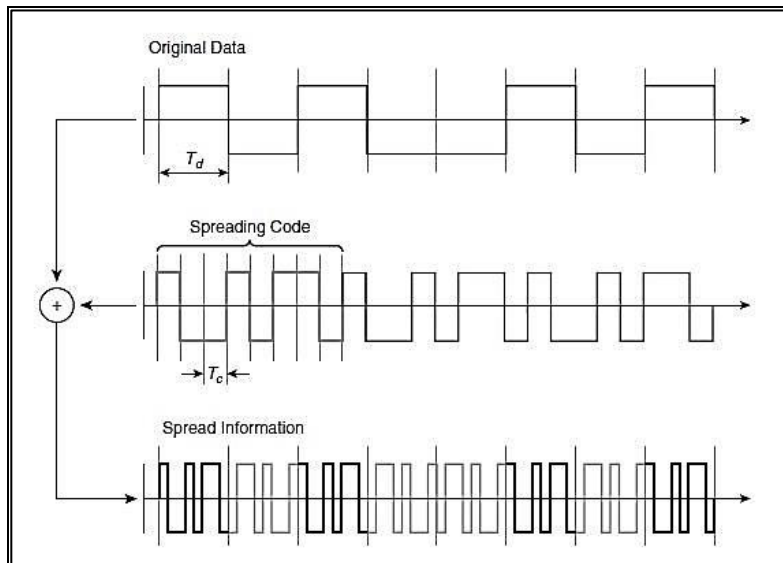
2.1.1.2. Acceso Multiple por División de Código (CDMA)

Code Division Multiple Access es una técnica digital diseñada para compartir el espectro de frecuencia entre usuarios. Esta es una tecnología de espectro ensanchado *spread-spectrum* que utiliza códigos para separar a los usuarios en el mismo espectro de frecuencia. CDMA se basa en la tecnología de comunicaciones de espectro ensanchado, con ella los usuarios comparten la misma frecuencia y tiempo en una celda, separando a los usuarios en canales usando códigos únicos por usuario para distinguir las distintas llamadas o sesiones.

CDMA opera utilizando códigos para incrementar artificialmente la velocidad de símbolos de la información a una tasa de chips de código

ensanchado. La información que ha de ser transmitida le opera lógicamente por una OR-exclusiva (X-OR) con el código de ensanchamiento *spreading code*. Los *spreading codes* tienen propiedades espaciales ortogonales que permiten que la información de usuarios particulares sea recuperada de la forma de onda compuesta.

Figura 15. **Funcionamiento del Espectro Ensanchado (Spread-Spectrum)**

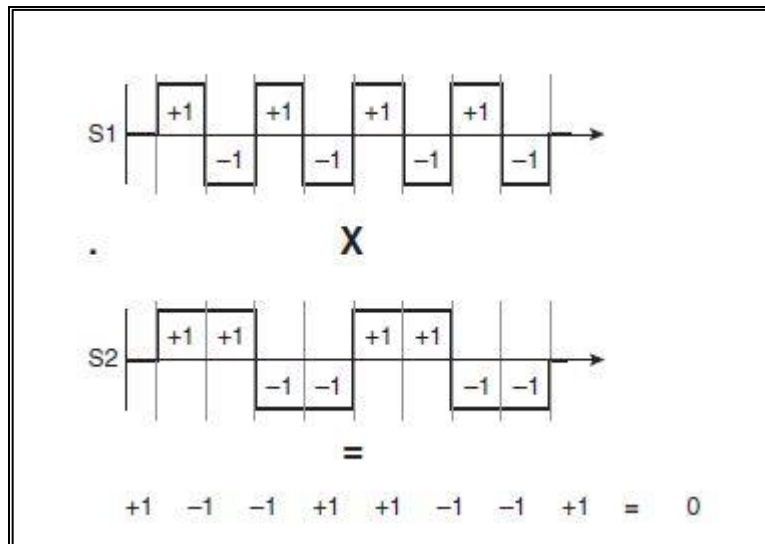


Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 24.

La correlación cruzada de dos secuencias es calculada usando el vector producto de dos secuencias. Cuando las secuencias están correctamente sincronizadas, el vector producto de dos secuencias será cero. Debido a las propiedades de la correcta correlación cruzada, cada usuario puede ser ubicado en un *spreading code* separado y el receptor aun podrá recuperar los datos originales de la forma de onda combinada. Para aumentar la capacidad de usuarios y las velocidades de transmisión se implementa VSF, Variable

Spreading Factor, en lugar de definir *spreading codes* fijos utiliza diferentes *spreading factors* lo cual resulta en diferentes longitudes de código y permite diferentes velocidades de origen, manteniendo la ortogonalidad entre usuarios.

Figura 16. **Correlación cruzada de secuencias ortogonales**

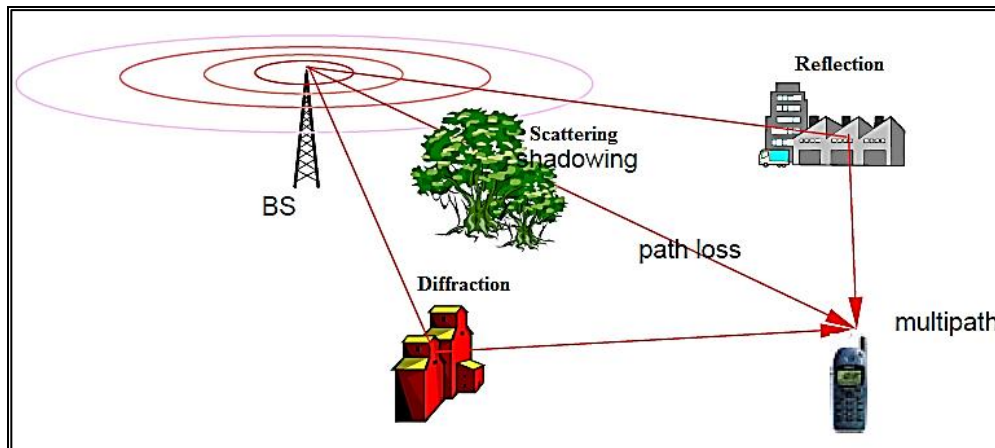


Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 25.

2.1.2. Problemas de transmisión

Debido a que los terminales móviles cambian de ubicación en el tiempo y a las propiedades del ambiente, pueden ocurrir distintos problemas durante la transmisión de señales de radio, provocando la pérdida de calidad en una llamada o incluso la terminación de esta o de una sesión de datos, en la planificación de una red de telefonía móvil hay distintos inconvenientes que deben tomarse en cuenta para poder planificar una mejor infraestructura de la red, para brindar el mejor servicio posible al usuario.

Figura 17. **Problemas de transmisión en GSM**



Fuente: *Mobile predicción radio propagación de dos diferentes distritos en Mosul-City.*
<http://www.intechopen.com/source/html/39339/media/image2.png>. Consulta: 1 de abril de 2015.

2.1.2.1. **Pérdida de Trayectoria (Path Loss)**

Ocurre cuando la señal recibida se torna cada vez más débil debido al incremento de la distancia entre el terminal y la radio base, incluso si no hubiese obstáculos entre la antena transmisora y la antena receptora, este problema deriva en la pérdida de una llamada y se corrige cuando ocurre una nueva transmisión por medio de un conexión establecida con otra radio base.

2.1.2.2. **Ensombrecer (Shadowing)**

Este problema sucede cuando hay obstáculos como colinas y edificaciones en la línea de vista entre la radio base y el terminal, los obstáculos crean un efecto de sombra o interferencia disminuyendo la intensidad de señal recibida, cuando el terminal se desplaza la intensidad de la señal presenta fluctuaciones dependiendo de los obstáculos, una señal influenciada por este

desvanecimiento variará en intensidad de señal, pudiendo percibirse una variación en la voz durante una llamada.

2.1.2.3. Desvanecimiento Multitrayecto (Multipath Fading)

Es un desvanecimiento multitrayecto que ocurre cuando hay más de un trayecto de transmisión hacia el terminal o la radio base, debido a esto más de una señal llega al receptor, estos múltiples trayectos se deben a las edificaciones o las montañas que se encuentren cerca o lejos del dispositivo receptor y causa que los niveles de señal que llegan al terminal no sean los óptimos para la comunicación.

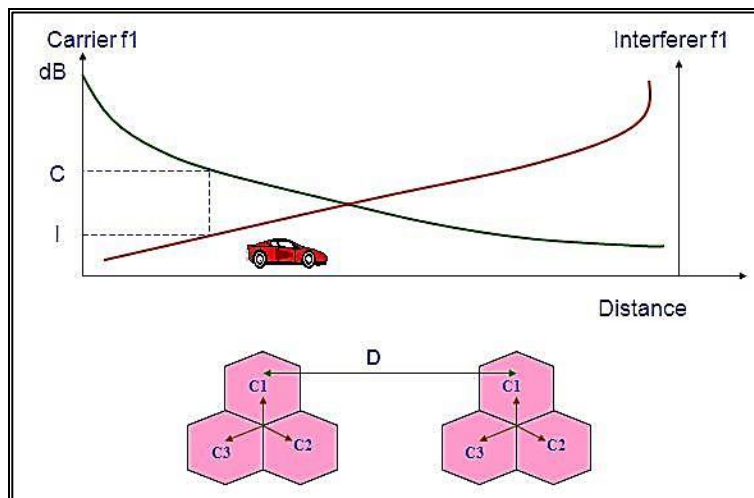
2.1.2.4. Desvanecimiento de Rayleigh (Rayleigh Fading)

Ocurre cuando una señal toma más de un trayecto para llegar a las antenas del terminal o radio base, en este caso la señal no es recibida en una línea de vista directamente de la antena transmisora, en lugar de esto es reflejada y es recibida desde diferentes trayectos indirectos, este fenómeno ocurre cuando los obstáculos están cerca de la antena receptora, la señal recibida es la suma de muchas señales idénticas que difieren solo en la fase y en cierto grado de amplitud, haciendo necesario utilizar un *buffer* especial en el receptor del teléfono para corregir el desfase de las señales y poder discriminar las señales replicadas para mantener la comunicación con la radio base.

2.1.2.5. Interferencia co-canal

Cuando se reutiliza una frecuencia portadora idéntica en diferentes celdas, la señal se ve afectada por la interferencia co-canal C/I que es la relación entre la señal deseada C y la señal reutilizada no deseada I, ambas utilizando la misma frecuencia portadora en diferentes radio bases.

Figura 18. Interferencia C/I



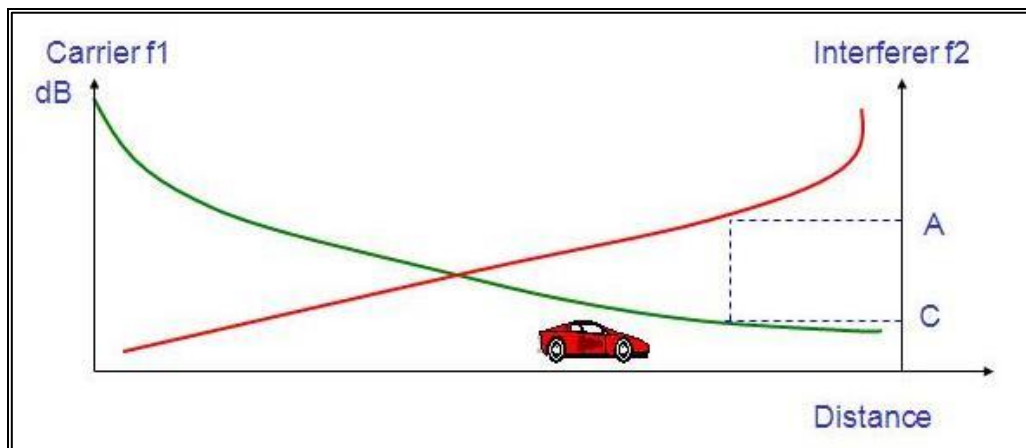
Fuente: *Definición y efecto de reflexión, difracción, dispersión y múltiples rutas de propagación en Ingeniería de RF.* <http://www.teletopix.org/wp-content/uploads/2013/01/adjacent-channel-interference.jpg>. Consulta: 1 de abril de 2015.

2.1.2.6. Canales adyacentes

Debido a que los filtros que limitan el ancho de banda de los canales para las frecuencias portadoras no son ideales, las portadoras se pueden afectar unas a otras, esto se debe a que cierta cantidad de energía de una frecuencia adyacente, puede ingresar a una celda y causar interferencia, esta interferencia

es medida con la relación C/A entre la señal deseada C de la portadora correcta y la señal no deseada de otra portadora A adyacente.

Figura 19. **Interferencia C/A**



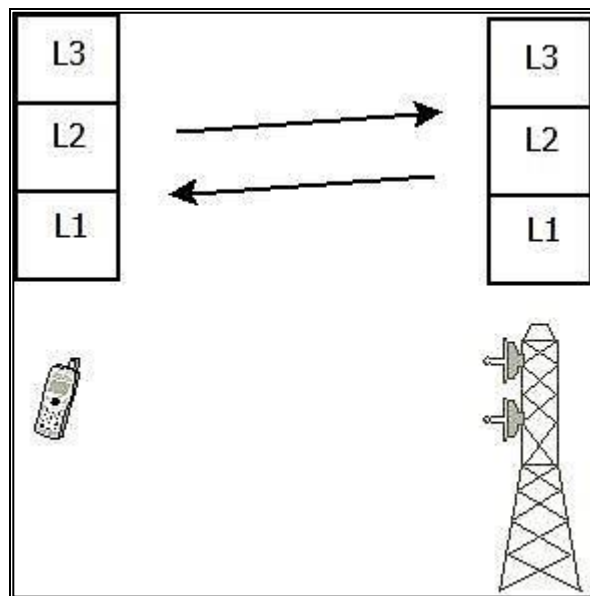
Fuente: *Definición y efecto de reflexión, difracción, dispersión y múltiples rutas de propagación en Ingeniería de RF.* <http://www.teletopix.org/wp-content/uploads/2013/01/adjacent-channel-interference.jpg>. Consulta: 1 de abril de 2015.

2.1.3. Interfaces entre nodos

Las conexiones físicas o lógicas entre los nodos del BSS tienen un nombre y funcionalidades específicas, cada una de estas conexiones es una Interfaz. Las interfaces utilizan el Sistema de Señalización de Canales Comunes No. 7 (SS#7 o SS7). En cada interfaz se tienen diferentes capas para cada funcionalidad, la capa 1 es la capa física, la capa 2 es la capa de transporte y la capa 3 es la capa de señalización. Estas capas procesan la información de diferente forma de acuerdo a la Interfaz en la que estén funcionando por medio de protocolos definidos. Por ejemplo la capa 1 realiza la

codificación, modulación y transporte en el MS y la decodificación, demodulación y recepción en la BTS.

Figura 20. **Modelo de capas de GRAN**



Fuente: elaboración propia.

2.1.3.1. **Interfaz A-bis**

La interfaz A-bis es la interfaz entre la BSC y la BTS. El protocolo usado en la capa 2 en A-bis es Link Access Procedures on D channel LAPD. Este es un protocolo ISDN y por lo tanto no está descrito en las recomendaciones de GSM. LAPD tiene funciones de detección y corrección de errores, así como la delimitación de los *frame*. Esto es realizado por medio de la inserción de banderas al inicio y final de un *frame*.

En la capa 3 muchos mensajes incluyendo mensajes RR, pasan la BTS de forma transparente. Sin embargo, muchos mensajes RR están cercanamente relacionados al equipo de radio y deben ser manejados por la BTS. Las entidades BTS Management BTSM manejan estos mensajes. La conversión de los mensajes RR relevantes es llevada a cabo en la BTS. Un ejemplo de un mensaje RR es el cifrado de mensajes, donde la clave de cifrado solo es enviada a la BTS y no al MS.

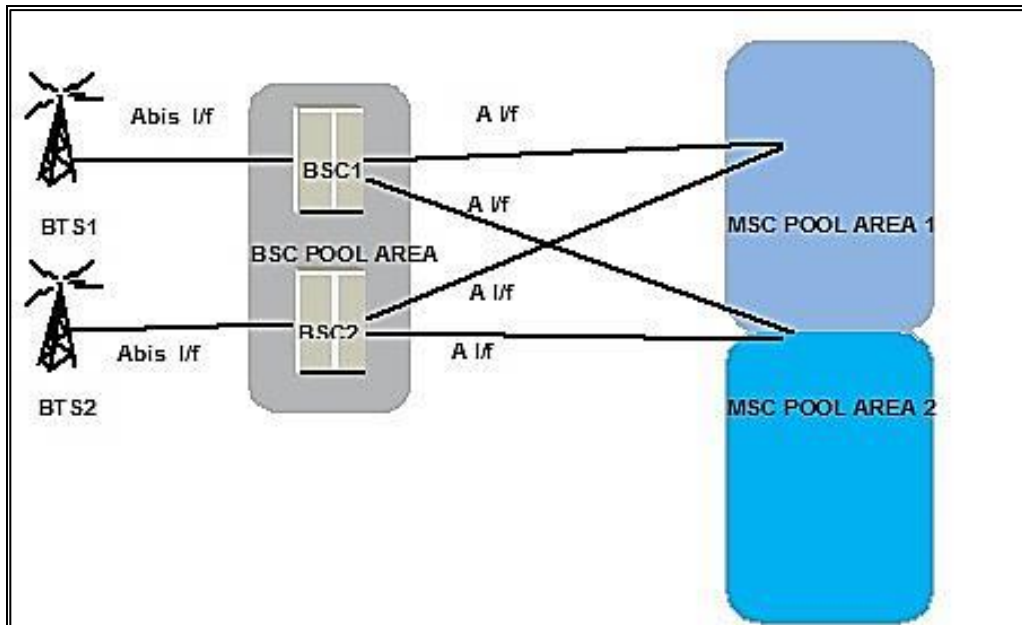
2.1.3.2. Interfaz Um

La interfaz Um es la interfaz de aire entre el MS y la BTS. El protocolo de capa 2 utilizado en la interfaz Um es llamado Link Access Procedures on Dm channel LAPDm. La diferencia entre el protocolo LAPD y LAPDm es que la corrección y detección de errores en Um es una función de capa 1, esto significa que estas funciones son removidas del protocolo LAPDm. Otra diferencia es que los Frames de mensajes en LAPD pueden durar mucho más que los *Frames* en LAPDm, es así como los Frames LAPDm se pueden ajustar mejor en los *Burst*.

2.1.3.3. Interfaz A

La Interfaz A conecta al BSS con el NSS, habrá una interfaz A por cada BSC conectada hacia el NSS, normalmente se utiliza la conexión en Pool, que significa que cada BSC tiene conexiones hacia cada MSC. La interfaz A puede utilizar Time-Division Multiplexing (TDM) o IP para transportar los datos del plano del usuario, como la voz o datos conmutados por circuitos entre el BSS y la red de Core.

Figura 21. **Conexión Consociada (Conexión en Pool) de las BSC**

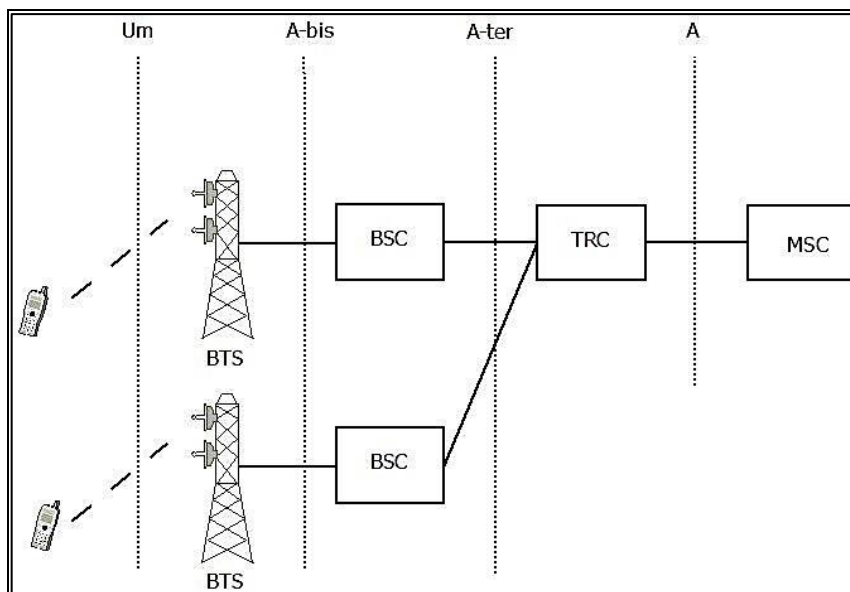


Fuente: *Todo sobre A-Flex en GSM*. <http://turnonideas.com/wp-content/uploads/2014/08/All-about-A-flex.jpg>. Consulta: 1 de abril de 2015.

2.1.3.4. Interfaz A-ter

Existe un nodo llamado Transcoder Controller TRC que provee una adaptación de las capacidades de velocidad al BSS. Este es necesario cuando la velocidad usada en la interfaz de aire y la velocidad usada por las MSC/VLR son diferentes, el TRC desarrolla la adaptación de velocidad. Surge entonces la interfaz A-ter que interconecta una BSC con el TRC. Al TRC se conectan varias BSC y este provee finalmente una conexión hacia la MSC por medio de la interfaz A.

Figura 22. Interfaces de GRAN



Fuente: elaboración propia.

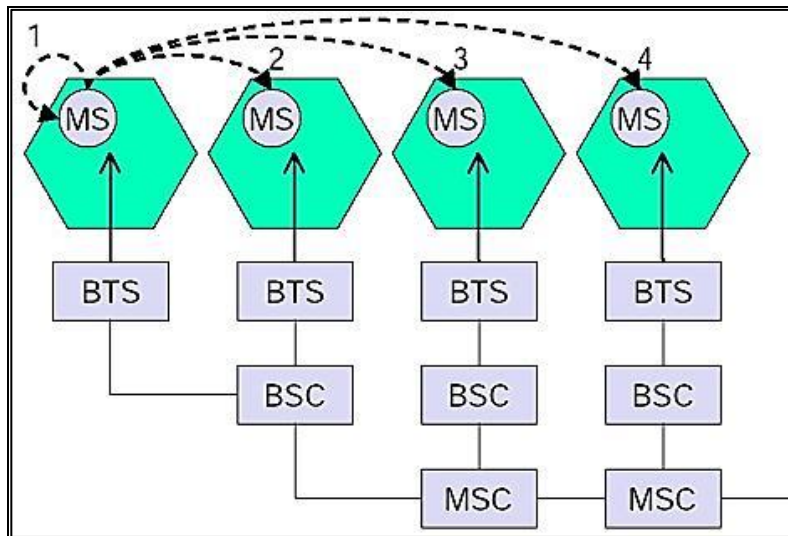
2.1.4. Funcionalidades de Traspaso (Handover)

El proceso de cambiar de celdas durante una llamada es conocido en la terminología de la tecnología GSM como Handover. Para elegir la celda destino que pueda continuar brindando los servicios del operador al terminal, la MS y la Radio Base realizan mediciones de intensidad y calidad de señal. Debido a que la MS contribuye en la decisión de Handover, este tipo de Handover es comúnmente llamado Mobile Assisted Handover (MAHO) ya que es un Handover asistido por el móvil.

Las mediciones de la Radio Base y MS son enviadas a la BSC en forma de reportes de medición, basado en los reportes, la BSC decide si es necesario realizar el Handover y hacia que celda se realizará, esto es parte del

procedimiento de actualización de localización LU del MS dentro de una celda. En el momento que una celda vecina es considerada como la mejor opción para brindar el servicio a la MS se realiza el Handover.

Figura 23. **Handover en GSM**



Fuente: *Todo sobre A-Flex en GSM*. <http://turnonideas.com/wp-content/uploads/2014/08/All-about-A-flex.jpg>. Consulta: 1 de abril de 2015.

2.1.4.1. Transpaso Intra-Celda (Intra-Cell Handover)

Es el tipo de Handover que se realiza entre sectores de una misma celda. Este se realiza cuando la BSC considera que la calidad de la conexión es muy baja, pero no recibe una indicación de las mediciones de otra celda que pueda tener mejor calidad de señal, entonces la BSC identifica otro canal en la misma celda que pueda ofrecer una mejor calidad de señal y le ordena a la MS para resintonizarse hacia el nuevo canal.

2.1.4.2. Handover entre celdas de una BSC

Cuando se realiza un Handover entre celdas controladas por la misma BSC, la MSC/VLR no se ve involucrada. De todas formas, la MSC/VLR es informada cuando se lleva a cabo el Handover. Si el Handover involucra diferentes LA, se llevará a cabo una nueva actualización de ubicación LU una vez finalice la llamada.

2.1.4.3. Handover entre celdas de diferente BSC

Cuando se debe realizar un Handover entre celdas que son controladas por diferente BSC, la MSC/VLR se ve involucrada debido a que se necesita establecer un nuevo canal de tráfico hacia la nueva BSC antes de que se lleve a cabo el proceso de Handover.

2.1.4.4. Handover entre celdas de diferente MSC/VLR

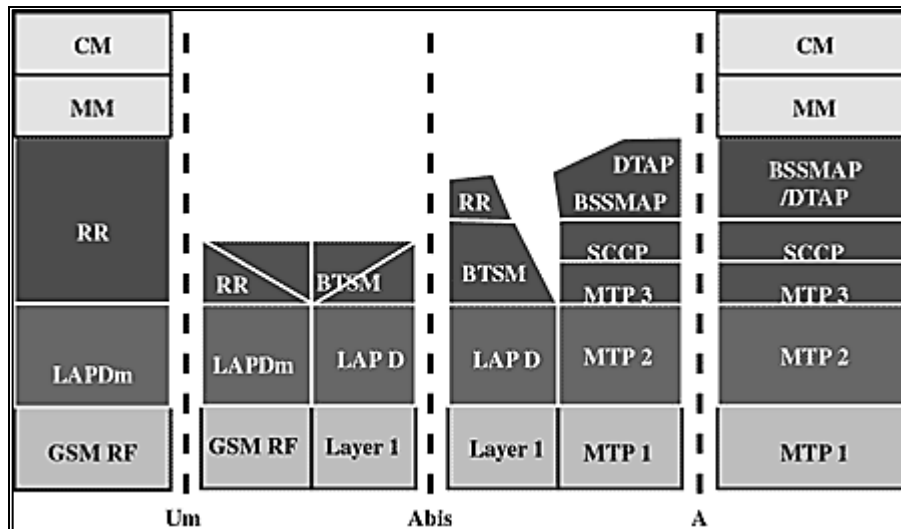
El Handover que debe llevarse a cabo entre celdas controladas por diferente MSC/VLR es un escenario más complejo, en este caso se necesita establecer un canal de tráfico entre la MSC/VLR original, llamada *anchor* MSC, y la nueva MSC/VLR, llamada *relay* MSC, este canal se realizará en la interfaz E que conecta las MSC, en este proceso se llevarán a cabo varios mensajes de señalización BSSMAP, MAP y ISUP para que la MSC destino pueda asignar los recursos necesarios en la celda destino para realizar el Handover. La MSC/VLR original se mantiene en el circuito y mantiene la llamada. Hasta finalizar la llamada se realiza un nuevo proceso de LU en la celda que pertenece a la *relay* MSC/VLR.

2.1.5. Protocolos de comunicación y señalización en GSM

En las redes de telefonía móvil se manejan distintos protocolos de comunicación, de acuerdo a los nodos que se vean involucrados en el establecimiento de una llamada o sesión de datos, la comunicación entre los nodos pasará por las diferentes capas de un *stack* de protocolos desde la capa de aplicación hasta la capa física del nodo iniciador de la comunicación y desde la capa física hasta la capa de aplicación en el nodo terminal de la comunicación, este proceso se invierte en el proceso de respuesta al nodo iniciador.

Debido a que en una llamada o sesión de datos, se debe proveer un camino para los C.S. o P.S., primero se debe enviar la señalización para verificar si se aceptará la transacción, establecer el circuito y los recursos que utilizará el terminal del usuario en la red, así como la señalización para el término de la transacción y liberar el circuito y recursos establecidos. Cuando el sistema de señalización cambia desde un protocolo específico de GSM en una BSC hacia el protocolo general compatible con ISDN; el protocolo SS#7, el transporte del mensaje en la red ss#7 es realizado a través de MTP, Message Transfer Part. MTP provee el enrutamiento y transporte de los mensajes de señalización.

Figura 24. Señalización en GSM



Fuente: *GSM - Protocolo Pila*. <http://www.tutorialspoint.com/images/gsm-protocol-stack.gif>.

Consulta: 1 de abril de 2015.

2.1.5.1. MTP

MTP fue definido para el transporte protegido de los mensajes de señalización a través de la interfaz A entre BSC y MSC. Del lado ISDN en la MSC, se encontrará disponible la terminación de MTP. MTP a su vez se divide en capas con funciones específicas, MTP1 es la capa 1, tiene la función de brindar la estructura física, definiendo el camino físico por donde se transporta el mensaje. MTP2 es la capa 2, esta capa provee la integridad del mensaje, y por último MTP3 provee el enrutamiento del mensaje, por medio de Originating Point Code OPC y Destination Point Code DPC, OPC identifica al nodo iniciador de la comunicación y DPC identifica al nodo destino.

2.1.5.2. SCCP

Adicionalmente, para las transacciones entre la MSC y la MS, es necesario establecer e identificar distintas conexiones lógicas entre los nodos, de esto se encargará el protocolo SCCP, Signaling Connection Control Part, este es usado para facilitar la implementación de las conexiones lógicas con un rango de funciones levemente reducidas definidas en SS7. Los mensajes de SCCP pueden estar orientados al establecimiento de una conexión CR (Connection Request) entre los nodos o pueden ser de servicios no orientados a la conexión UDT (Unidata), como la conexión entre MSC y HLR por ejemplo para el proceso de LU. La conexión entre la BSC y MSC es orientada a conexión y los mensajes CR estarán dentro de una conexión DT1.

Los mensajes SCCP manejan mensajes como Called Party Address que identifica el punto de señalización SP destino o el usuario SCCP. Las direcciones pueden ser combinación de un Global Title GT, un Signaling Point Code SPC y un Subsystem Number SSN, el SSN identifica al usuario SCCP, por ejemplo BSSAP tiene un SSN de 254. Otro mensaje SCCP el Local Reference Number LRN, el cual es un parámetro que únicamente identifica una conexión de señalización dentro de un nodo. El parámetro Data es un campo de longitud variable que contiene datos de usuario SCCP provenientes de capas superiores o de la administración de SCCP. El parámetro Credit es un campo usado para funciones de control de flujo, como tamaño de ventana.

Otros mensajes SCCP son Segmenting/Reassembling usado cuando los datos del usuario son segmentados y Hop Counter, usado para prevenir un Loop de un mensaje SCCP debido a la falta de enrutamiento. El Hop Counter es un valor que se decrementa en cada traslación de *global title* y cuando llega al valor cero, el mensaje se descarta

En la capa más alta del *stack* de protocolos de comunicación en la telefonía móvil se tiene la capa de aplicación, en la capa de aplicación se tienen distintos protocolos de aplicación dependiendo de los nodos implicados y de la transacción que se realice.

2.1.5.3. BSSAP

El protocolo Base Station System Application Part (BSSAP) fue introducido inicialmente como la señalización en el acceso de GSM. BSSAP se ocupa de la señalización de acceso requerida por un suscriptor para acceder y usar la red GSM. Para la comunicación entre MSC y BSC o entre MSC y MS se utiliza el protocolo BSSAP que se basa en la señalización SS#7 por medio de BSSMAP.

En la interfaz A entre MSC y BSC se transportan ambos, tráfico y señalización. BSSAP mantiene mensajes entre MSC y MS por medio de DTAP.

2.1.5.4. BSSMAP

BSS Management Application Part (BSSMAP) es el protocolo responsable de toda la administración y control de los recursos de radio del BSS. Radio Resource (RR) es una subcapa de la capa 3 y una de las principales funciones del BSS. Por lo tanto, las entidades RR terminan en la MS y la BTS o BSC respectivamente. Sin embargo, algunas funciones de RR, requieren involucrar a la MSC, por ejemplo situaciones de Handover o la liberación de las conexiones o canales. Dichas acciones deben ser iniciadas y controladas por la MSC. Este control es responsabilidad de BSSMAP.

Los mensajes de la subcapa RR son mapeados y convertidos dentro de los procesos de la BSC en mensajes BSSMAP y viceversa. BSSMAP ofrece

las funciones que son requeridas en la interfaz A entre el BSS y una MSC para RR en el BSS. Los mensajes RR inician funciones BSSMAP y las funciones BSSMAP controlan las funciones de RR. Los procedimientos RR son usados para establecer, mantener y liberar una conexión dedicada entre la MS y la red, incluyendo la selección de celda, re selección de celda y *handover*.

2.1.5.5. DTAP

Direct Transfer Application Part, en el protocolo DTAP se mantienen mensajes de señalización entre MSC y MS, los mensajes DTAP son llamados Non Access Stratum (NAS) ya que estos mensajes manejan una señalización directa entre MSC y MS. Aprovechando la señalización BSSAP, los mensajes DTAP van de la MSC por la interfaz A al BSS, pasan de forma transparente por la interfaz Abis en el BSS y sin interpretación por parte de la BTS. Los mensajes DTAP pueden ser mensajes de control de llamadas CC como parte de la administración de la conexión CM y mensajes de administración de movilidad MM.

- Connection Management (CM): es una subcapa de la capa 3, esta es responsable del control de las llamadas CC, servicios de administración suplementarios y servicios de mensajes cortos SMS.
- Mobility Management (MM): es la subcapa que contiene funciones para la administración de localización, seguridad y servicios de alto nivel.

2.1.5.6. BTAP

BSC/TRC Application Part, cuando se utiliza TRC en la red de acceso GSM, se utiliza el protocolo BTAP para la comunicación entre la BSC y el TRC. Este protocolo permite a una BSC independiente; utilizar los *transcoder* de un TRC independiente o el *transcoder* perteneciente a otra BSC equipada con un transcoder.

2.1.5.7. BTSM

BTS Management es el nombre para la señalización entre la BSC y las BTS. En la interfaz Abis, muchos de los mensajes RR son pasados transparentemente por la BTS entre MS y BSC. Sin embargo, cierta información, debe ser interpretada por la BTS, por ejemplo situaciones de acceso aleatorio de la MS, el inicio del proceso de cifrado o el *paging* para localizar una MS para establecer una conexión. BTSM contiene funciones para tratar estos mensajes y otros procedimientos de administración de las BTS. Para ello ocurre un mapeo en la BTS por medio de BTSM en los mensajes RR relevantes en la interfaz de aire Um.

2.2. Descripción de la Red de Acceso Terrestre UMTS (UTRAN)

Terrestrial Access Network (UMTS) es la red de acceso en la tecnología UMTS en términos de los operadores es llamada como UTRAN, El UTRAN mantiene todas las funcionalidades de radio y la red de Core CN es la responsable de la conmutación y enrutamiento de llamadas y conexiones de datos a redes externas, el equipo terminal es llamado User Equipment (UE). Debido a la estandarización, ambos, UE y UTRAN consisten completamente de nuevos protocolos, basándose en las necesidades de la tecnología de radio

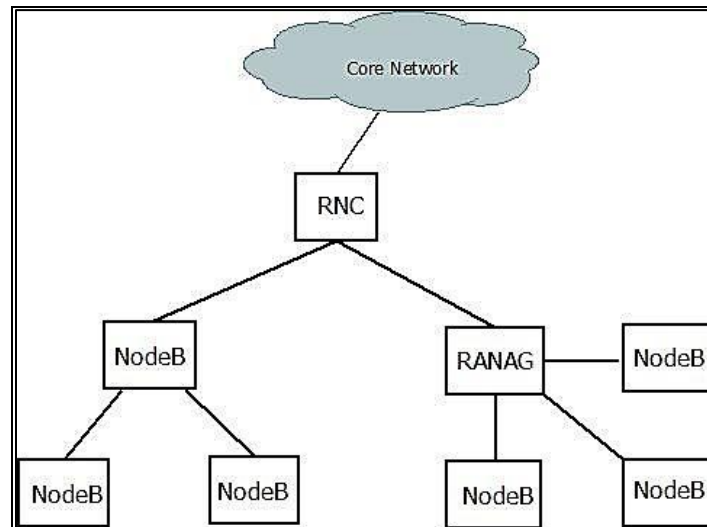
WCDMA, y la red de Core es adoptada de la tecnología GSM por medio de mejoras y actualizaciones de las características de los equipos.

UTRAN se conforma de las radio bases ahora llamadas Nodos B o Node B, que proveen las celdas para brindar servicio a los UE y el control de los Node B lo realizan las Radio Network Controller RNC. Los Node B convierten el flujo de datos entre las interfaces Iub y Uu. También participan en la administración de recursos de radio. La RNC posee y controla los recursos de radio en su dominio, que es representado por los Node B conectados a ella. La RNC es el punto de acceso a los servicios que provee la CN, como la administración de las conexiones al UE.

Los Node B pueden estar conectados en cascada, creando dependencias y adicionalmente es posible tener equipos RANAG en la red de acceso UTRAN, estos son nodos de la red de transporte agregadores de tráfico. Estos equipos agregan el tráfico de varios Node B y lo entregan a una RNC, obteniendo un aprovechamiento de recursos y reduciendo la cantidad de RNC a implementar en la red de acceso.

El UE se divide en dos partes, el ME o Mobile Equipment es la terminal de radio usada para la comunicación sobre la interfaz Uu y la USIM de UMTS Subscriber Identity Module, es una tarjeta inteligente que posee la identidad del suscriptor, desarrolla algoritmos de autenticación, almacena las claves de autenticación y encriptación e información de suscripción que es necesaria en la terminal.

Figura 25. **Agregado de tráfico de varios Node B**



Fuente: elaboración propia.

2.2.1. **Técnica de Acceso en UMTS**

A diferencia de los sistemas GSM que fueron diseñados principalmente para asegurar la mejor calidad de voz, los esfuerzos de la tecnología UMTS fueron enfocados en brindar una mejor comunicación multimedia. Con UMTS la comunicación persona a persona pudo mejorarse con alta calidad de imágenes y video, también el acceso a la información y los servicios en redes públicas y privadas fue mejorado por medio de altas velocidades de datos y nuevas capacidades de comunicación flexibles.

En el *release* '99 de 3GPP se definieron las especificaciones de la técnica de acceso WCDMA utilizada en UMTS y es común en el ámbito de los operadores referirse a la tecnología UMTS por su técnica de acceso WCDMA. WCDMA puede operar en dos modos distintos FDD y TDD, pero el modo de

operación que mas despliegue ha tenido es FDD brindando una señal portadora para el *downlink* y una señal portadora para el *uplink* de los datos de usuario.

2.2.1.1. WCDMA

Wideband Code Division Multiple Access es la técnica de acceso usada en UMTS, basándose en CDMA utilizado en GSM pero ahora como un sistema de banda ancha DS-CDMA o Direct-Sequence CDMA, en el que los bits de información del usuario son ensanchados sobre un amplio ancho de banda por medio de la multiplicación de los datos de usuario, con *bits* cuasi aleatorios llamados chips derivados de los *spreading codes* de CDMA. Con el fin de soportar altas velocidades de bit cercanas a los 2 Mbps, se soporto el uso de un *spreading factor* variable y conexiones de múltiple código. Las velocidades de datos ahora al medirse en unidades de chips se encuentran en Mcps.

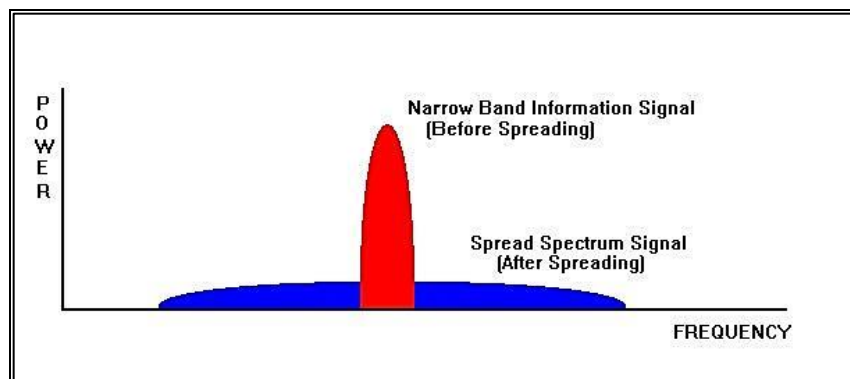
WCDMA soporta velocidades de datos de usuario variables, lo que se llama ancho de banda por demanda BoD. La velocidad de datos de usuario se mantiene constante durante cada *frame* de 10 ms. WCDMA permite la capacidad a los datos de usuario para cambiar de tamaño de un *frame* a otro *frame*, es así como se pueden proveer múltiples servicios con velocidades de bit variables en WCDMA. Las velocidades de 3.84 Mcps conducen a un ancho de banda de portadora de aproximadamente 5 MHz. El ancho de banda amplio permite altas velocidades de datos y beneficios de desempeño como el incremento de la diversidad de múltiple trayecto y la eficiencia del control de potencia.

Para realizar el proceso DS-CDMA, UMTS implementa la tecnología Direct Sequence Spread Spectrum, (DSSS) donde la información de cada usuario se ensancha en la banda del espectro usando un código único por usuario.

Ensancharse refiere a que la información es multiplicada por códigos. En DS-CDMA la portadora es modulada o ensanchada usando un código digital. Cada bit de información es codificado con una secuencia de chip. La velocidad de chip es mucho más alta que la velocidad de bit. La proporción entre la velocidad de bit y la velocidad de chip llamada Spreading Factor.

El receptor deberá conocer la secuencia de código correcta para poder extraer la transmisión específica de una señal enviada dentro del rango de frecuencia establecido. La tecnología DSSS permite a una señal de banda estrecha ser ensanchada varias veces creando una señal de banda ancha. El efecto básico obtenido es que una señal de banda estrecha con alta potencia es ensanchada y necesita un nivel de potencia bajo.

Figura 26. **Ensanchamiento (*spreading*)**



Fuente: *Normas estrictas: Sólo las variables deben ser atribuidos por refere.*

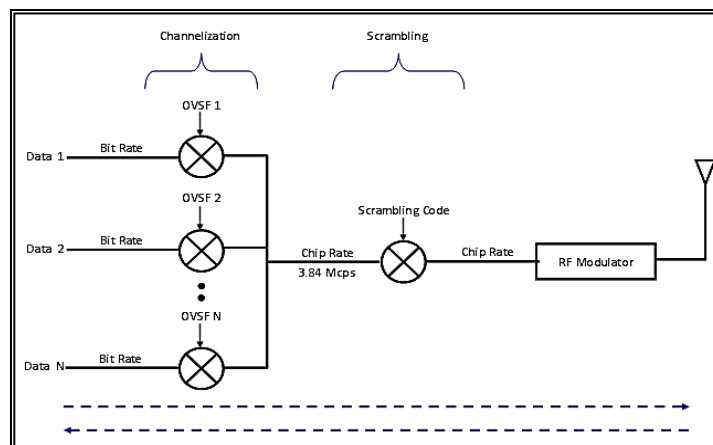
<http://www.mfhb.org.nz/joomla/images/issues/58/SS%202.jpg>. Consulta: 2 de abril de 2015.

Para diferenciar a los usuarios en WCDMA se realizan dos tareas, se ensanchan los datos a 5 MHz y se separa los canales de los usuarios individuales, para ello se definieron códigos con funciones específicas, los

Channelisation Codes o C.C. son códigos únicamente identificados como un canal, estos realizan el ensanchamiento de los datos a 5 MHz, separan los canales de una estación base en el *downlink* y los canales de los UE en el *uplink*. Las transmisiones de una fuente única son separadas por medio de los C.C. Los spreading/channelisation codes se basan en la técnica de factor de ensanchamiento variable ortogonal OVSF.

También se utilizan los códigos Pseudo-Noise Codes, códigos de ruido falso, estos son comúnmente llamados Scrambling Codes o S.C., códigos de aleatorización y únicamente identifican a un transmisor. Los S.C. realizan la separación de los usuarios en el *uplink* y la separación de las estaciones base en el *downlink*. En adición al ensanchamiento con los C.C., parte del proceso de un transmisor es la operación con los S.C. Esto es necesario para separar las terminales o estaciones base unas de otras. La aleatorización es usada después del ensanchamiento, esto no cambiará el ancho de banda de la señal sino hará que las señales de diferentes fuentes sean separables unas de otras.

Figura 27. **Operación con C.C. y S.C.**



Fuente: *Vector/Matrix*. http://www.sharetechnote.com/image/WCDMA_ChannelProcessing.PNG.

Consulta 2 de abril de 2015.

2.2.2. Problemas de transmisión y recepción

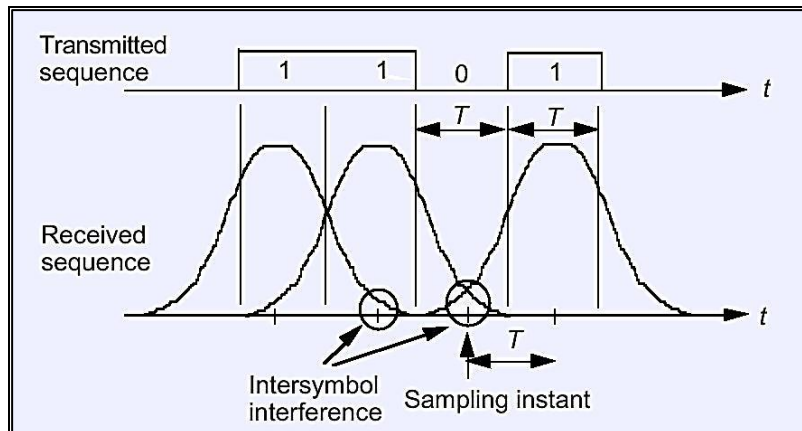
Las señales WCDMA en UMTS al igual que las señales en TDMA y CDMA en GSM son sujetas a diferentes fenómenos de propagación de las ondas como la propagación por múltiples trayectos, el sombreado de la señal y la pérdida de trayectoria.

2.2.2.1. Propagación Multitrayecto (Multipath Propagation)

Multipath Propagation o propagación por múltiples trayectos es utilizada para describir los diferentes trayectos que una señal puede tomar en su camino desde una antena en el equipo transmisor hacia una antena en el equipo receptor. Como consecuencias de la propagación por múltiples trayectos se tiene la Interferencia Intersimbólica (ISI) y el desvanecimiento rápido conocido también como Rayleigh Fading.

- Inter Symbol Interference (ISI): la interferencia intersimbólica ocurre cuando el tiempo de símbolo en WCDMA es muy corto, aproximadamente menor a $1 \mu\text{s}$, provocando que los símbolos consecutivos puedan interferirse entre sí debido a retardos por diferentes trayectos.
- Fast Fading (Rayleigh Fading): ocurre cuando se reciben potencias desiguales de diferentes trayectos en diferentes tiempos de arribo al receptor. El retardo entre esos diferentes arribos dependen de la naturaleza del área. En áreas urbanas y suburbanas el retardo típicamente es de 1 a $2 \mu\text{s}$ hasta los $20 \mu\text{s}$ en áreas montañosas.

Figura 28. (ISI)



Fuente: *Interferencias Inter Symboles*. <http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GTR/tn/monsite/modtn/BandeBase/images/ISI1A.jpg>. Consulta 2 de abril de 2015.

2.2.2.2. Desvanecimiento por sombreado (Shadow Fading)

El desvanecimiento por el sombreado de la señal es usado para describir la pérdida de energía que puede ser causada por un obstáculo, este fenómeno es conocido también como Slow Fading, Log-Normal Fading y Turn the Corner Effect. Cuando un objeto se interpone entre la línea de vista de la antena del equipo transmisor y la antena del equipo receptor la señal llegará atenuada en sus niveles de potencia al equipo receptor debido a que tomará múltiples trayectos para llegar a su destino.

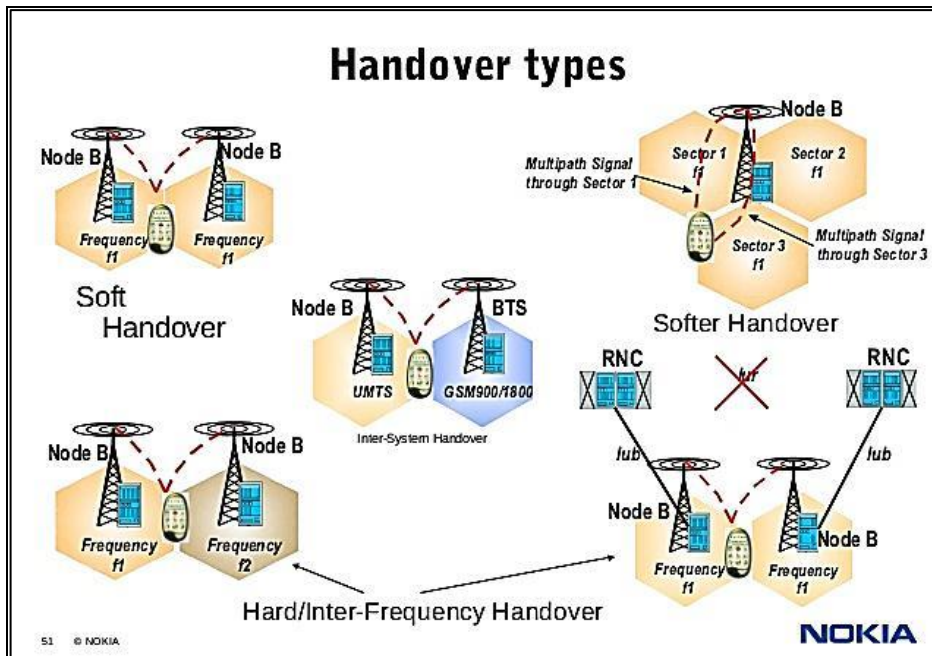
2.2.2.3. Pérdida de Trayectoria (Path Loss)

La Pérdida de Trayectoria es usada para describir la pérdida de energía debido a la distancia. De igual manera que una onda que se propaga a través del espacio disminuye su potencia proporcionalmente al menos al inverso del cuadrado de la distancia ($1/r^2$), así la distancia entre las antenas de los equipos transmisor y receptor será la causa de la pérdida de potencia de la señal. La pérdida de trayectoria es solventada teniendo una estructura de celdas y diferentes tipos de handover que permitan seguir brindando los niveles óptimos de señal al UE para asegurar la continuidad del servicio.

2.2.3. Funcionalidades de Traspaso (Handover)

La calidad de la conexión se debe mantener cuando el UE se mueve entre celdas, este es el propósito de la funcionalidad de Handover en un sistema de tecnología WCDMA, de acuerdo al escenario que se presente hay distintos tipos de Handover. En los Handover Soft y Softer se provee al UE con la posibilidad de agregar, remover y reemplazar enlaces de radio con la misma frecuencia. En los sistemas WCDMA se debe realizar preferentemente handover de tipo Soft y Softer para reducir la interferencia causada por problemas de cercanía y lejanía resultantes por los UE en los límites de las celdas.

Figura 29. Handover en WCDMA



Fuente: *Interferencias Inter Symboles*. <http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/tice-espaces/GTR/tn/monsite/modtn/BandeBase/images/ISI1A.jpg>. Consulta: 2 de abril de 2015.

2.2.3.1. Traspaso mas suave (Softer Handover)

Handover realizado entre celdas de un mismo sitio o radio base, ocurre cuando un UE se desplaza entre sectores que pertenecen a un mismo nodo B, es llevado a cabo por la radio base, cambiando de frecuencia portadora para el UE sin perder la conexión debido a que los sectores tienen el mismo *timing*. En el Softer Handover, el UE se comunica con una Radio Base a través de varios enlaces de radio.

2.2.3.2. Traspaso suave (Soft Handover)

Se da entre radio bases a una misma frecuencia portadora, durante este Handover el US puede mantener la conexión con hasta cuatro radio bases simultáneamente, por lo que no ocurre una desconexión y es menos perceptible el Handover, una desventaja es que durante este proceso, se utiliza el recurso que podría necesitar otro usuario solo para garantizar un Handover sin impacto perceptible para el usuario, para controlar este Handover se utiliza la interfaz IUR, este tipo de Handover no se usa en HSPA o LTE. En el Soft Handover al menos un enlace de radio esta siempre activo y no hay interrupción del flujo de datos durante el procedo de Handover.

2.2.3.3. Traspaso entre frecuencias (Inter-frequency Handover)

Es realizado cuando el UE debe cambiar de frecuencia portadora WCDMA durante el Handover entre radio bases, los canales de tráfico y control son desconectados y ocurre una re conexión del UE, es conocido también como Hard Handover. Durante el Hard Handover se rompe la conexión por un corto periodo de tiempo mientras se remueve el anterior enlace de radio y se establece un nuevo enlace.

2.2.3.4. Traspaso entre Tecnologías de Acceso de Radio (Inter-Ratio Access Technology Handover)

Handover llevado a cabo cuando debido a la ubicación del usuario no se cuentan con los recursos de radio para mantener a un usuario en un sistema WCDMA y se asignan recursos de GSM/GPRS, cuando este Handover se lleva

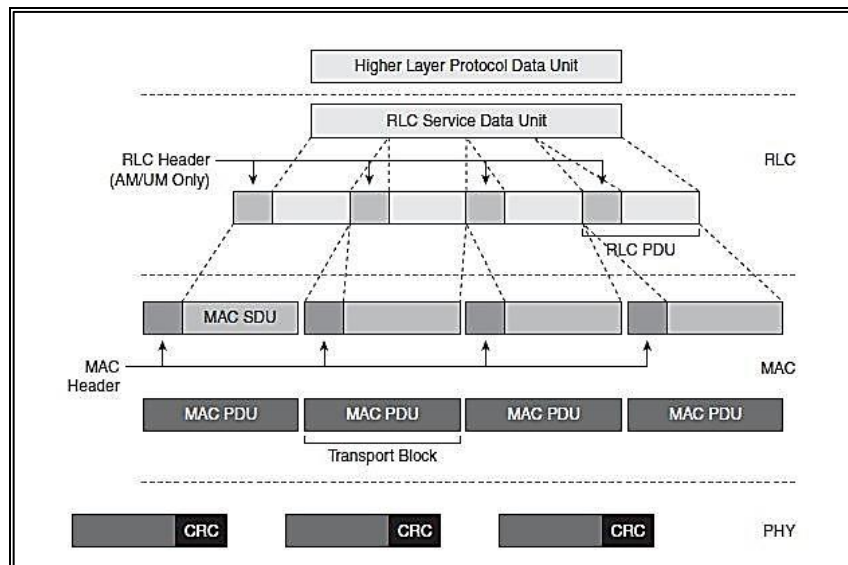
a cabo, los canales de tráfico y de control son desconectados y ocurre una reconexión del UE. Durante el Inter-RAT Handover el UE tiene solo un enlace de radio activo a la vez.

2.2.4. Interfaces entre nodos

Las interfaces que se ubican entre los nodos de UMTS tienen distintas funcionalidades y la comunicación entre los nodos pasa por distintas capas de acuerdo a los nodos involucrados, se definieron las capas como Capa Física, esta representa el medio por el que los datos de usuario, de control y la señalización serán transportados en *frames*, posteriormente se tienen las capas MAC y RLC. RLC se encarga de la segmentación y reensamblado de los datos del *user plane* y la información de control. La función de MAC es la selección de los formatos apropiados de transporte, esta determinará como los datos correspondientes a diferentes canales lógicos serán mapeados a la capa física.

La encapsulación de las capas superiores es llevada a cabo por las funciones de RLC y MAC en SDU, Service Data Units. La capa PDCP Packet Data Convergence Protocol es la capa permite a los datos del dominio P.S. ser transportados sobre el UTRAN, por medio de la segmentación y re ensamblado entre paquetes IP y SDU de RLC. Una importante funcionalidad de PDCP es la posibilidad de desarrollar la compresión de encabezado y descompresión de *stream* de datos IP entre la RNC y el UE. PDCP soporta IP Header Compression y Robust Header Compression RoHC.

Figura 30. Capas de UMTS



Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 61.

2.2.4.1. Interfaz Cu

Es la interfaz eléctrica entre la tarjeta inteligente USIM y el ME. Esta interfaz sigue un formato estandarizado para las *smartcards*.

2.2.4.2. Interfaz Uu

Es la interfaz de radio en WCDMA. Es la interfaz por medio de la cual el UE accede a la parte fija del sistema, y es la interfaz abierta más importante en UMTS. Existe una variedad de fabricantes de UE más que fabricantes de elementos de red de telefonía móvil. Se dice que es una interfaz abierta porque no es propietaria de un fabricante y es accesible si se siguen los estándares definidos por 3GPP para la tecnología de acceso de UMTS. La interfaz Uu es

dividida en tres capas de protocolo; capa física, capa de control de enlace y capa de red.

2.2.4.3. Interfaz lur

Es una interfaz abierta que permite la ejecución de Handover entre RNC de diferentes fabricantes, y por lo tanto, complementa a la interfaz abierta lu. Un Radio Network Subsystem (RNS) es una subred dentro de UTRAN y consiste de una RNC y uno o más Node B. Por ello la interfaz lur puede interpretarse como la interfaz que conecta a las RNC o conecta RNS distintos. Esta interfaz es usada para soportar el Inter-RNC soft Handover cuando el UE está conectado entre dos radio bases pertenecientes a diferentes RNC al mismo tiempo.

2.2.4.4. Interfaz lub

La interfaz lub conecta a los Node B con una RNC. UMTS es el primer sistema de telefonía móvil comercial donde la interfaz Controlador – Estación Base es estandarizada como una interfaz completamente abierta. Al igual que las otras interfaces abiertas, lub motivó la competencia entre fabricantes. Es por ello que los nuevos fabricantes se enfocaron en ingresar al mercado de las telecomunicaciones concentrando sus esfuerzos en fabricar los Node B. La interfaz lub es usada para transmitir señalización aplicada por radio, *frames* de radio y estimación de la calidad del uplink de *frames* de radio y datos de sincronización. Sobre esta interfaz es aplicado el protocolo Node B Application Part Protocol (NBAP).

lub es dividido en capas para su operación RNL y TNL, Radio Network Layer define los procedimientos relacionados para la operación de la radio

base. Transport Network Layer define los procedimientos para el establecimiento de las conexiones físicas entre la radio base y la RNC.

2.2.4.5. Interfaz lu-cs

Es la interfaz entre las RNC de la red de acceso y la red de Core. Dependiendo de la red de Core existente, esta interfaz conectará RNC con MSC o MGW que es lo más común actualmente, la conexión RNC – MSC es para señalización de los datos y la conexión RNC – MGW es para el tráfico de los datos. En esta interfaz se sustituyó al protocolo BSSAP de GSM por RANAP, el cual puede ser transportado usando el protocolo MPT3 de banda ancha (MTP3-B) y la voz codificada por Adaptive Multi-Rate (AMR) es encapsulada en el protocolo lu User-Plane (UP) el cual es transportado usando AAL2. La interfaz lu-CS se encarga del tráfico de los datos de usuario del dominio CS.

2.2.4.6. Interfaz lu-ps

La interfaz entre la red de acceso y los SGSN y GGSN del dominio PS es llamada lu-PS, en esta interfaz se transporta el tráfico de datos de las sesiones establecidas por el usuario con servidores y redes de datos externas. El SGSN autentica al usuario usando las mismas técnicas que la red de Core y proporciona la conexión hacia servicios internos del operador y el GGSN proporciona la conexión hacia servicios de redes IP externas por medio de *direct tunnelling*.

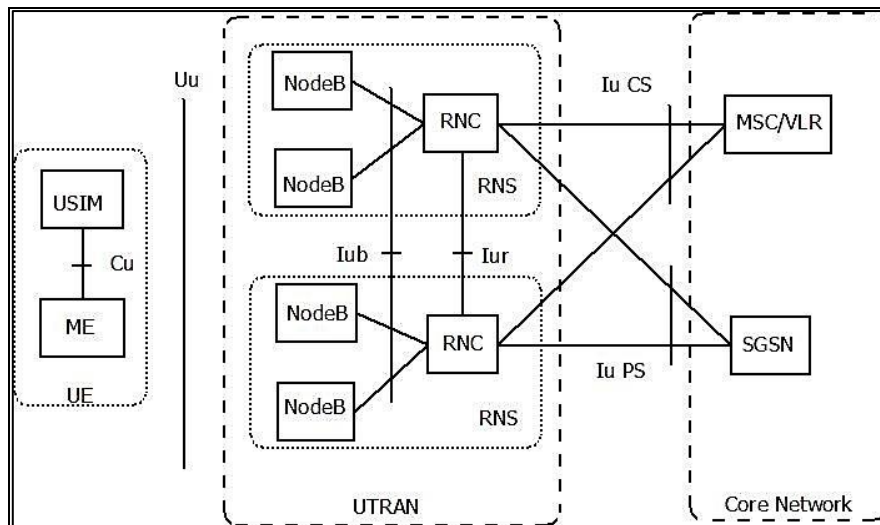
2.2.4.7. Interfaz lu-bc

La interfaz lu entre el UTRAN y el dominio de *broadcast*, por ejemplo la interfaz que conecta con el CBC es llamada lu-bc.

2.2.4.8. Interfaz lu-pc

Es la interfaz lu entre el UTRAN y el nodo de posicionamiento SAS, se define como lu-pc.

Figura 31. Interfaces en la arquitectura UTRAN



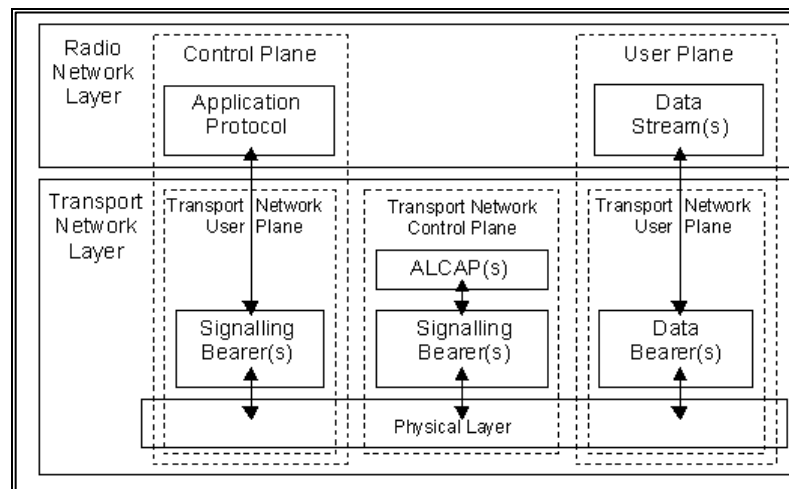
Fuente: elaboración propia.

2.2.5. Protocolos de comunicación y señalización

La señalización en el UTRAN de UMTS tiene capas horizontales y planos verticales, en las capas horizontales esta Radio Network Layer RNL y Transport Network Layer (TNL). Todos los aspectos de la RAN relacionados con el

establecimiento de portadoras de radio, Handover, *broadcasting* de información del sistema, *paging* y posicionamiento son visibles solo en la capa RNL. La capa TNL representa la tecnología de transporte estándar que es elegida para ser usada por la RAN, pero sin algún requerimiento específico de la RAN de WCDMA. En los planos verticales se tienen el Control Plane, User Plane, Transport Network Control Plane y Transport Network User Plane.

Figura 32. **UTRAN**



Fuente: *General protocol model for UTRAN Interfaces.*

http://www.umtsworld.com/technology/images/General_Protocol_Model_25401.png. Consulta: 2 de abril de 2015.

En la señalización utilizada por UTRAN se tienen distintos protocolos de aplicación en el Control Plane, como RANAP, RNSAP, NBAP y portadoras de señalización Signaling Bearer para transportar los mensajes de protocolos de aplicación. Estos protocolos de aplicación son usados por ejemplo para establecer portadoras para el UE, como la portadora de acceso de radio o el enlace de radio en la capa RNL. El User Plane transporta toda la información

enviada y recibida por el usuario, como la voz codificada en una llamada o los paquetes en una conexión de internet.

El Transport Network Control Plane no incluye ninguna información de la capa RNL, y se encuentra completamente en la capa de transporte. Este plano actúa entre el control plane y el User Plane para hacer posible al protocolo de aplicación de RNL ser independiente de la tecnología seleccionada la portadora de datos en el User Plane. Entre los protocolos utilizados en este plano está ALCAP, el cual es un protocolo para el transporte de señalización usado para el establecimiento y liberación de las portadoras de transporte por ejemplo la portadora de datos Data Bearer para el User Plane.

Las Data Bearer en el User Plane y las Signaling Bearer para el protocolo de aplicación pertenecen al Transport Network User Plane. El plano Transport Network User Plane controla directamente las Data Bearer durante la operación en tiempo real, pero las acciones de control requeridas para ajustar las Signaling Bearer para el protocolo de aplicación son consideradas acciones de O&M, es decir son definidas por el grupo de personas asignado para la operación y mantenimiento de la red.

2.2.5.1. NBAP

Node B Application Part, protocolo de aplicación utilizado en la interfaz Iub para comunicación entre Node B y RNC. NBAP inicia el establecimiento de una conexión de señalización sobre Iub. NBAP se divide en dos componentes esenciales, NBAP común para definición de los procedimientos de señalización a través del enlace de señalización común y NBAP dedicado para el enlace de señalización dedicada. Esta división se debe a que la radio base es definida para tener una parte común y un número de partes dedicadas, cada una

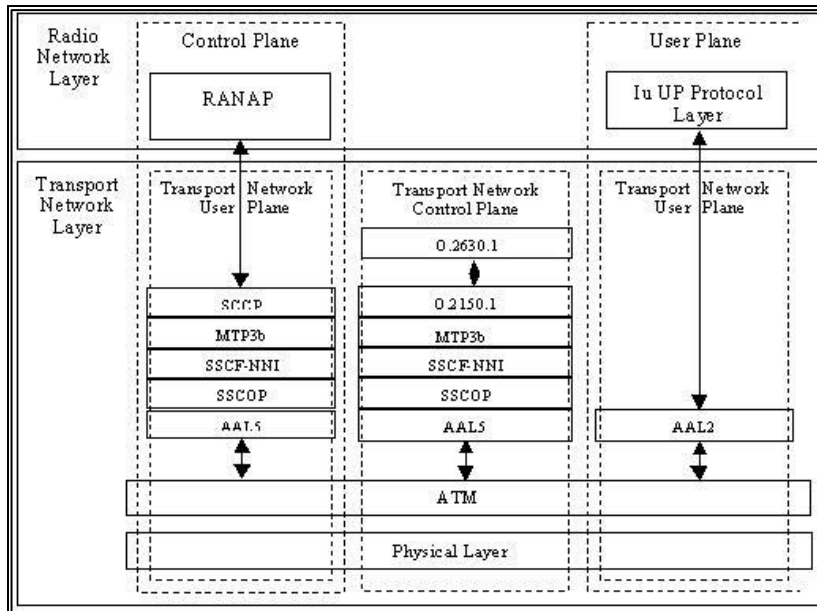
controlando una conexión de tráfico, para controlar esas diferentes partes la capa de red de radio RNL, NBAP es dividido de la misma forma.

- NBAP-C es utilizado para la señalización que inicia un UE *context* para un UE dedicado o para la señalización que no está relacionada con un UE específico. Entre los procedimientos de NBAP-C está la configuración de celdas, el mantenimiento de canales comunes y el establecimiento de enlaces de radio.
- NBAP-D es utilizado para la señalización de un UE *context* específico. La solicitud inicial a una radio base desde la RNC (Radio Link Setup) para la activación de un contexto usa NBAP-C, pero una vez que el contexto ha sido establecido, se usa NBAP-D para mantenerlo establecido. NBAP-D es utilizado para la adición, reconfiguración y liberación de enlaces de radio para un UE *context*.

2.2.5.2. RANAP

Radio Access Network Application Part es un protocolo del sistema WCDMA que proporciona funciones de señalización necesarias para la comunicación entre la MSC y la RNC. RANAP también transfiere mensajes NAS así como su homólogo BSSAP en GSM. RANAP es usado para la información de control entre MSC y RNC mientras que NAS es usado para señalización de acceso entre MSC y UE. RANAP funciona en las interfaces Iu-cs y Iu-ps. Los mensajes RANAP son transportados por SCCP, cuando los mensajes son asociados con un UE específico se usa el modo orientado a conexión de SCCP y todos los otros mensajes usan el modo sin conexión de SCCP.

Figura 33. RANAP sobre ATM



Fuente: Overall protocol structure for RANAP.

<http://i1076.photobucket.com/albums/w458/seangyteng/Telecom/221d3236.jpg>. Consulta 2 de abril de 2015.

2.2.5.3. PCAP

Positioning Calculation Application Part es el protocolo usado sobre la interfaz Iu-pc para el sistema de posicionamiento.

2.2.5.4. SABP

Service Area Broadcast Protocol es el protocolo usado sobre la interfaz Iu-bc.

2.2.5.5. RNSAP

Radio Network Subsystems Application Parts es usado por la interfaz Iur para la comunicación entre los Subsystems o las RNC de UTRAN. RNSAP es usuario de SCCP, ya que los mensajes RNSAP son transportados por medio de SCCP. RNSAP tiene cuatro funciones distintas:

- Soportar movilidad básica entre RNC, para permitir la señalización entre RNC.
- Soporte de tráfico de canales dedicados, para permitir canales dedicados para los datos de usuario entre RNC por ejemplo para *soft handover*.
- Soporte de tráfico de canales comunes, para permitir comunicación de canales comunes entre RNC.
- Soporte de administración de recursos globales, para permitir la transferencia de información de temporización para los Node B y mediciones de las celdas entre las RNC.

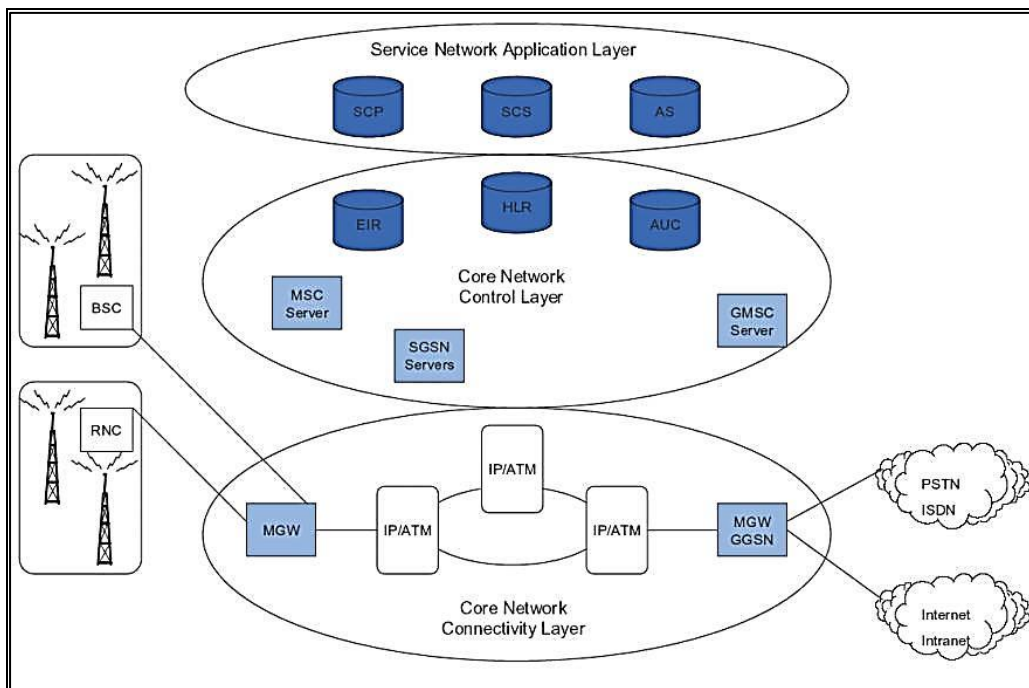
2.3. Descripción del Núcleo (Core)

Core Network, red núcleo o red central es comúnmente llamada Core o Red de Core en los términos de la telefonía móvil. Para términos de la tecnología GSM el Core corresponde al sistema NSS, el cual se conecta al BSS por medio de la interfaz A. Para términos de la tecnología UMTS la red Core se interconecta al sistema UTRAN por medio de la interfaz Iu. Al agregarse el dominio de paquetes PS a la red de Core se dividió la interfaz A en A-cs y A-ps para la comunicación de la red de acceso con los nodos dentro del dominio de circuitos y del dominio de paquetes respectivamente en GSM. A la vez en UMTS se divide la interfaz Iu en Iu-cs y Iu-ps para nodos del dominio de circuitos y del dominio de paquetes respectivamente.

2.3.1. Arquitectura en capas

De acuerdo al modelo de arquitectura en capas la red de Core puede tener varios componentes o nodos con funcionalidades diferentes que son requeridos con el fin de implementar servicios y funciones en diferentes capas, estas son Capa de Aplicación, Capa de Control y Capa de Conectividad, cada una realizando actividades específicas para el funcionamiento conjunto de una red de telefonía móvil.

Figura 34. Modelo de arquitectura en capas



Fuente: *Horizontal Layering*. <http://blueadmiral.com/Communications/comms/horizo32.jpg>.

Consulta: 2 de abril de 2015.

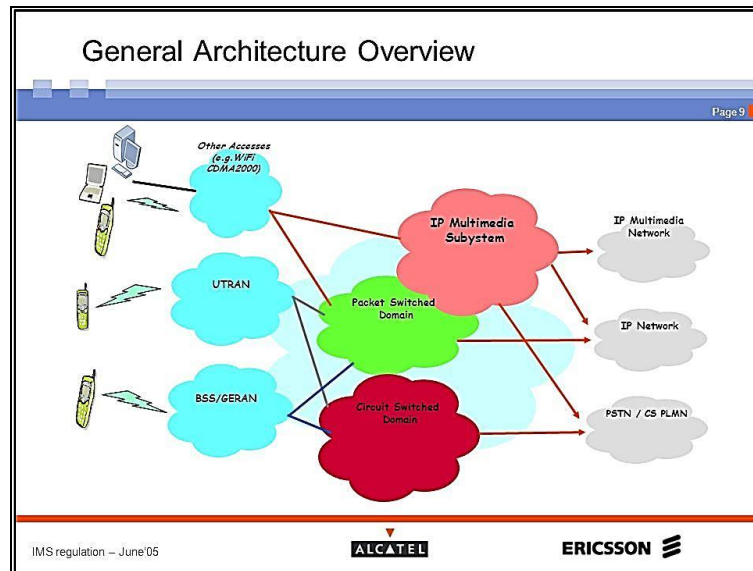
2.3.1.1. Capa de Aplicación

La Capa de Aplicación es la responsable de proveer servicios a los usuarios por medio de aplicaciones de acuerdo al dispositivo y método por el cual el usuario accede a la red. La Capa de Aplicación en sí no es una red real como tal en la red del operador, las partes importantes para la operación de la Capa de Aplicación pueden ser realizadas por Redes de Servicio que pueden incluso ser provistas por redes externas interconectadas a los nodos de Core y que pueden ser plataformas de proveedores de servicios

2.3.1.2. Capa de Control

La Capa de Control contiene nodos que controlan y dirigen el tráfico de ambos dominios CS y PS, esta capa representa la red de Core y puede contener MSC-servers, HLR/HSS, GMSC, SGSN, GGSN e interfaces al IMS. De acuerdo al modelo de referencia de una red WCDMA definido por 3GPP la red de Core actúa como el centro nervioso de la red. Este contiene los principales nodos de conmutación y enrutamiento, así como también nodos de bases de datos e interfaces a servidores de aplicaciones. Posteriormente la red de Core se separa en dos dominios para el tráfico conmutado de circuitos y de paquetes, así como también se tienen interfaces hacia el tercer dominio IMS. Adicionalmente la red de Core debe soportar conexiones hacia redes externas.

Figura 35. **Dominios de la red de Núcleo**



Fuente: *Horizontal Layering*. <http://blueadmiral.com/Communications/comms/horizo32.jpg>.

Consulta: 2 de abril de 2015.

2.3.1.3. **Capa de Conectividad**

La Capa de Conectividad consiste de nodos de transporte como M-MGW, SGSN y GGSN, los nodos del dominio de PS se pueden representar en dos capas del modelo debido a que tienen funciones de conectividad y control a la vez. Estos nodos conectan a la red de Core con varias redes de Acceso. Los Mobile Media Gateway M-MGW son comúnmente conocidos solamente como Media Gateway, estos actúan como una interfaz entre los dominios de la red de Core y la RAN de tecnologías GSM y UMTS. Entre las tecnologías de transporte de los MGW se incluyen TDM, ATM e IP.

2.3.2. Funcionalidades de la Red de Núcleo (Core)

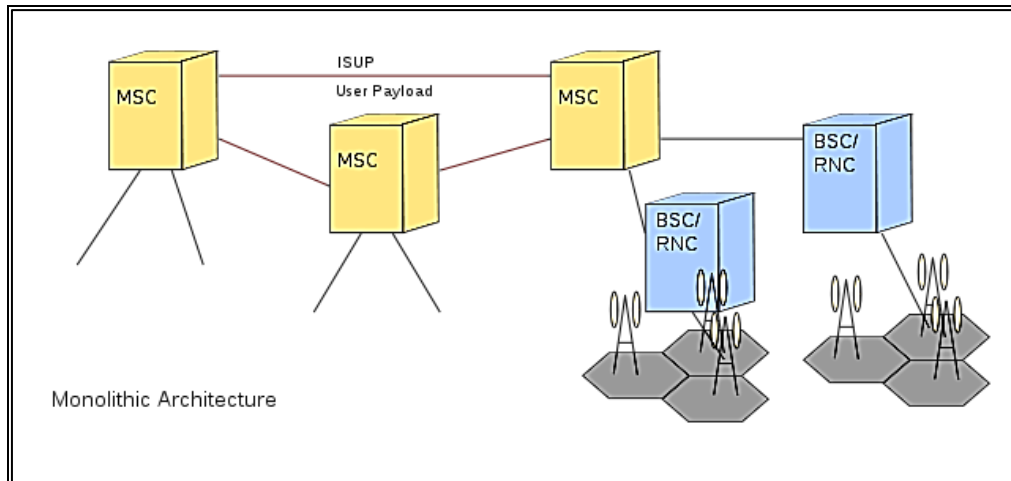
Constituye una parte fundamental del sistema operativo, y se define como la parte que se ejecuta en modo privilegiado (conocido también como modo núcleo).

2.3.2.1. Solución Monolítica

La solución de la arquitectura utilizada en una red de Core depende del equipo con el que cuente un operador o de los equipos que un proveedor pueda brindarle al operador, una solución monolítica fue utilizada mayormente en redes con tecnología GSM donde la MSC es responsable de todo el control y la conmutación.

Una MSC monolítica tiene las funciones de controlar las decisiones que se deben tomar para los paquetes del dominio CS y a la vez es la encargada de realizar la conmutación de estos paquetes. De esta forma la interfaz A se encuentra conectada directamente entre las BSC del BSS y la MSC del NSS, luego esta MSC tiene interfaces hacia nodos como el AUC, EIR, HLR y FNR para el registro de los abonados e interfaces hacia una GMSC para conectarse a una PLMN o una PSTN.

Figura 36. **Modelo de una red Monolítica**



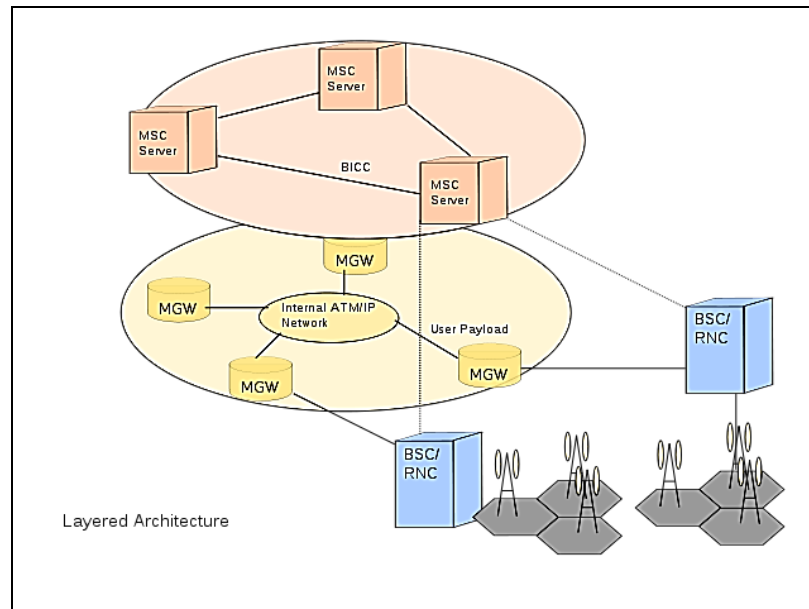
Fuente: *Horizontal Layering*. <http://blueadmiral.com/Communications/comms/horizo32.jpg>.

Consulta: 2 de abril de 2015.

2.3.2.2. **Solución de Subsistema Móvil (MSS)**

La solución de arquitectura en capas Mobile Subsystem Solution (MSS) es la más utilizada actualmente en redes con tecnología UMTS. En el *Release 5* de 3GPP se implementan los MGW que son conmutadores que realizan la función directa de la conmutación de los paquetes del dominio CS. Un MGW conectará la red de Core con redes externas como las redes de acceso de GSM y WCDMA, redes PSTN u otras PLMND. Con esta solución se libera la carga de procesamiento a una MSC ya que esta se encarga del control y el MGW se encarga de la conmutación de los paquetes. Ahora a la MSC se le llama MSC Server y el trabajo de esta se conoce como Softswitch.

Figura 37. **Modelo de una red MSS**



Fuente: *Horizontal Layering*. <http://blueadmiral.com/Communications/comms/horizo32.jpg>.
Consulta: 2 de abril de 2015.

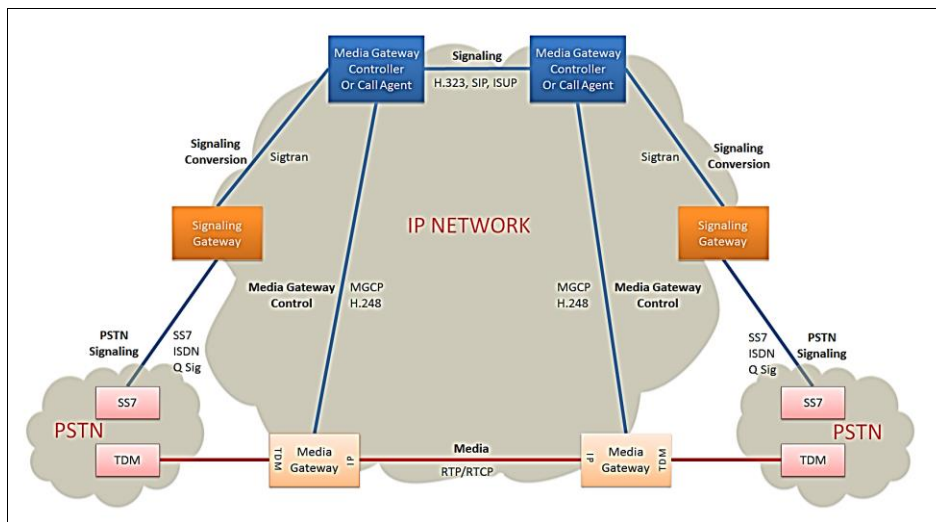
2.3.2.3. **Controlador de Puerta de Enlace (MGC)**

En el modelo de 3GPP se puede tener un equipo Media Gateway Controller MGC. Este es un equipo que funciona como un maestro de los MGW y es responsable de la señalización del control de llamadas (ISUP) desde y hacia las PSTN y PLMN. Un MGC también controla los recursos de los MGW que mantienen los *media streams* actuales.

Un MGC tiene las siguientes capacidades

- Mantener las sesiones multimedia establecidas, su modificación y terminación por medio del uso del protocolo SIP en la red IMS y el protocolo ISUP apropiado en el dominio de una PSTN o PLMN.
- Soporta el direccionamiento y enrutamiento de sesiones multimedia desde y hacia CSCFs y nodos PSTN/PLMN.
- Controla uno o más MGW usando el protocolo H248.
- Desempeñar el mapeo de la señalización al nivel de aplicación (SIP/ISUP).

Figura 38. **MGC**



Fuente: *Horizontal Layering*. <http://blueadmiral.com/Communications/comms/horizo32.jpg>.

Consulta: 2 de abril de 2015.

2.3.2.4. Subsistema de Multimedia IP (IMS)

IP Multimedia Sub-system, IMS, es un dominio más en la red de Core que permite al operador proveer a los suscriptores los servicios multimedia que son diseñados en aplicaciones y protocolos de internet. El IMS permite la

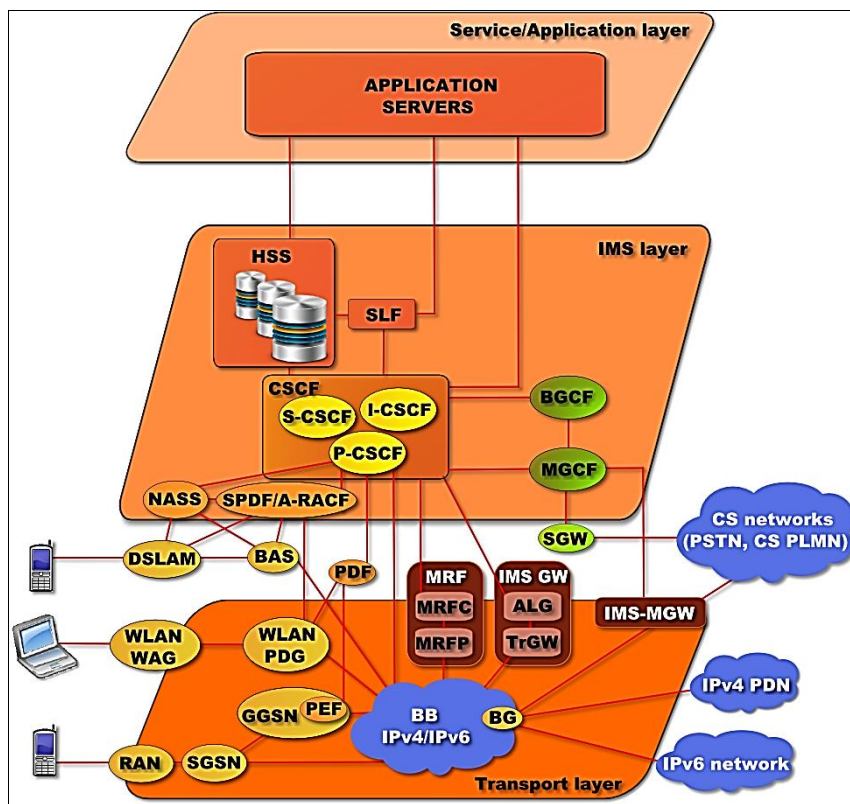
conectividad IP entre usuarios usando los mismos mecanismos de control y carga. Las capacidades de inicio básico de sesiones que provee el protocolo SIP son utilizadas para establecer sesiones peer-to-peer. El dominio IMS provee los medios a la red del operador para mantener servicios multimedia como servicios de tiempo real, por ejemplo VoIP, y servicios de tiempo no real como el intercambio de contenido.

El dominio IMS cuenta con el nodo Call Session Control Function. El CSCF el principal nodo en el IMS y es el responsable de mantener todas las sesiones multimedia, utilizando el establecimiento de sesiones con el protocolo SIP. Este se configura para asumir tres diferentes roles en la red:

- P-CSCF: Proxy Call Session Control Function es el primer punto de contacto en la red IMS con la red de acceso. P-CSCF realiza funciones como mantener el seguimiento del registro y activación de las sesiones de llamadas.
- I-CSCF: Interrogating Call Session Control Function es el punto de entrada para todas las conexiones terminales en la red IMS local. El I-CSCF en conjunto con el HSS asignan un S-CSCF durante el registro inicial y enrutan la señalización de finalización de sesiones al S-CSCF asignado.
- S-CSCF: Serving Call Session Control Function desempeña servicios de control de sesiones para el UE como los siguiente:
 - Realizar el registro de un suscriptor para actuar como un SIP register.
 - Descargar el perfil del usuario del HSS.
 - Almacenar el P-CSCF actual del usuario así como también la dirección IP y número de puerto.

- Enrutar las solicitudes SIP hacia otros servidores IMS.
- Supervisión de las sesiones salientes usando un temporizador de sesión.
- Entregar datos de tarificación.

Figura 39. IMS



Fuente: *IP multimedia subsystem* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/lms_overview-2.png. Consulta: 2 de abril de 2015.

2.3.2.5. Redes externas

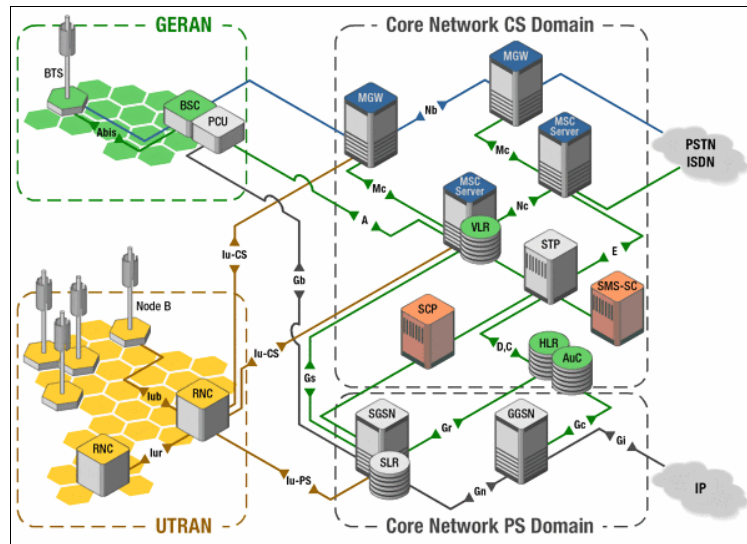
Una red de telefonía móvil necesita tener conexiones hacia redes externas. Esto se debe a que los usuarios necesitan tener conectividad a una red de líneas fijas PSTN para conmutación de llamadas o hacia el internet y LAN corporativas en sesiones de paquetes conmutados. Por ello el modelo de referencia de 3GPP permite definir a las conexiones hacia estas redes externas como la cuarta área en su modelo.

2.3.3. Interfaces entre nodos de la red Core

Luego del *Release* '99 de 3GPP, la red de Core no experimentó muchos cambios ya que fue heredada de la red de Core en GSM, y permite que las redes UTRAN y GERAN se puedan conectar a la misma red de Core. GERAN fue una mejora para el GRAN de GSM implementando EDGE para poder introducir el dominio de paquetes a GSM. Los cambios de la red de Core son menores a los cambios de las redes de acceso. Mientras que el protocolo IP transformado el transporte de la red de Core, permitiendo a los operadores por medio de redes IP transportar datos, voz y señalización dependiendo de los nodos de Core que se vean involucrados en el flujo de una comunicación.

Los nombres de las interfaces entre los nodos de la red de Core no son de mucho estudio en comparación de las interfaces de las redes de acceso, esto es debido a que lo más importante para el operador es definir los medios de transmisión y los protocolos de las diferentes capas de comunicación y aplicación que se implementen entre los nodos.

Figura 40. Interfaces en la red Core



Fuente: *IP multimedia subsystem* http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/lms_overview-2.png. Consulta: 2 de abril de 2015.

2.3.3.1. Interfaz Nb

La interfaz Nb es la interfaz que conecta a dos MGW directamente, esta es utilizada para transportar llamadas y sesiones de datos entre usuarios que están registrados en distintas MSC y por lo tanto utilizan los recursos de C.S. o P.S. de diferentes MGW. Cuando se tiene una interfaz Nb sobre IP se utiliza el protocolo IP-BCP, IP Bearer Control Protocol realizará la señalización de la llamada cuando un usuario en un MGW necesite una llamada de Voz sobre IP con un usuario en otro MGW.

2.3.3.2. Interfaz Mc

Esta interfaz surgió luego del *Release 5* de 3GPP. Mc es la interfaz que conecta un MGW con una MSC para la función de *soft-switch*, En esta interfaz se transportarán los comandos entre la MSC y MGW para la asignación de los circuitos a los usuarios. El protocolo GCP Gateway Control Protocol también conocido como H248 es el que se encargará del control de los comandos entre la MSC y el MGW.

2.3.3.3. Interfaces D y C

Estas interfaces son utilizadas para describir diferentes escenarios donde se ven involucrados una MSC local, el HLR local y otro nodo que puede ser otra MSC local, una GMSC o un SM-SC. Para estos casos la interfaz D se ubica entre la primer MSC y el HLR y la interfaz C se ubica entre el HLR y la segunda MSC, la GMSC o el SM-SC. Los protocolos de Aplicación que se utilizan en estas interfaces varían de acuerdo al escenario, por ejemplo entre la MSC y el HLR habrá mensajes MAP.

2.3.3.4. Interfaz Nc

La interfaz Nc se ubica entre una MSC y otro nodo como una MSC o GMSC, de acuerdo al escenario podrán transportarse a través de esta interfaz mensajes del protocolo BICC o ISUP.

2.3.3.5. Interfaz Gn

Gn es la interfaz que se ubica entre el SGSN y el GGSN o entre dos SGSN, luego de que un usuario se une a la red del operador, se necesita establecer un PDP Context para permitir la movilidad del usuario y permitir el envío y recepción de paquetes IP. La red de Core definida por 3GPP permite transferir los contextos activos de un usuario entre los SGSN usando la interfaz Gn.

2.3.3.6. Interfaz Gr

La interfaz Gr se ubica entre el SGSN y el HLR. Esta interfaz es utilizada para la operación del registro del usuario en el PS de la red de Core. El procedimiento de enlazarse al PS es similar al registro en el CS de la red de Core, por medio de mensajes MAP.

2.3.4. Protocolos de comunicación y señalización

En los últimos años, los protocolos de señalización para el servicio de transmisión de voz han experimentado una fuerte evolución junto con la tendencia a transportar dicho tráfico desde las redes de conmutación de circuitos hacia las redes de conmutación de paquetes.

2.3.4.1. M3UA

M3UA es el protocolo más usado actualmente en las redes de telefonía actuales que utilizan IP, M3UA significa MPT3 User Adaptation. M3UA es usado de forma similar que MTP3 para TDM y MTP-3b para ATM. Su función principal es proveer enrutamiento MTP para los mensajes SS7. Adicionalmente provee

una función de supervisión, manteniendo comunicación hacia otros nodos en la red. La capa de protocolo M3UA es responsable de proveer funciones y características de señalización en la red como SS7.

Las funciones y características que provee M3UA son las de mantener rutas y estados de asociación entre iguales capas M3UA de otros nodos. M3UA también mantiene un seguimiento de nodos adyacentes, rutas y nodos destinos. Un operador define estas características manualmente de forma inicial. M3UA también mapea las asociaciones SCTP que conectan a los diferentes nodos adyacentes. Los identificadores que maneja M3UA para los nodos son llamados Point Code, el PC identificará a un nodo de forma única dentro de la red.

2.3.4.2. SCTP

La capa de protocolo SCTP es responsable de proveer conexión confiable entre dos nodos con señalización IP. La conexión de señalización es establecida por medio de una asociación SCTP. Stream Control Transmission Protocol SCTP provee servicios orientados a conexión entre nodos vecinos SCTP por medio de asociaciones SCTP. Las asociaciones SCTP proveen la conexión confiable entre dos puntos finales de señalización. SCTP proporciona reconocimiento, transferencia no duplicada y libre de errores a los mensajes, brindando la integridad de los mensajes.

La capa SCTP soporta *multi-homing*, esto significa que soporta al menos dos direcciones IP locales, brindando una conexión SCTP robusta. Este concepto también involucra duplicación de hardware, así la conexión SCTP soporta redundancia completa en cualquiera de los dos casos, en el nodo en si o en la red IP subyacente.

Para comunicarse un nodo SCTP con otro nodo SCTP en la red, se debe definir una asociación SCTP. Esta asociación se crea de manera que cada punto de señalización en la red sea conocido por los demás. El protocolo SCTP verifica la disponibilidad de las asociaciones SCTP con el uso de un mensaje *heartbeat*. En el caso que una asociación SCTP se pierda, el tiempo necesario para detectar el inconveniente dependerá de la frecuencia del mensaje *heartbeat*.

2.3.4.3. Protocolo IP

La capa de protocolo IP provee servicios sin conexión entre nodos IP. Los router IP proveen enrutamiento IP normal entre nodos emisores y receptores. Los caminos de enrutamiento son establecidos y mantenidos a través del uso de protocolos de enrutamiento como RIP, OSPF, BGP, rutas estáticas, entre otros. Se espera que la calidad de servicio del protocolo IP sea menor que el QoS logrado en una red SS7. QoS significa confiabilidad de la red, tiempo de transmisión óptimo y tiempo de recuperación luego de una falla de camino. La QoS que provee la capa de protocolo IP deberá ser mejorada por medio de los servicios adicionales proveídos por otras capas de protocolo SIGTRAN como SCTP y M3UA.

2.3.4.4. MAP

Mobile Application Part es un protocolo usuario de TCAP, TCAP a la vez usa servicios sin conexión SCCP para soportar diálogos de tiempo real o intercambios entre usuarios TCAP. MAP es usado entre la MSC y HLR para enviar mensajes de autenticación de usuario, actualización de la ubicación de usuario, insertar los datos del usuario del HLR al VLR en la MSC, entre otros. MAP no puede trabajar solo por lo que necesita estar sobre TCAP.

2.3.4.5. TCAP

Transaction Capabilities Application Part (TCAP) es usado para comunicación de bases de datos y para establecer transacciones entre dos nodos. En la red móvil, entre estas bases de datos de incluyen el HLR, VLR y Mobile Number Portability (MNP). El objetivo de TCAP es proveer capacidades de transacciones, es decir transferir información entre nodos, también proveer servicios genéricos para las aplicaciones y mantenerse independiente de estas. El principal propósito de la capacidad de transacción es proveer soporte a las aplicaciones interactivas en ambientes distribuidos.

2.3.4.6. ISUP

ISDN User Part, ISUP es el protocolo responsable de proveer la capacidad de señalización necesaria para soportar el mantenimiento de servicios básicos y suplementarios de ISDN. Integrated Service Digital Network (ISDN), provee a los suscriptores un número de servicios básicos con una portadora con capacidades de circuitos de 64 Kbps para conexiones punto a punto y servicios suplementarios a los suscriptores. ISUP también incluye un número de funciones de administración de circuitos. Entre los servicios que proporciona ISUP se tienen;

- Voz
- Fax
- Audio a 3,1 KHz
- Tasa de 64 Kbps
- Acceso a entrega de información
- Suspensión y continuación de llamadas
- Capacidades de Fallback (entre tecnologías de acceso diferentes)

ISUP es un protocolo de aplicación usuario directo de la capa MTP, ya sea MTP3, MTP3b o M3UA, dependiendo del medio de transmisión en la capa física de la red. ISUP es usado en las llamadas por ejemplo entre nodos como una MSC, un IVR donde el usuario tiene interacción con una plataforma inteligente y Voice Mail. Entre los mensajes de señalización de ISUP se tienen los siguientes:

- Initial Address Message (IAM): incluye la información necesaria para establecer una llamada, como calling party number, called party number e información sobre el circuito utilizado.
- Address Complete Message (ACM): es el mensaje enviado en respuesta a un IAM para notificar que la llamada puede ser completada como fue requerido.
- Answer Message (ANM): es un mensaje enviado cuando la parte destino contesta el teléfono, en este punto la llamada se establece completamente.
- Release Message (REL): es el mensaje enviado cuando una de las partes cuelga el teléfono, el SSP local envía el mensaje al otro SSP para notificar que el canal portador puede ser liberado (liberación del circuito).
- Release Complete Message (RLC): es enviado como acuse de recibo para el mensaje REL y significa que el circuito ha sido liberado.

2.3.4.7. BICC

Bearer Independent Call Control es una arquitectura que consiste de nodos servidores interconectados que proveen funciones de servicio de llamada y funciones de control de portadora. La función Call Service Function unas señalización BICC para el establecimiento de una llamada y puede también trabajar con ISUP. La función Bearer Control Function recibe directivas de la

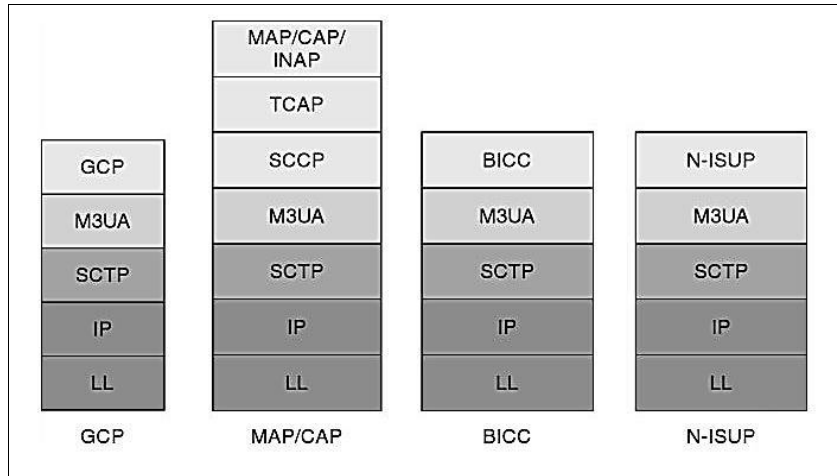
función de servicio de llamadas por medio del protocolo BICC Bearer Control Protocol y es responsable del establecimiento y desmontaje de caminos de portadora en un conjunto de enlaces de transporte físico. Estos enlaces pueden ser enlaces Asynchronous Transfer Mode (ATM) o del protocolo IP normalmente.

BICC tiene las funcionalidades de ISUP, es por ello que se considera una evolución de ISUP, y es utilizado en nodos semejantes en la red, el ejemplo claro es en la interfaz entre dos MSC locales, por medio de dicha interfaz se enviarán mensajes BICC para el origen y registro de una llamada que deba transferir los recursos de una MSC a otra debido a que los usuarios en una llamada se encuentren en diferentes MSC, BICC se encargará de la señalización de la llamada y el protocolo GCP se encargará de proveer los recursos de C.S. en los MGW implicados para concretar la llamada.

2.3.4.8. GCP - H248

Gateway Control Protocol es el protocolo utilizado para el envío de comandos entre la MSC y el MGW bajo su control, GCP es conocido también como H248. GCP es usado para poder establecer los recursos necesarios de C.S. al momento de concretar una llamada. GCP tiene mensajes como ADD, Subtract, Move, enviados de la MSC al MGW para darle órdenes llamadas Comandos y mensajes de respuesta del MGW hacia la MSC como Notify.

Figura 41. **Protocolos de comunicación en la red de Core**



Fuente: OLSSON, Anders. *Understanding changing telecommunications*. p. 406.

3. DESCRIPCIÓN DE UNA RED LTE

3.1. Requisitos de una red LTE

El estándar de telefonía móvil de evolución de largo plazo Long Term Evolution (LTE) está normado por la tecnología de radio de 3GPP, utilizando las técnicas UTRA-UTRAN Long Term Evolution (LTE) y 3GPP System Architecture Evolution (SAE).

3GPP trabaja en la evolución de los sistemas móviles de tercera generación 3G iniciados con el RAN Evolution Work Shop o taller de evolución de RAN, en noviembre de 2004, en Toronto, Canadá, dicho taller fue abierto para todas las organizaciones interesadas, miembros y ajenos de 3GPP. Operadores, fabricantes e institutos de investigación presentaron más de 40 contribuciones con los fines y propósitos de la evolución de la red de acceso terrestre de radio universal UTRAN y definieron un conjunto de requerimientos de alto nivel que se identificaron en dicho taller, los principales requerimientos planteados fueron los siguientes:

- Reducir los costos por bit.
- Incrementar la oferta de servicios de los proveedores, más servicios con costos más bajos para mejorar la experiencia del usuario.
- Flexibilidad en el uso de las bandas de frecuencias existentes y nuevas.
- Proveer un consumo de potencia razonable de los terminales móviles.

También se recomendó que la evolución de UTRAN debiera alcanzar mejoras significativas para justificar los esfuerzos de estandarización y también evitar opciones innecesarias. Entre ciertos aspectos, la colaboración con 3GPP SA Work Groups fue esencial para la división entre la red de acceso y la red de control, y las características de transferencias que los nuevos servicios demandados requieren.

Con las conclusiones de estos talleres y el apoyo de los miembros de 3GPP, fue factible realizar el estudio de UTRA & UTRAN Long Term Evolution, el objetivo fue desarrollar un marco de trabajo de la evolución de la tecnología 3GPP de radio acceso hacia una transferencia de datos alta, baja latencia y una tecnología de radio acceso de paquetes optimizada. El estudio se enfocó en apoyar los servicios proporcionados por el dominio de los paquetes (PS-domain) o Packet Switch-domain, involucrando lo siguiente:

- Relacionado con la capa física de radio interface (*downlink* y *uplink*)
- Refiriéndose a apoyar la transmisión flexible en un ancho de banda superior a 20 MHz, la introducción de nuevos esquemas de transmisión y tecnologías multi-antena avanzadas.
- Relacionado con las capas 2 y 3 de interfaz de radio, por ejemplo la optimización de la señalización.
- Relacionado con la arquitectura UTRAN, se identificó la arquitectura óptima de UTRAN y la separación funcional entre los nodos de red de la RAN.
- Temas relacionados con la radio frecuencia RF.

En adición, la iniciativa de redes móviles de siguiente generación Next Generation Mobile Networks Initiative (NGMN), dirigida por siete operadores de red, proporcionó un conjunto de recomendaciones para la creación de redes adecuadas para la oferta competitiva de servicios móviles de banda ancha. El objetivo de NGMN es proveer una visión coherente para la evolución de la tecnología más allá de 3G para la oferta de servicios inalámbricos de banda ancha.

El objetivo de largo plazo de NGMN es establecer claramente metas de desarrollo, las recomendaciones fundamentales y el despliegue de escenarios para una área amplia de redes móviles de banda ancha futuras, en un documento escrito en marzo de 2006, esta iniciativa provee las prioridades relativas para las características claves del sistema y los requerimientos de recomendaciones detalladas para los sistemas, como resultado de esto, se desarrolló el reporte técnico TR 25.913 el cual contiene los requerimientos detallados para los siguientes criterios:

- Tasa de datos pico (Peak data rate):
 - Una velocidad de datos pico instantánea de descarga de 100 Mb/s dentro de un espectro asignado de *downlink* de 20 MHz (5 bps/Hz).
 - Velocidad de datos pico instantánea de subida de 50 Mb/s (2,5 bps/Hz) dentro de un espectro asignado de *uplink* de 20 MHz.

- Latencia del Control-plane:
 - Tiempo de transición de menos de 100 ms de un estado acampado, como la versión 6 de modo inactivo, a un estado activo, como la versión 6 CELL_DCH.

- Tiempo de transición de menos de 50 ms entre un estado latente, como la versión 6 CELL_PCH y un estado activo como el Release 6 CELL_DCH.
- Capacidad del Control-plane:
 - Al menos 200 usuarios por celda deben ser soportados en el estado activo para las asignaciones de espectro de hasta 5 MHz.
- Latencia de User-plane:
 - Menos de 5 ms en condiciones de descarga (es decir, de un solo usuario con solo flujo de datos) para pequeños paquetes IP.
- Rendimiento para el usuario:
 - Enlace descendente o downlink: el rendimiento promedio del usuario por MHz, 3 a 4 veces la versión 6 de HSDPA.
 - Enlace ascendente o uplink: el rendimiento promedio del usuario por MHz, 2 a 3 veces la versión 6 de enlace ascendente mejorado.
- Eficiencia del espectro:
 - Downlink: en una red cargada, fija el objetivo para la eficiencia del espectro (bits / s / Hz / sitio), de 3 a 4 veces la versión 6 de HSDPA.
 - Uplink: en una red cargada, tiene como objetivo para la eficiencia del espectro (bits / s / Hz / sitio), de 2 a 3 veces la versión 6 de enlace ascendente mejorado.
- Movilidad:
 - E-UTRAN debe ser optimizado para la baja velocidad del móvil de 0 a 15 km/h.

- Una mayor velocidad del móvil entre 15 y 120 km/h debe ser soportada con un alto rendimiento.
- La movilidad a través de la red celular se mantendrá a velocidades de 120 km/h a 350 km/h (o incluso hasta 500 km/h, dependiendo de la banda de frecuencia).
- Cobertura:
 - Los objetivos de rendimiento, eficiencia de espectro y movilidad anteriormente mencionados, deben cumplirse para celdas de 5 km, y con una ligera degradación para celdas de 30 km. Las celdas que se extienden hasta 100 kilómetros, no serán excluidas.
- Un servicio multimedia de *broadcast* y multicast mejorado (MBMS):
 - Se prevé la reducción de la complejidad del terminal: la misma modulación, codificación, múltiples enfoques de acceso y ancho de banda de UE para la operación *unicast*.
 - Prestación de servicios simultáneos de voz y MBMS dedicadas al usuario.
 - Disponible para las configuraciones de espectro apareadas y no apareadas.
- Flexibilidad del espectro:
 - E-UTRAN operará en asignaciones de espectro de diferentes tamaños, incluyendo 1,25 MHz, 1,6 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz en el enlace ascendente y el enlace descendente. La operación en espectro emparejado y no emparejado deberá ser soportada.

- El sistema deberá ser capaz de soportar la entrega de contenido a través de una agregación de recursos incluyendo los Radio Band Resources (así como la potencia, la programación adaptativa, entre otros) en las mismas y diferentes bandas, tanto en el enlace ascendente y el enlace descendente y en ambas disposiciones de canales adyacentes y no adyacentes. Un "Radio Band Resource" se define como todo el espectro disponible para un operador.
- Co-existencia y la Inter-operación con 3GPP Radio Access Technology (RAT):
 - Co-existencia en la misma zona geográfica y co-ubicación con GERAN / UTRAN sobre canales adyacentes.
 - Terminales de E-UTRAN soportando también la operación UTRAN o GERAN, deben estar habilitadas para soportar la medición y la entrega desde y hacia, tanto 3GPP UTRAN y GERAN 3GPP.
 - El tiempo de interrupción durante un traspaso de servicios en tiempo real entre E-UTRAN y UTRAN (o GERAN) debe ser inferior a 300 ms.
- Arquitectura y migración:
 - Arquitectura individual E-UTRAN.
 - La arquitectura E-UTRAN será basada en paquetes, aunque es conveniente establecerla para soportar sistemas de apoyo en tiempo real y el tráfico de clase conversacional.
 - La arquitectura E-UTRAN deberá minimizar la presencia de "puntos únicos de fallo".
 - La arquitectura E-UTRAN deberá proveer una calidad de servicio de extremo a extremo.
 - Los protocolos de comunicación Backhaul deben optimizarse.

- Requisitos de gestión de recursos de radio:
 - Soporte mejorado para QoS de extremo a extremo.
 - Soporte eficiente para la transmisión de las capas superiores.
 - Soporte de la compartición de carga y gestión de políticas a través de diferentes tecnologías de acceso de radio.

- Complejidad:
 - Minimizar el número de opciones
 - No hay características de redundancia obligatorias

Respecto a que sea una red fácil de desplegar, la clave está en que los servicios de LTE solo utilizan conmutación de paquetes. LTE no puede gestionar SMS o llamadas de la forma tradicional de GSM y UMTS, con conmutación de circuitos, de eso se seguirán encargando las redes GSM y UMTS, con la consiguiente optimización de los costos en infraestructura. El sistema de *switching* de paquetes de LTE está muy optimizado, para un mundo en el que cada vez se realizan más tareas sobre IP (VoIP en lugar de llamadas, mensajería instantánea como *whatsapp* en lugar de SMS).

LTE también está pensado para evitar la fragmentación de los terminales a nivel mundial por el tipo de duplexación, ya que las últimas revisiones del estándar son compatibles tanto con Frequency Division Duplex (FDD) que utiliza varias zonas del espectro y Time Division Duplex (TDD) que ocupa una sola zona. Así, un teléfono con tecnología LTE TDD funcionará en un país con tecnología LTE FDD sin mayores inconvenientes.

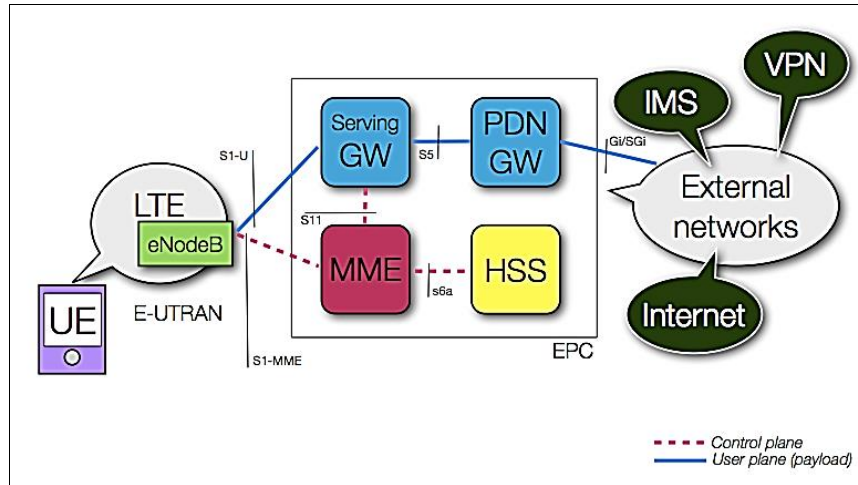
3.2. Sistema de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet System)

La red de telefonía móvil que cuenta con la tecnología LTE está definida tanto por 3GPP como EPS. El EPS está basado puramente en IP, los servicios de tiempo real y servicios de datos son llevados a cabo por el protocolo IP. EPS es considerado como un sistema de arquitectura simple y plana, se caracteriza por el hecho que únicamente soporta paquetes de datos y está basado en IP. El EPS se divide en dos partes importantes, la red de acceso LTE y la red de core EPC con una arquitectura SAE. EPS es la evolución de los sistemas de telefonía GSM y UMTS para el dominio PS y sus redes de acceso y core forman parte de esta evolución.

En el sistema EPS el equipo terminal del usuario sigue llamándose UE y se caracteriza en que la dirección IP de un UE es asignada cuando el terminal es encendido y se libera cuando es apagado. En EPS la tecnología de la red de acceso LTE también es conocida como E-UTRAN y la red de core EPC es también conocida como SAE. Sin embargo, LTE y SAE son artículos de trabajo de 3GPP mientras E-UTRAN y EPC son las redes actuales de acceso y core. En el EPS un UE se comunica por medio de la interfaz de aire con un eNodeB, también llamado RBS, la red de acceso E-UTRAN consiste de varios eNodeB. Los eNodeB están habilitados para comunicarse entre si y también están conectados al EPC.

LTE consiste de los eNodeB, los cuales finalizan todas las funciones del plano de usuario vistas por el terminal, por ejemplo Radio Bearer Control, Connection Mobility y el Scheduling para el *uplink* y el *downlink*. Dos eNodeB se conectan por medio de la interfaz X2 la cual se divide en X2 user plane y X2 control plane. Los eNodeB están conectados al S-GW por medio de la interfaz S1-UP y al MME por la interfaz S1-CP.

Figura 42. EPS



Fuente: *IP multimedia subsystem*. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/lms_overview-2.png. Consulta: 2 de abril de 2015.

3.2.1. Evolución de Arquitectura de Sistema (System Architecture Evolution)

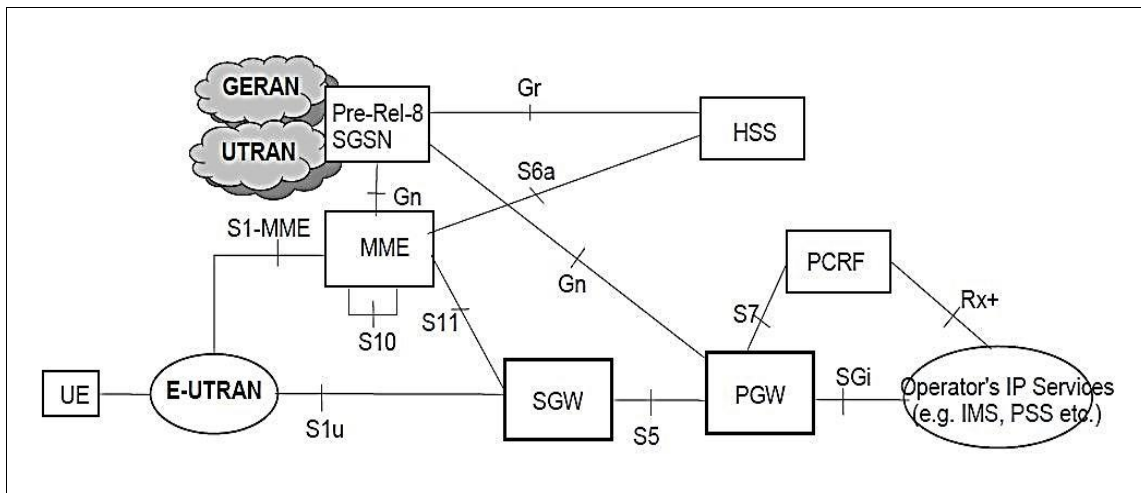
La arquitectura utilizada en el Evolved Packet Core es SAE, esta evolución de arquitectura permitió liberar a la red de Core de algunas funcionalidades que ahora son realizadas por los eNodeB y mejoró las prestaciones que ahora el EPC brinda. Los nodos en el EPC son Mobility Management Entity (MME) y Packet/Serving Gateway (P/S-GW) los cuales están conectados al E-UTRAN.

En SAE la función de Gateway está dividida en dos equipos. El Serving Gateway (S-GW) termina los paquetes del *user plane* y conmuta el *user plane* para soportar la movilidad del UE. El S-GW se comunica con el P-GW por medio de la interfaz S5/S8. El Packet Data Network Gateway (P-GW) mantiene el procedimiento de carga o *charging* para el servicio y es el punto de presencia

IP; IP Point of Presence (PoP). El MME mantiene la movilidad en modo ocioso y la seguridad. El modo ocioso de un UE es también conocido como Idle Mode.

Dos MME pueden estar conectados entre sí por medio de la interfaz S10 y a la vez conectados al S-GW por la interfaz S11. El nodo Home Subscriber Server (HSS) mantiene los datos del suscriptor y se conecta al MME por la interfaz S6a. El nodo Policy Control and Charging Rules Function (PCRF) también se conecta al MME y es el que ajusta el QoS y el *charging* para cada flujo de datos. La interfaz entre el PCRF y el MME es Gx.

Figura 43. **SAE**



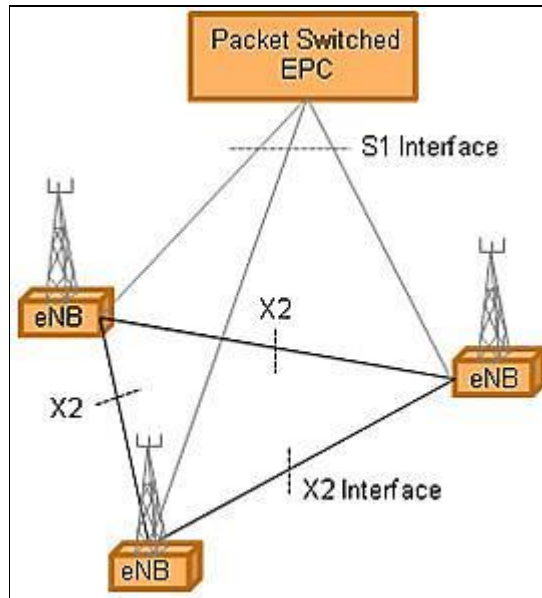
Fuente: 3GPP. TS 23.401 V8.0.0 (2007-12). Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (Release 8). p. 127.

3.3. Descripción de E-UTRAN

LTE o E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network), introducido en el *Release 8* o R8 de 3GPP es la parte de acceso del EPS. Los principales requisitos para la nueva red de acceso eran eficiencia del espectro, altas velocidades pico de datos, tiempos de ida y vuelta cortos, así como también flexibilidad en frecuencia y ancho de banda. La nueva solución de acceso fue LTE, basada en OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) y en combinación con modulación de alto orden hasta 64QAM, largos anchos de banda hasta 20 MHz y multiplexación especial en el *downlink* de hasta 4x4 con altas velocidades de datos. El pico teórico más alto es de 75 Mbps en el *uplink* y en el *downlink* 300 Mbps usando multiplexación especial.

LTE es simplemente una red de estaciones base evolucionadas; Evolved Node B (eNodeB o eNB), generando una arquitectura plana. No hay un controlador inteligente centralizado, y los eNodeB están interconectados por la interfaz X2 y conectados al EPC por las interfaces S1. La razón de distribuir la inteligencia entre los eNB fue aumentar la velocidad del establecimiento de conexiones y reducir el tiempo requerido para un Handover. Para un usuario final, el establecimiento de conexiones para una sesión de datos en tiempo real es en muchos casos crucial, especialmente en juegos en línea. El tiempo de un Handover es esencial para servicios de tiempo real donde los UE tienden a finalizar las llamadas si el Handover toma mucho tiempo.

Figura 44. E-UTRAN



Fuente: *IP multimedia subsystem*. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/lms_overview-2.png. Consulta: 2 de abril de 2015.

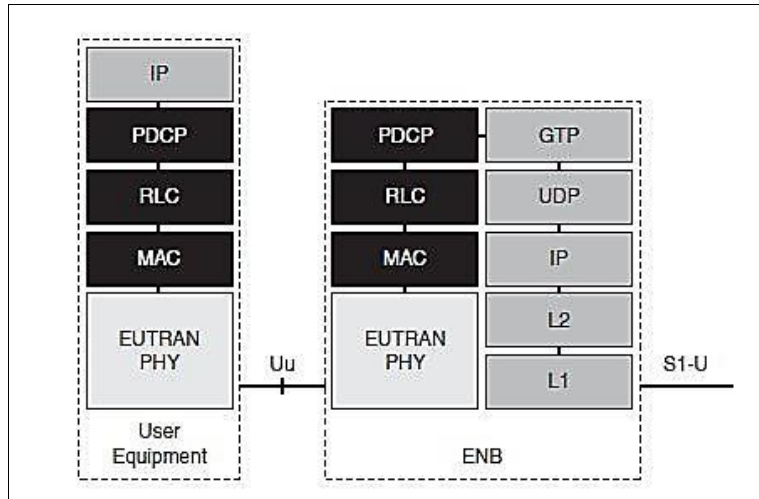
3.3.1. Nodo B Evolucionado (eNodeB)

El eNodeB es un elemento de red que puede proveer resultados de mediciones para estimar la posición y realizar mediciones de las señales de radio para un UE objetivo y comunicar esas mediciones a un E-SMLC ubicado en el EPC. La distribución de la inteligencia a los eNB es conocida como solución de distribución. Una ventaja de la solución de distribución es que el protocolo MAC responsable del *scheduling*, es representado solo en el UE y en la estación base, llevando a una comunicación y decisiones rápidas entre el eNB y el UE. En UMTS el protocolo MAC y el *scheduling* están localizados en el controlador y cuando fue introducido HSDPA, una sub-capacidad MAC adicional responsable del HSPA *scheduling* fue añadida en los NB.

El *Scheduler* o programador es un componente clave para lograr el ajuste rápido y la utilización eficiente de los recursos de radio. El intervalo de tiempo de transmisión Transmission Time Interval (TTI) es colocado a solo 1 ms. Durante cada TTI el eNB scheduler deberá realizar lo siguiente:

- Considerar el ambiente físico de radio por UE. El UE reporta su calidad de radio percibida, como una entrada al *scheduler* para decidir que modulación y esquema de codificación usará. La solución se basa en una adaptación rápida a las variaciones de los canales, implementando HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) con *soft-combining* y *rate adaptation*.
- Priorizar los requisitos de QoS entre los UE. LTE soporta servicios de tiempo real sensibles al retardo y servicios de datos que requieren altos picos de velocidad de datos.
- Informar a los UE de los recursos de radio asignados. Los eNB programan los UE en el *downlink* y en el *uplink*. Para cada UE programado en un TTI el user data será transportado en un Transport Block (TB). El DL puede ser un máximo de dos TB generados por TTI por UE si se usa multiplexación espacial. El TB es entregado en un canal de transporte. En LTE el número de canales fue reducido comparado con UMTS. Para el *user plane* hay solo un canal de transporte compartido en cada dirección. El TB enviado en el canal, puede por lo tanto contener bits de un número de servicios, multiplexados juntos.

Figura 45. **Protocolo del Plano de Usuario E-UTRAN (E-UTRAN User Plane Protocol)**

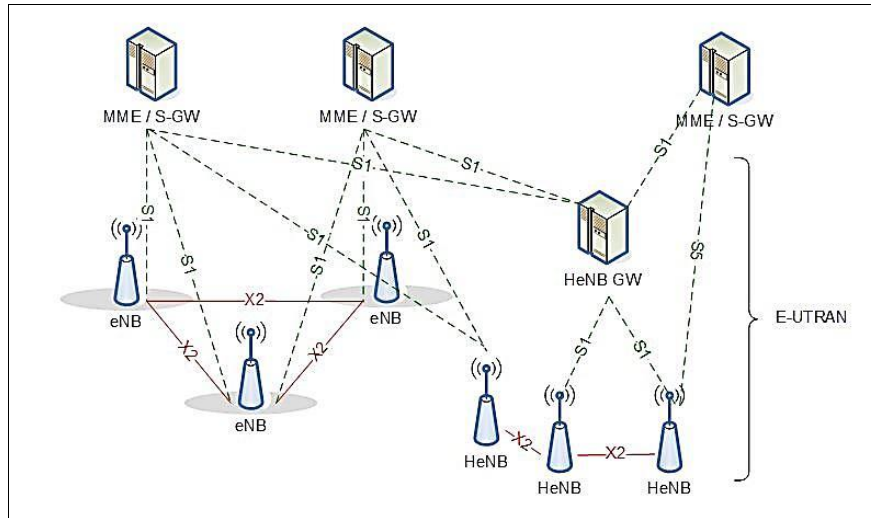


Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 109.

3.3.1.1. **Subsistema Home eNode B (Home eNodeB Subsystem - HeNS)**

El HeNS es un subsistema en LTE que consiste de un Home eNodeB (HeNB), opcionalmente tendrá un Home eNodeB Gateway (HeNB-GW) y un Local GW (L-GW). El HeNS es conectado por medio de la interfaz S1 al EPC, específicamente por la interfaz S1-MME hacia el MME y por la interfaz S1-U hacia el S-GW. Un HeNB es un equipo CPE; Customer-Premises Equipment que ofrece cobertura E-UTRAN. El HeNB-GW es un *Gateway* opcional a través del cual el HeNB accede a la red de core. El HeNB-GW permite a la interfaz S1 entre el HeNB y el EPC soportar una gran cantidad de HeNB de forma escalable, sirviendo como un concentrador del Control Plane, específicamente de la interfaz S1-MME.

Figura 46. HeNS

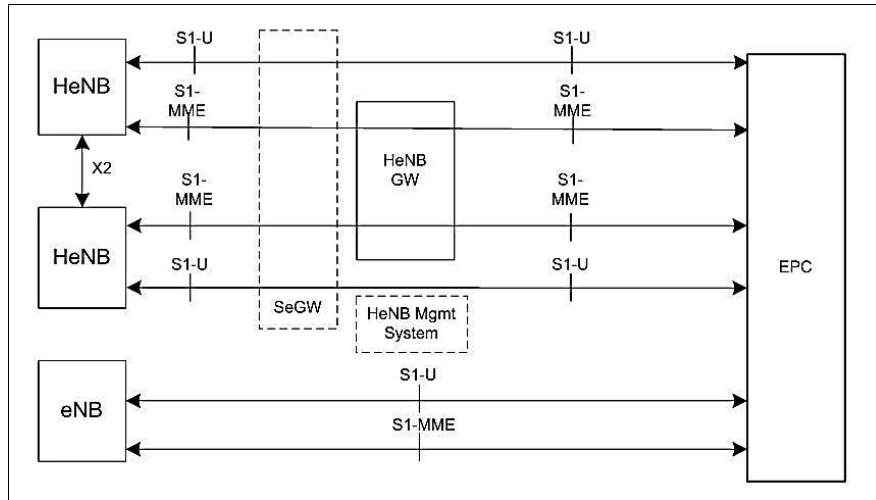


Fuente: 3GPP. TR 37.803 V11.2.0 (2013-06). Mobility enhancements for Home Node B (HNB) and Home enhanced Node B (HeNB) (Release 11). p. 11.

La interfaz S1-U del HeNB puede terminar en el HeNB-GW o puede ser usada una conexión lógica directa del User Plane entre el HeNB y el S-GW. El HeNB-GW aparenta ser un eNB para el MME y aparenta ser un MME para el HeNB. Por último el L-GW es un *gateway* hacia las redes IP, por ejemplo redes residenciales del operador o empresariales e internet, el L-GW está asociado al HeNB. El L-GW puede estar colocado con el HeNB o puede ser un GW independiente con el S-GW y L-GW yuxtapuestos, residiendo en la red local.

Los HeNBs se introdujeron principalmente para proveer cobertura en interiores, como hogares, centros comerciales u oficinas. El HeNB es un eNB de baja potencia que puede ser usado en *small cells* y *femto cells*. Normalmente estas son propiedad del cliente, se despliegan sin una planificación de la red del operador y se conectan al EPC del operador.

Figura 47. **Arquitectura HeNS**



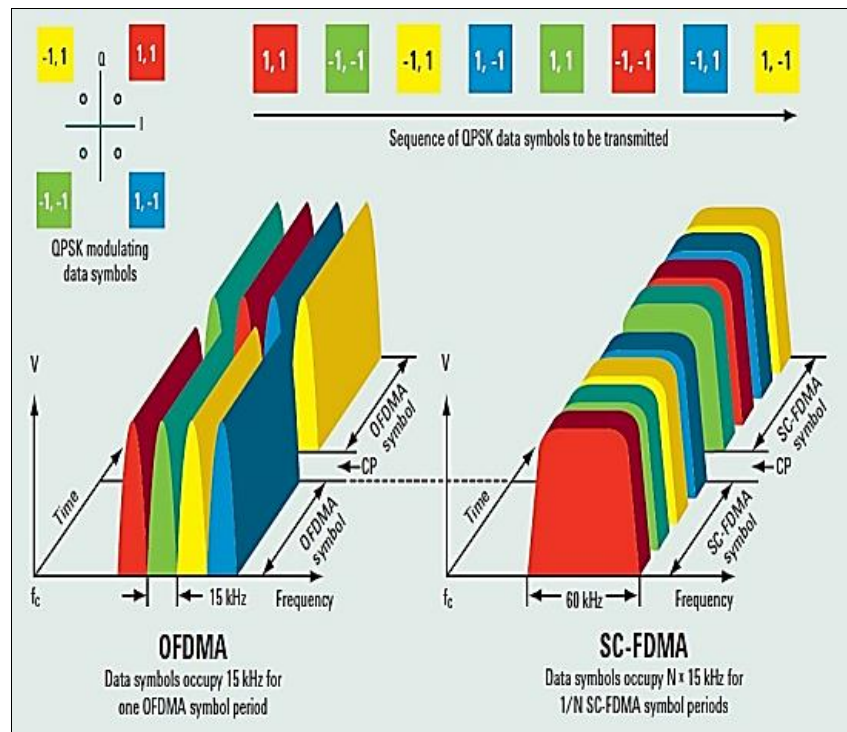
Fuente: 3GPP. TR 37.803 V11.2.0 (2013-06). Mobility enhancements for Home Node B (HNB) and Home enhanced Node B (HeNB) (Release 11). p. 13.

3.3.2. **Técnica de acceso en LTE**

LTE utiliza Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM), OFDM es un subconjunto de la multiplexación por división de frecuencia en el que un único canal usa varios subcanales en frecuencias adyacentes. Los subcanales en un sistema OFDM son precisamente ortogonales entre sí, lo que permite que los subcanales se superpongan sin interferirse. Como resultado, los sistemas OFDM pueden maximizar la eficacia espectral sin causar interferencia en los canales adyacentes. Esto facilita que la estación receptora pueda interpretar correctamente la señal. Debido a que OFDM usa subcanales, el uso de canales es muy eficaz. Una serie de sistemas de comunicación utilizan OFDM, por ejemplo los estándares 802.11a/g/n/ac de wifi.

OFDM es una tecnología de múltiples portadoras, subdividiendo el ancho de banda disponible en varias subportadoras de banda estrecha mutuamente ortogonales, para conseguir una eficiencia del espectro de radio y para permitir un *scheduling* eficiente en el dominio del tiempo y de la frecuencia fue elegido el enfoque de múltiples portadoras para el acceso múltiple, en el *downlink* en LTE se utiliza OFDMA y para el *uplink* se utiliza SC-FDMA.

Figura 48. **OFDMA y SC-FDMA**



Fuente: *IP multimedia subsystem*. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/lms_overview-2.png. Consulta: 2 de abril de 2015.

3.3.2.1. OFDMA

Para el *downlink*, OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) es la técnica elegida. En OFDMA las subportadoras pueden ser compartidas entre múltiples usuarios. La solución OFDMA lleva a una relación de potencia de valor pico a promedio PAPR (Peak-to-Average Power Ratio) alta. Esto requiere amplificadores de potencia de alto costo con altos requerimientos de linealidad, ya que incrementa el consumo de potencia para el emisor. Por lo que no es un problema para el eNB pero sería muy costoso para un UE.

3.3.2.2. SC-FDMA

La solución para el *uplink* es SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access). SC-FDMA también es conocida como DFT spread OFDMA, DTF es Discrete Fourier Transform. En SC-FDMA se genera una señal con características de una sola portadora, por lo que tiene bajo PADR.

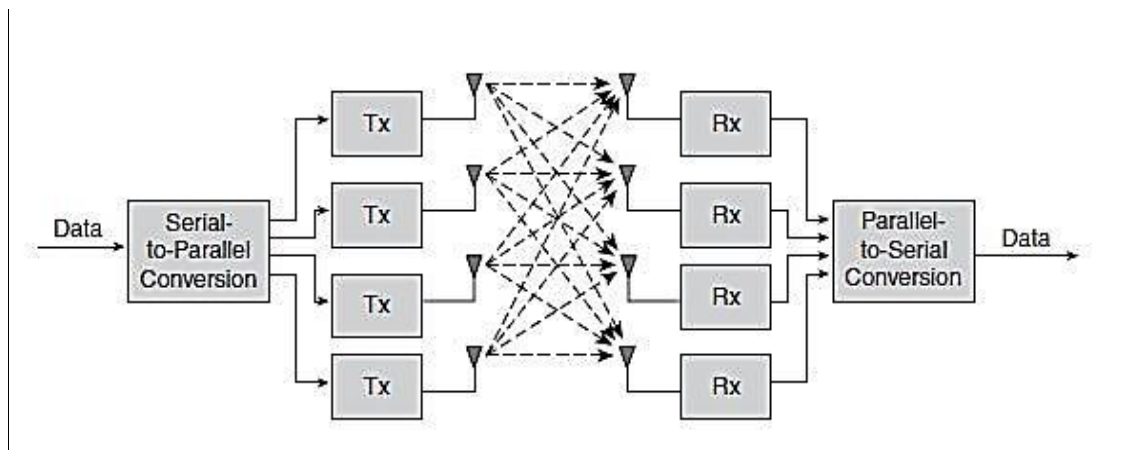
3.3.2.3. MIMO

Los estándares de radio de LTE usan la tecnología MIMO para aumentar el ancho de banda disponible. Multiple-Input Multiple-Output; MIMO es una técnica de multiplexación espacial. La multiplexación espacial es una técnica que busca influenciar los componentes de múltiples trayectos de los canales de radio, usando cada trayecto como un canal independiente para permitir que múltiples *stream* de datos sean transmitidos a la misma frecuencia pero sobre diferentes canales espaciales.

La multiplexación espacial requiere múltiples antenas transmisoras y receptoras para su operación. Específicamente, MIMO usa varias antenas para intercambiar más datos de los que sería posible intercambiar mediante una única antena. Se pueden usar hasta cuatro antenas para aumentar el rendimiento, por lo que con una sola antena, en el R8 de 3GPP se logra alcanzar los 75 Mbps, con MIMO 2X2 se alcanzan 150 Mbps y con MIMO 4X4 se alcanzan los 300 Mbps.

Las mejoras de capacidad de la multiplexación espacial requieren cierto SINR; Signal-to-Interference-and-Noise Ratio, esto permite que los valores suficientemente altos de SINR en los *stream* paralelos logren un incremento total en el *throughput*, el valor de SINR debe ser mayor a 12 dB para conseguir la ganancia deseada por la multiplexación espacial.

Figura 49. **Funcionamiento de MIMO**

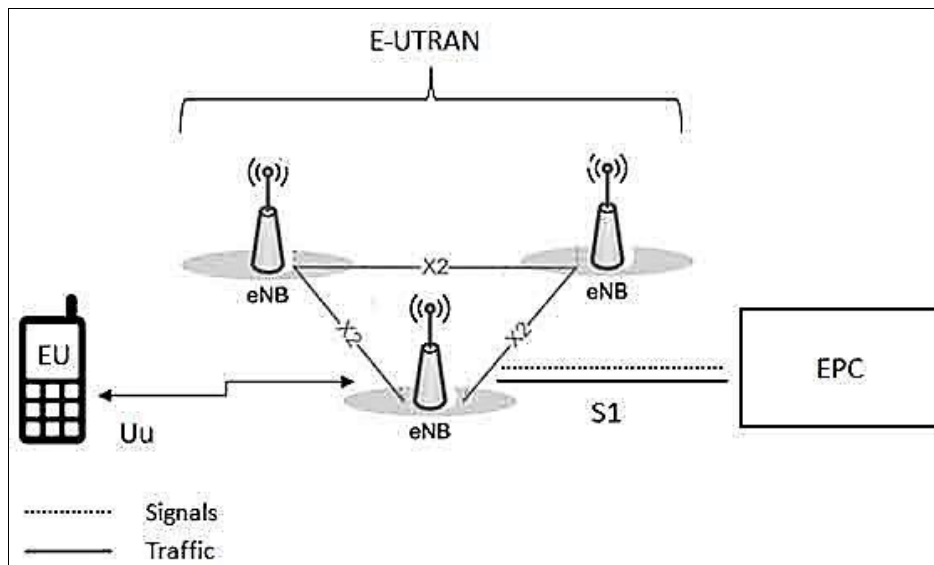


Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 36.

3.3.3. Interfaces en LTE

La red de LTE consiste de varios eNodeB. Estos están conectados entre sí por medio de la interfaz X2. La interfaz de LTE hacia el EPC es llamada S1 y va hacia el MME y el S-GW. Adicionalmente la interfaz entre un eNodeB y el UE es también llamada Uu como en UMTS.

Figura 50. Interfaces en LTE



Fuente: *Index of images*.

http://www.tutorialspoint.com/lte/images/lte_e_utran.jpg. Consulta: 9 de abril de 2015.

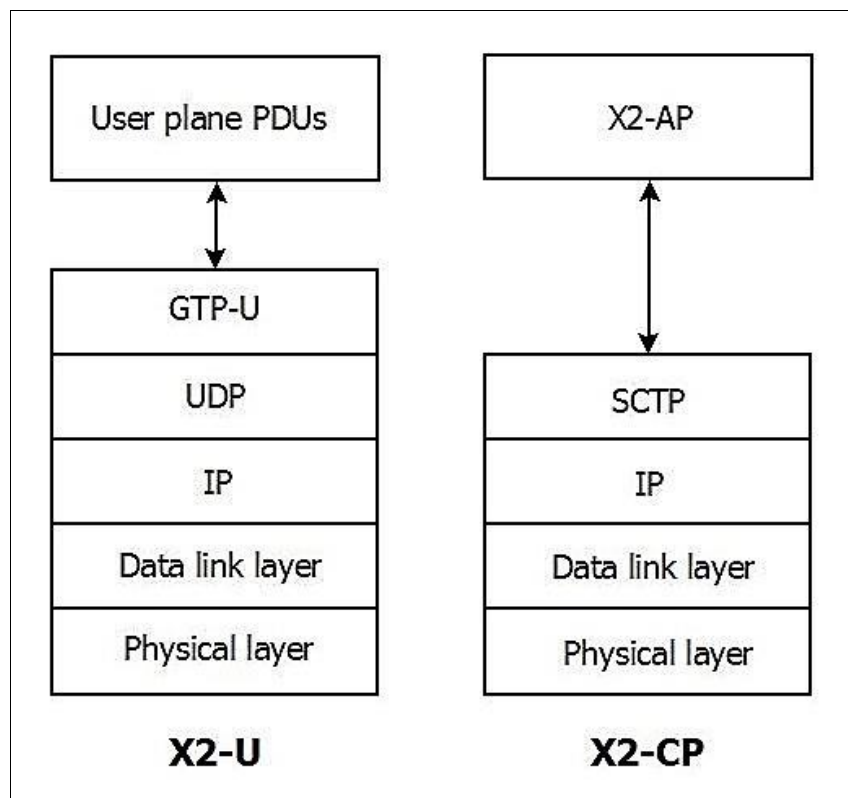
3.3.3.1. Interfaz X2

La interfaz X2 se divide en dos funciones importantes, X2-U para el User Plane y X2-CP para el Control Plane. La interfaz X2-U también conocida como X2-UP es definida como la interfaz entre los eNB. X2-U provee entrega no garantizada de los PDU del User Plane. En el *stack* de protocolos del User

Plane en X2-U, la capa de red de transporte se construye sobre el transporte IP y se usa GTP-U arriba de UDP/IP para transportar los PDU del User Plane.

La interfaz X2-CP es definida entre dos eNB vecinos. En el *stack* de protocolos del Control Plane de la interfaz X2, la capa de red de transporte se construye sobre SCTP arriba de IP. El protocolo de señalización en la capa de aplicación es X2-AP (X2 Application Protocol). Entre las funciones de la interfaz X2-CP están, la transferencia de contextos de un eNB fuente a un eNB objetivo, control de túneles del User Plane entre eNB, cancelación de Handover, administración de la carga, entre otras.

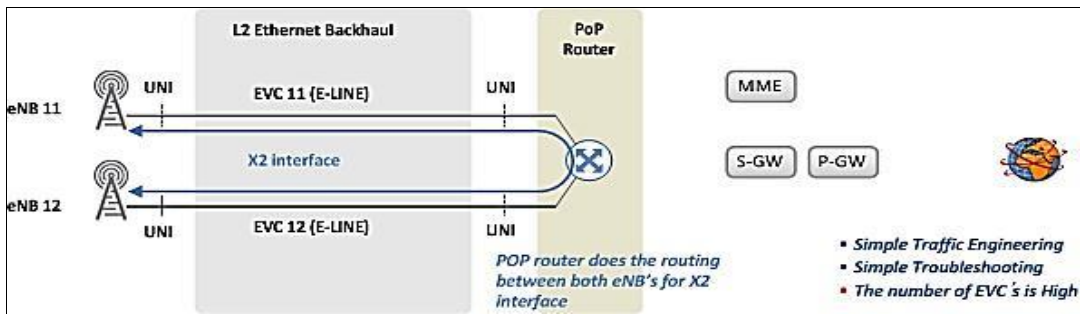
Figura 51. **Pila de protocolos de la interfaz X2**



Fuente: elaboración propia.

Para proveer la interfaz X2 entre eNB se utilizan equipos funcionando a nivel de capa 2, estos pueden ser Switch o Router que provean la conectividad entre los eNB para apoyar en los procesos de Handover y de *tunnelling*. Cuando se utiliza Router se conoce como Backhaul con E-LINE por medio de un PoP Router y cuando se utiliza Switch se conoce como Backhaul con E-LAN. Backhaul es el término aplicado para los procesos de retorno del DL del User Plane.

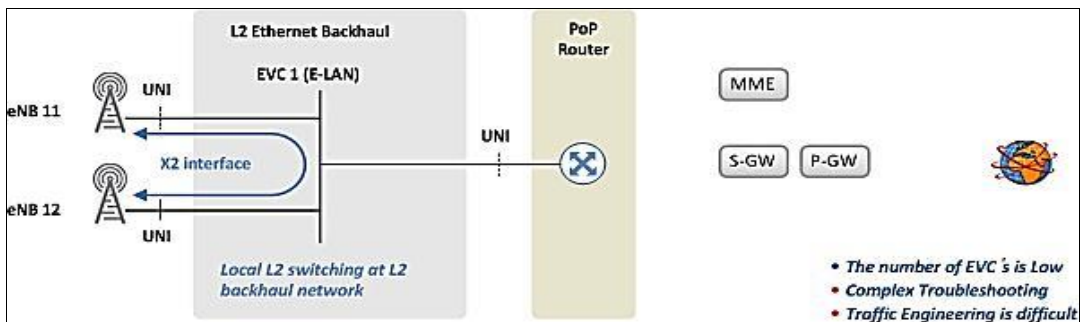
Figura 52. **Backhaul con E-LINE**



Fuente: *Index of images*

http://www.tutorialspoint.com/lte/images/lte_e_utran.jpg. Consulta: 9 de abril de 2015.

Figura 53. **Backhaul con E-LAN**



Fuente: *Index of images*

http://www.tutorialspoint.com/lte/images/lte_e_utran.jpg. Consulta: 9 de abril de 2015.

3.3.3.2. Interfaz S1

La interfaz S1 también se divide en dos funciones importantes, S1-U para el User Plane y S1-MME para el Control Plane, estas interfaces pueden estar ubicadas de la siguiente forma:

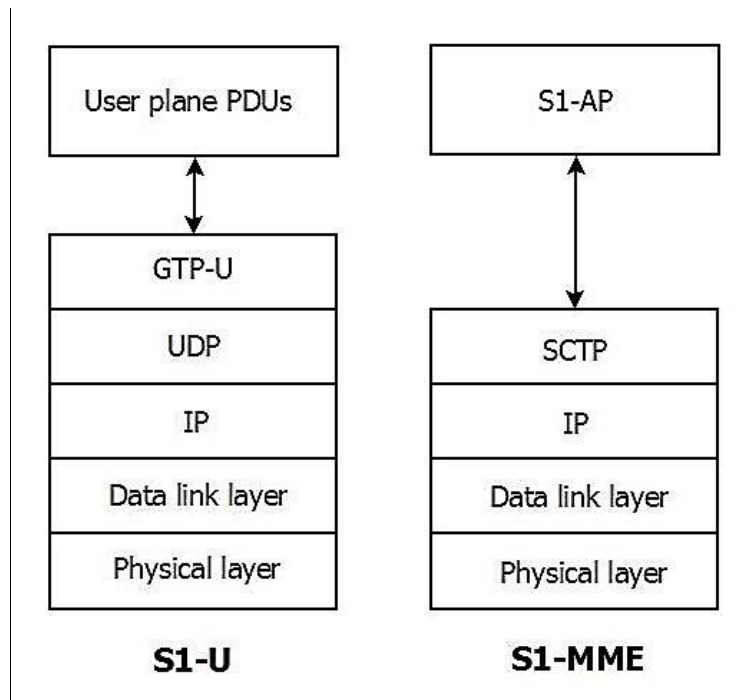
- Entre un HeNB-GW y la red de Core
- Entre un HeNB y el HeNB-GW
- Entre HeNB y la red de Core
- Entre los eNB y la red de Core

La interfaz del User Plane S1-U es definida originalmente entre el eNB y el S-GW. Esta interfaz provee entrega no garantizada para los PDU del user plan entre eNB y S-GW. La capa de transporte se construye sobre el transporte IP y se usa GTP-U arriba de UDP/IP para transportar los PDU del User Plane. Es por esta interfaz donde se transmiten los servicios de datos que necesita acceder el usuario. El *stack* de protocolos en esta interfaz es idéntico al de la interfaz X2-U.

La interfaz del Control Plane S1-MME en algunos documentos aparece también como S1-CP, esta es definida entre el eNB y el MME. El protocolo transporte de la capa de red se construye sobre el transporte IP, el *stack* de protocolos es similar al del User Plane, pero con transporte confiable de los mensajes de señalización SCTP agregado arriba de IP. El protocolo de señalización de la capa de aplicación es S1-AP (S1 Application Protocol. La capa SCTP provee la entrega garantizada de los mensajes de la capa de aplicación.

La interfaz S1 tiene múltiples funciones, entre las que están, Handover, *paging*, múltiples funciones de NAS, funciones de administración, funciones de compartición de red, balanceo de carga de MME, entre otras.

Figura 54. **Stack de protocolos de S1**



Fuente: elaboración propia.

3.3.4. **LTE Avanzado (LTE-Advanced)**

Debido a los requerimientos de ITU para considerar a un sistema de telefonía móvil como de cuarta generación, fueron desarrolladas las recomendaciones ITU-R para IMT-Advanced donde el principal requerimiento es lograr picos de velocidad de datos de 100 Mbps en despliegues de alta movilidad y 1 Gbps en ambientes de baja movilidad. 3GPP definió por ello LTE-

Advanced, enfocándose en incrementar las capacidades de LTE. En el Release 10 se definieron las características que llevan a LTE hacia LTE-Advanced. R10 provee altas velocidades de bit en una manera eficiente y al mismo tiempo se cumplen los requerimientos fijados por ITU para IMT-Advanced, conocido como 4G. Entre los avances de LTE-Advanced se logró:

- Incrementar las velocidades de datos pico, 3 Gpbs en DL y 1,5 Gpbs en UL.
- Alta eficiencia del espectro, desde un máximo de 16 bps/Hz en R8 hasta 30 bps/Hz en R10.
- Incrementar el número de suscriptores activos simultáneamente.
- Mejorar el desempeño al borde de las celdas, por ejemplo, para un DL con MIMO 2x2 al menos 2,40 bps/Hz/celda.

Entre las nuevas funcionalidades introducidas en LTE-Advanced se tienen la agregación de portadora (CA), mejoras en las técnicas de múltiples antenas y el soporte de nodos relevadores (RN).

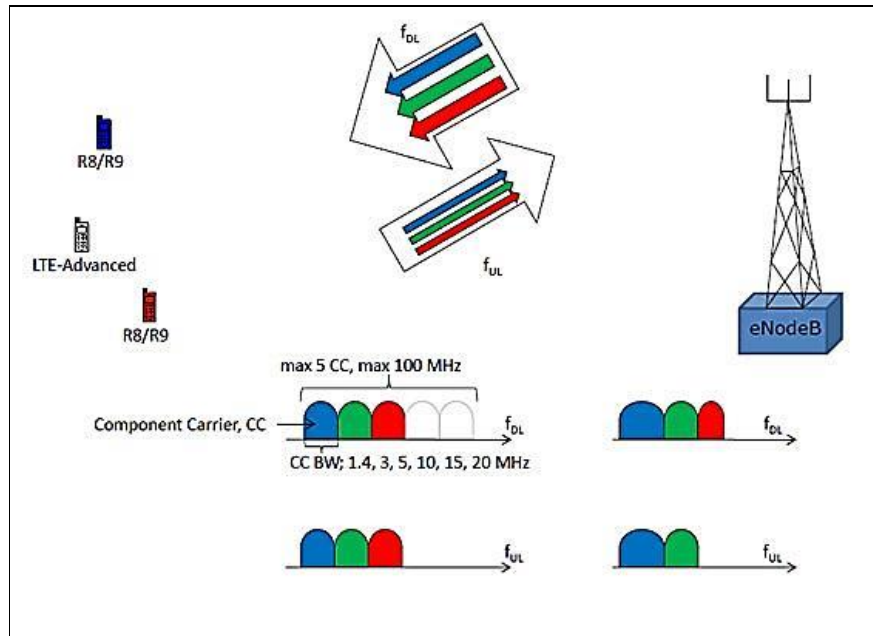
3.3.4.1. Agregación de Portadoras (Carrier Aggregation)

Debido a que la forma más sencilla de incrementar la capacidad es agregar más ancho de banda, en LTE-Advanced para incrementar el ancho de banda se aplica la agregación de portadoras R8/R9, esto para mantener compatibilidad con equipos de R8 y R9. Esta agregación puede ser usada tanto para FDD como para TDD. Cada portadora agregada se refiere a una portadora componente o Component Carrier (CC). La portadora puede tener un ancho de banda de 1.4, 3, 5, 10, 15 o 20 MHz y es posible agregar un máximo de cinco portadoras, por lo que el ancho de banda máximo es de 100 MHz.

El número de portadoras agregadas puede ser diferente entre el DL y el UL. No obstante, el número de portadoras componente en el UL no será mayor que el número de portadoras componente del DL. Las portadoras componente individuales pueden además ser de diferentes anchos de banda. La forma más fácil de organizar la agregación es usar CC contiguas dentro de la misma banda de frecuencia de operación, este método se llama *intra-band* contiguo, para escenarios donde no es posible conseguir que las CC sean contiguas pero que pertenecen a la misma banda de frecuencia de operación se usa *intra-band* no contiguo ya que habrán espacios entre las CC y cuando las CC sean de diferente banda de frecuencia se usara *inter-band* no contiguo.

Cuando se usa la agregación de portadora, hay un número de celdas de servicio (*servicing cells*), una por cada CC. La cobertura de las *Servicing Cells* puede ser diferente, debido por ejemplo a las componentes de frecuencia de portadora. La conexión RRC es mantenida por una celda, llamada *Primary Servicing Cell* (PSC), provista por la CC primaria tanto del DL como del UL (PCC). Las otras CC nombradas como *Secondary Component Carrier* (DL y UL SCC) proveerán las *Secondary Servicing Cells* (SSC). La introducción de la agregación de portadora influenció principalmente la capa MAC y el protocolo de capa física, pero solo el *buffer* de RLC debe ser más grande y RRC debe poder tomar decisiones sobre agregar y remover las SCC.

Figura 55. **Agregación de portadoras**



Fuente: *IP multimedia subsystem*. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/lms_overview-2.png. Consulta: 9 de abril de 2015.

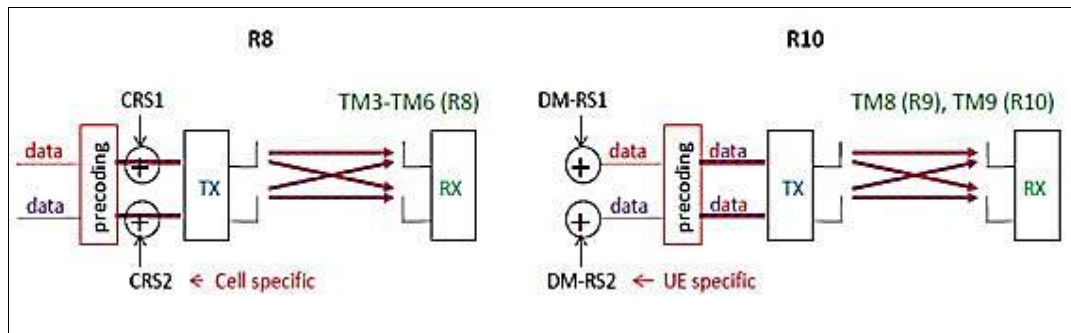
3.3.4.2. **Técnica MIMO en LTE Advanced**

Debido a que uno o dos *transport block* son transmitidos por TTI en LTE, con LTE-Advanced se dio una mejora por la introducción de MIMO 8x8 en el DL y 4x4 en el UL. MIMO puede ser usado cuando la relación señal a ruido S/N es alta por ejemplo en canales de radio con alta calidad. Para situaciones con bajo S/N es preferible usar otro tipo de técnica multiantena para mejorar la relación S/N, un ejemplo es por medio de diversidad de transmisor (TX-diversity), donde la misma señal es transmitida por múltiples antenas en el transmisor hacia una sola antena en el receptor. MIMO es recomendado solo en escenarios con una alta relación S/N.

En las técnicas multiantena se usa la pre-codificación o *precoding* para mapear los símbolos de modulación en las diferentes antenas. El tipo de *precoding* depende de la técnica multiantena usada así como del número de capas y el número de puertos de antena. El objetivo del *precoding* es conseguir la mejor recepción de datos posible en el receptor. La señal puede ser influenciada por el desvanecimiento de varias formas, lo cual también puede ser visto como un tipo de codificación causado por el canal de radio. Para encargarse de esto, se transmiten señales de referencia conocidas junto con los datos, y son usadas por el receptor para la demodulación de la señal recibida.

En el R8, la señal de referencia se agrega a la señal después del *precoding*, un Cell-specific Reference Signal (CRS) es usado por antena. Del CRS recibido, el UE estima como el canal de radio pudo influenciar la señal. Usando esto, junto con el conocimiento del *precoding* basado en *code-book*, el UE puede demodular la señal recibida y regenerar la información enviada. En R10, las señales de referencia Demodulation Reference Signal (DM-RS) son agregada a los diferentes *stream* de datos antes del *precoding*. El conocimiento de la señal de referencia informará la influencia del canal de radio combinado con el *precoding* y no será necesario conocer la pre codificación en el receptor, esto es conocido como *precoding* basado en *non-codebook*.

Figura 56. **Técnicas MIMO y Precodificación (Precoding) en LTE Advanced**



Fuente: *Index of /images.*

http://www.tutorialspoint.com/lte/images/lte_e_utran.jpg. Consulta: 9 de abril de 2015.

3.3.4.3. **Nodos Relevadores (Relay Nodes)**

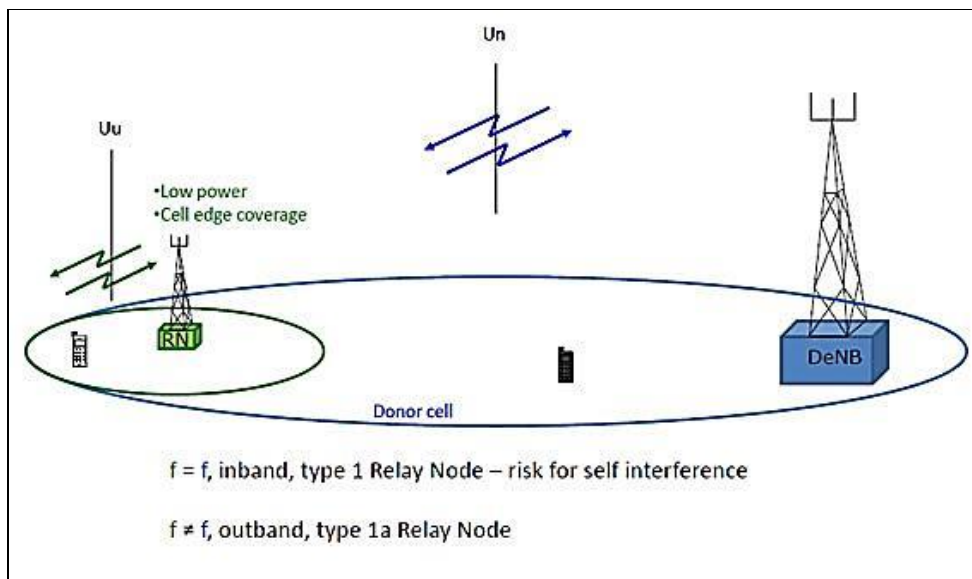
En LTE-Advanced, se incrementa la posibilidad de planificación de una red heterogénea eficiente, como una mezcla de celdas grandes y pequeñas. Por medio de la implementación de Relay Nodes (RN), estos nodos son estaciones base de baja potencia que pueden mejorar la cobertura y capacidad en los límites de las celdas, también brindan áreas de tipo *hot-spot*, estas áreas son habilitadas temporalmente en puntos estratégicos. Los RN pueden ser usados para conectarse a áreas remotas sin conexiones de fibra óptica.

Un RN se conecta a una radio base, ahora llamada Donor eNB (DeNB) por medio de la interfaz de radio Un, la cual es una modificación de la interfaz de radio Uu de E-UTRAN. Dentro de las Donor cell, los recursos de radio son compartidos entre los UE atendidos directamente por los DeNB y los RN. Cuando la interfaces Uu y Un usan diferentes frecuencias, se hace referencia al RN como un RN de tipo 1a, y cuando se usan iguales frecuencias el RN es de

tipo 1. El último caso tiene un alto riesgo de auto interferencia en el RN, cuando está recibiendo por la interfaz Uu y transmitiendo por la interfaz Un simultáneamente. Esto se evita por medio del *time sharing* entre Uu y Un, o teniendo diferentes ubicaciones para el transmisor y el receptor en el RN.

El RN puede soportar muchas de las funcionalidades de un Enb; sin embargo, el DeNB será el responsable de la selección del MME. Cuando el UE se encuentra en los límites de una Donor cell, se conecta al RN por medio de la interfaz Uu, y cuando se acerca al DeNB se encuentra conectado directamente al DeNB por medio de una interfaz Uu. Cuando las frecuencias usadas en Un y Uu son diferentes se dice que están fuera de banda (*outband*) y cuando las frecuencias son iguales, están en banda (*inband*).

Figura 57. **Operación con Relay Node**



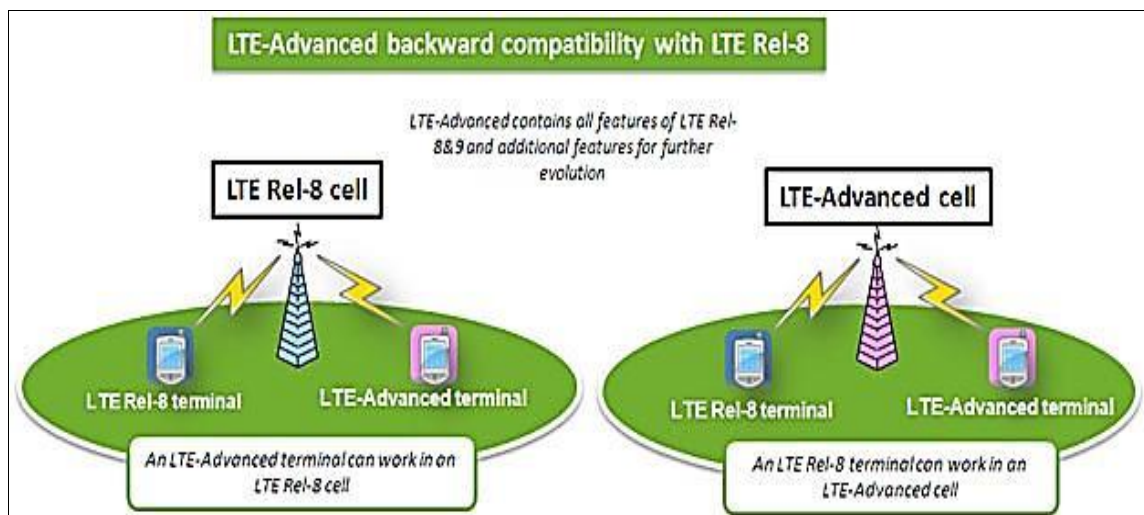
Fuente: *Index of /images*.

http://www.tutorialspoint.com/lte/images/lte_e_utran.jpg. Consulta: 9 de abril de 2015.

3.3.4.4. Compatibilidad en LTE

El principal enfoque en un Release de 3GPP es hacer al sistema compatible hacia atrás y hacia adelante siempre que sea posible. Esto significa que un sistema de tener compatibilidad con las tecnologías previas y las tecnologías posteriores para asegurar que la operación del UE se mantenga ininterrumpida. Por lo que este principio fue aplicado por los grupos de trabajo de 3GPP para mantener compatibilidad entre LTE y LTE-Advanced, permitiendo que una terminal LTE-A pueda funcionar en una celda LTE y una terminal LTE pueda funcionar en una celda LTE-A.

Figura 58. **Compatibilidad entre radio bases LTE**



Fuente: *Index of /images.*

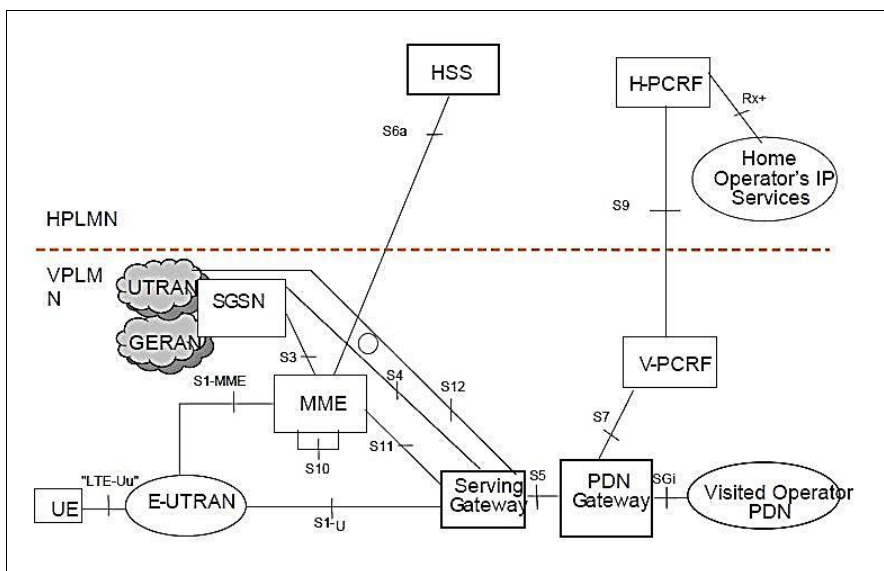
http://www.tutorialspoint.com/lte/images/lte_e_utran.jpg. Consulta: 9 de abril de 2015.

3.4. Núcleo de Paquetes Evolucionado (Evolved Packet Core)

El EPC es la última evolución de la arquitectura de la red de core 3GPP. EPC fue introducido por 3GPP en el Release 8. Cuando se diseñó la evolución de los sistemas de tercera generación, la comunidad de 3GPP decidió utilizar IP como el protocolo principal para transportar todos los servicios. Por lo tanto también fue acordado que EPC no tendría dominio CS y sería una evolución de la arquitectura de PS usada en GPRS y UMTS. Esta decisión tuvo consecuencias en la arquitectura y en la manera en que los servicios son ofrecidos. El uso tradicional de circuitos para transportar la voz y los servicios de mensajes cortos necesitará ser reemplazado por soluciones basadas en IP a largo plazo.

En EPC se tiene una arquitectura plana con el enfoque de SAE, la idea de esto es manejar el tráfico de datos (*payload*) eficientemente desde una perspectiva de rendimiento y costos. Pocos nodos están involucrados en el manejo del tráfico y se evita la conversión de protocolos. Adicionalmente se decidió separar los datos de usuario en el UP de la señalización en el CP para hacer el escalamiento independiente. Con esta división, los operadores pueden dimensionar y adaptar sus redes fácilmente. EPC se compone de cuatro elementos principales; S-GW, P-GW, MME y HSS. El EPC está conectado a la red de acceso LTE E-UTRAN para los UE y a redes externas entre las que se puede incluir el IMS.

Figura 59. **Nodos del EPC**



Fuente: 3GPP. TS 23.401 V8.0.0 (2007-12). *General Packet Radio Service. (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (Release 8)*. p.13.

3.4.1. Servidor de Subscriber Local (HSS)

El Home Subscriber Server (HSS) es una base de datos que contiene información relacionada al usuario y a los suscriptores. Adicionalmente provee funciones de soporte en la administración de la movilidad, el establecimiento de llamadas y sesiones, autenticación de usuario y autorización de acceso. El HSS está basado en el HLR y AuC definidos en el pre-3GPP Release 4. Un HSS es una base de datos principal para un usuario dado, conteniendo información relacionada a la suscripción para dar soporte a las entidades en la red que mantienen las llamadas y sesiones. En la red de un operado puede haber uno o más equipos HSS, dependiendo del número de suscriptores, la capacidad del equipo y en la organización de la red.

Un ejemplo de las funciones del HSS es proveer soporte a los servidores que controlan las llamadas, con el fin de completar los procedimientos de enrutamiento y *roaming* por medio de la resolución de la autenticación, la autorización, resolución de nombres y direcciones, entre otros.

3.4.1.1. Responsabilidades del HSS

El HSS es responsable de mantener la información relacionada con el usuario, entre estas se tienen:

- Identificación del usuario, información de numeración y direccionamiento.
- Información de seguridad del usuario: información de control de acceso a la red para la autenticación y autorización.
- Información de localización de usuario a un nivel interno del sistema: el HSS soporta el registro de usuarios y almacena la información de localización dentro del sistema.
- Información del perfil de usuario.

El HSS adicionalmente puede generar información de seguridad de usuario para la autenticación mutua, verificación de integridad de la comunicación y cifrado. Basado en esta información, el HSS también es responsable de soportar el control de las llamadas y las entidades de administración de sesiones de los diferentes dominios y subsistemas del operador, como el dominio PS y el IMS.

3.4.1.2. Funcionalidades del HSS

El HSS puede integrar información heterogénea y permitir características mejoradas en la red de Core para ser ofrecidas al dominio de aplicaciones y servicios, ocultando al mismo tiempo esta heterogeneidad. El HSS está provisto de las siguientes funcionalidades:

- Funcionalidad multimedia IP para proveer soporte a las funciones de control del IMS como del CSCF. Esto es necesario para permitir al suscriptor el uso de los servicios de la CN del IMS. La funcionalidad multimedia IP es independiente de la red de acceso usada para acceder al CN del IMS.
- El subconjunto de funcionalidades de HLR/AUC requeridas por el dominio PS de GPRS y EPC.
- El subconjunto de funcionalidades de HLR/AUC requerido por el dominio CS, si se desea permitir a los suscriptores el acceso al dominio CS o para soportar el *roaming* a las redes heredadas del dominio CS como GSM/UMTS.
- La organización de los datos de suscriptor, como números, direcciones e identificadores almacenándolos en el HSS.

3.4.2. Entidad de Administración de Movilidad (MME)

Mobility Management Entity (MME) trata con el Control Plane. Este mantiene la señalización relacionada con la movilidad y la seguridad para el acceso E-UTRAN. El MME es responsable del seguimiento y *paging* del UE en el modo idle. El MME es el punto de terminación del NAS.

3.4.2.1. Funciones del MME

El MME es la entidad del Control Plan dentro del EPS que soporta las siguientes funciones de administración de movilidad:

- Señalización NAS y seguridad.
- Señalización interna entre nodos de CN para la movilidad entre redes de acceso 3GPP.
- Administración del listado de Tracking Area.
- Selección del PDN GW y Serving GW.
- Selección de SGSN para handover hacia redes de acceso 3GPP 2G o 3G.
- *Roaming.*
- Autenticación.
- Funciones de administración de portadoras incluyendo el establecimiento de portadoras dedicadas.
- Intercepción legal del tráfico de señalización.
- Selección de nodos de acceso HRPD y mantenimiento para Handover hacia HRPD.
- Transferencia transparente de mensajes de señalización HRPD y transferencia de información de estado entre los accesos E-UTRAN y HRPD.
- Transferencia transparente de los mensajes de señalización RIM entre los accesos E-UTRAN y HRPD.

3.4.2.2. Responsabilidades del MME

Existen varios procedimientos de transferencia de información entre el SGSN, el MME y el HSS estos se pueden encontrar en las especificaciones técnicas de 3GPP TS 23.401 [76] y TS 23.060 [9a]. Una de las responsabilidades del MME es el soporte del CS fallback, en este proceso el MME es responsable de lo siguiente:

- Derivar el número de VLR y LAI del TAI.
- Mantener las asociaciones SGs hacia la MSC/VLR para el UE enganchado o *attach* al EPS/IMSI.
- Iniciar el *detach* de la IMSI en el EPS *detach*.
- Iniciar el procedimiento de *paging* hacia el eNodeB cuando la MSC realiza el *paging* del UE para los servicios de CS.
- Soporte de procedimientos de SMS para el CS Fallback.

Cuando el MME soporta el inter funcionamiento del CS de 3GPP, el MME realizará las siguientes funcionalidades:

- Desarrollar la función de división de portadoras PS por medio de la separación de portadoras PS de voz de las portadoras PS sin voz.
- Manejar el Handover de las portadoras PS sin voz con la celda destino de acuerdo al procedimiento de Inter RAT Handover.
- Iniciar el procedimiento SRVCC Handover para el Handover de la componente de voz hacia la celda destino.
- Coordinar los procedimientos de PS Handover y SRVCC Handover cuando se desarrollan ambos procedimientos.

3.4.3. S-GW

Los *Gateway* (Serving GW y PDN GW) trabajan con el user plane. Estos Gateway transportan el tráfico de datos IP entre el UE y las redes externas. El Serving GW es nombrado comúnmente como S-GW, este es el punto de interconexión entre la parte de radio y el EPC. El S-GW sirve al UE por medio del enrutamiento de los paquetes IP entrantes y salientes. Este es el punto de anclaje para la movilidad intra-LTE, por ejemplo en el Handover entre eNB, adicionalmente funciona entre LTE y otros accesos 3GPP. El S-GW está conectado lógicamente al PDN GW.

El S-GW es el Gateway que termina la interfaz hacia E-UTRAN. Por cada UE asociado con el EPS, en un punto de tiempo dado, hay un único S-GW. Este Gateway no tiene soporte de conectividad con el GGSN.

3.4.3.1. Funciones del S-GW

Entre las funciones del S-GW se incluyen las siguientes:

- Ser el punto de anclaje para la movilidad en el inter-eNodeB Handover.
- Anclaje de movilidad para la movilidad inter-3GPP.
- Buffering de paquetes de DL en modo ECM-IDLE e inicio del procedimiento disparado de solicitud de servicio de red.
- Intercepción legal.
- Enrutamiento y reenvío de paquetes.
- Marcado de paquetes al nivel de transporte en el UL y DL.
- Contabilidad del usuario y granularidad QCI para el *charging* entre operadores.
- Reporte de eventos al PCRF, por ejemplo el cambio de RAT.

- Vinculación de las portadoras de UL y DL hacia los accesos 3GPP.
- Verificación de la vinculación de portadora de UL con la caída de paquetes por mal comportamiento del tráfico de UL.
- Funciones de Gateway de acceso móvil (MAG) si son usadas las interfaces S5 o S8 basadas en PMIP.
- Soporte de funciones necesarias con el fin de permitir las funciones de encadenamiento GTP/PMIP.

3.4.4. P-GW

El Packet Data Network Gateway es también nombrado PDN GW o simplemente P-GW. Este es el punto de interconexión entre el EPC y las redes IP externas. Estas redes son llamadas PDN. El P-GW enruta los paquetes hacia y desde las PDN. Adicionalmente desarrolla varias funciones como el direccionamiento IP, la colocación de prefijo IP, control de políticas y el *charging*. 3GPP especifica los Gateway del EPC independientemente, pero en la práctica estos podrían combinarse en una sola caja por los proveedores de red. El P-GW es el Gateway que termina la interfaz SGi hacia las PDN.

Cuando un UE está accediendo a múltiples PDN, puede haber más de un PG-W para ese UE. Sin embargo, una mezcla de conectividad de las interfaces S5/S8 y Gn/Gp no es soportada para ese UE simultáneamente. El P-GW provee conectividad a las PDN para los UE que son solo de GERAN/UTRAN y para UE de E-UTRAN capaces de usar cualquier acceso 3GPP. La conectividad para los UE de E-UTRAN es solo sobre la interfaz S5/S8.

3.4.4.1. Funciones del P-GW

Entre las funciones del P-GW se incluyen las siguientes:

- Filtrado de paquetes basado en usuario, por ejemplo para la inspección profunda de paquetes.
- Intercepción legal.
- Alojamiento de dirección IP de los UE.
- Marcado de paquetes al nivel de transporte en el UL y DL, por ejemplo definiendo el DiffServ Code Point basado en el QCI de la portadora EPS asociada, el DiffServ Code Point es un código usado para diferenciar los servicios de datos.
- Aplicación de la tasa de UL y DL basado en APN-AMBR.
- Funciones de servidor y cliente DHCPv4 y DHCPv6
- Protocolo de Tunnelling GPRS (GTP) para el Control Plane y el User Plane, para proveer conectividad PDN a los UE que usen accesos no 3GPP, si se usa la interfaz S2a basada en GTP o la interfaz S2b basada en GTP.

3.4.5. PCRF

Policy and Charging Rules Function (PCRF), este nodo trabaja como un punto de decisión de políticas para el control de las políticas y el *charging* a los flujos y aplicaciones de servicios de datos y recursos de portadoras IP. Cuando no hay escenarios de *roaming*, habrá un solo PCRF en la HPLMN asociada con una sesión IP-CAN de un UE. En escenarios de *roaming* con un desglose local del tráfico habrá dos PCRF asociados con una sesión IP-CAN de un UE:

- H-PCRF: reside dentro de la H-PLMN
- V-PCRF: reside dentro de la V-PLMN

Un solo PCRF puede ser implementado por medio de direcciones múltiples y separadas en el PCRF de la PLMN. En este caso, el descubrimiento y selección de PCRF estará habilitado por medio del Diameter Routing Agency (DRA). H-PLMN es la parte de la PLMN del operador que brinda servicios locales a los usuarios y la V-PLMN es la parte de la PLMN que brinda servicios de redes externas a los usuarios en la red del operador.

3.4.6. Nodos adicionales de EPC

En el EPC se pueden encontrar múltiples nodos o servidores con diferentes funciones de acuerdo a los servicios que el operador necesite brindar a sus usuarios, entre estos se puede mencionar el E-SMLC y el MBMS

3.4.6.1. Centro de Servicio de Localización Móvil Evolucionado (Evolved Serving Mobile Location Centre - E-SMLC)

Para E-UTRAN el E-SMLC es un servidor en la red de Core. El E-SMLC maneja el soporte de diferentes servicios de localización para UE objetivos, incluyendo posicionamiento de los UE y entrega de datos de asistencia a los UE. El E-SMLC puede interactuar con los eNodeB de servicio para un UE objetivo con el fin de obtener mediciones de posición del UE, incluyendo mediciones de UL realizadas por el eNodeB y mediciones de DL realizadas por el UE, las cuales son entregadas al eNodeB como parte de otras funciones como por ejemplo, para el soporte del Handover.

El E-SMLC puede interactuar con un UE objetivo con el fin de entregar datos de asistencia si son solicitados por un servicio de localización en particular, para obtener una estimación de la localización o mediciones relacionadas con la localización. El E-SMLC decide entre los métodos de posicionamiento que han de usarse, basándose en factores como el tipo de cliente LCS, el QoS requerido, capacidades de posicionamiento del UE y capacidades de posicionamiento del eNB. El E-SMLC invoca los métodos de posicionamiento en el UE o el eNB, luego combina los resultados obtenidos para determinar un único dato estimado de localización, esto es conocido como posicionamiento híbrido.

3.4.6.2. Servicio de Difusión y Multidifusión de Multimedia Broadcast Multicast Service - MBMS)

El MBMS es usado para proveer información de *broadcast* a todos los usuarios, por ejemplo advertencias y *multicast* a un grupo cerrado suscrito a servicios específicos como *streaming* de TV. Este es un servicio punto a multipunto, en el cual los datos son transmitidos desde una sola entidad de origen hacia múltiples receptores, para el despliegue del MBMS se hace necesario un Multi-cell/multicast Coordination Entity (MCE) y un E-MBMS Gateway (MBMS GW), para mayor desarrollo técnico de este nodo se tiene el TS 23.246 [70].

3.4.7. Interfaces en 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.

3.4.7.1. Interfaz S6a

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.

3.4.7.2. 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.

3.4.7.3. Interfaz S11

Esta interfaz es usada para soportar la movilidad y la administración de portadoras entre el MME y el S-GW.

3.4.7.4. Interfaz S10

Esta interfaz es usada para soportar la información de usuario transferida y la reubicación de MME soportada por los MME.

3.4.7.5. 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 *non-roaming*, por ejemplo S8 es la variante de S5 para el inter PLMN.

3.4.7.6. 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.

3.4.7.7. 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.

3.4.7.8. Interfaz SGs

Esta interfaz se encuentra entre la MSC/VLR y el MME. Esta interfaz 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), esta interfaz 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.

3.4.7.9. 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. Funcionalidades y protocolos de comunicación en LTE

En LTE al igual que en GSM y UMTS se busca brindar el acceso a la red a los terminales en todo momento, para ello los eNB mantienen mediciones del nivel de señal de un UE y cuando es necesario se realizan los procedimientos de *_Handover* entre los eNB para mantener la continuidad de las sesiones, cuando no es posible seguir brindando la tecnología EUTRAN a un UE se tienen soluciones para realizar el cambio de tecnologías con el menor impacto posible en el *user plane*.

3.5.1. Funcionalidades de una red LTE

Entre las funciones que realiza la red LTE se pueden tener varias funcionalidades, entre las más importantes se pueden mencionar Tracking Area, Tunnelling, Portadora dedicada, procedimientos de Handover y soluciones para el cambio de tecnología de acceso a la red. En cada funcionalidad se verá involucrada una o más interfaces de la red LTE o del EPC y habrá intercambios de información de señalización en el Control Plane para tomar las decisiones necesarias para mantener los datos del User Plane sin un mayor impacto perceptible por el usuario o por las aplicaciones del UE.

3.5.1.1. TA

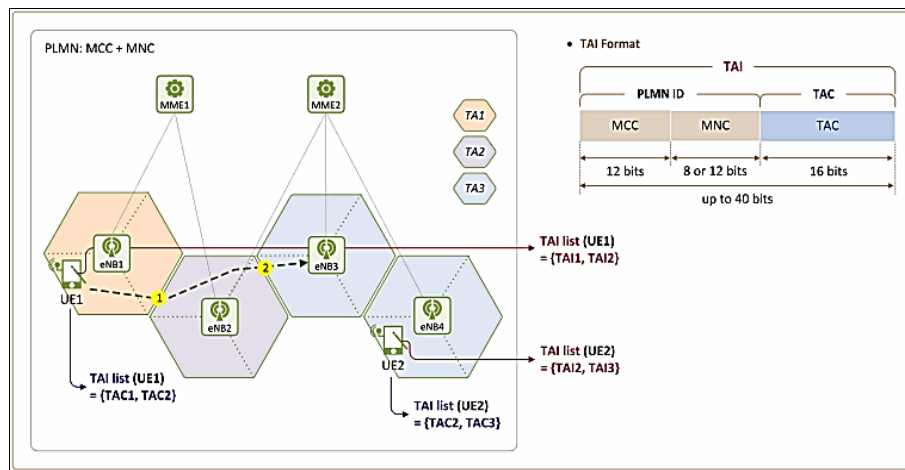
Tracking Area (TA) es un identificador para la ubicación de un UE específico dentro de la red del operador, este es un concepto similar al Location Area usado en las tecnologías GSM y UMTS para identificar la ubicación de un MS o UE. En LTE el TA se configura en el MME identificando la última ubicación del UE. Una TA incluye una o varias celdas E-UTRAN. La red aloja un listado que puede contener una o más TA para el UE. En ciertos modos de operación, el UE puede movilizarse libremente en todas las TA del listado sin actualizar la información del MME.

Para identificar el área en que se encuentra un UE se utiliza el Tracking Area Identity (TAI). El TAI se compone de los siguientes datos:

- Mobile Country Code, (MCC): este código identifica el país de la red del operador.
- Mobile Network Code, (MNC): este código identifica al operador.
- Tracking Area Code, (TAC): este código identifica la celda de un eNB.

El TAI puede tener hasta 40 bits, el MCC junto con MNC forman el PLMN ID que identifica al operador dentro de un país. Por medio de la señalización NAS, un UE actualiza constantemente su ubicación, enviando mensajes al MME de solicitud de enganche (Attach Request) y actualización de TA (Tracking Area Update), cuando le es permitido, el MME responderá con un mensaje de aceptación de la actualización (Attach Accept).

Figura 60. TAI



Fuente: 3GPP. TR 37.803 V11.2.0 (2013-06). Mobility enhancements for Home Node B (HNB) and Home enhanced Node B (HeNB) (Release 11). p. 11.

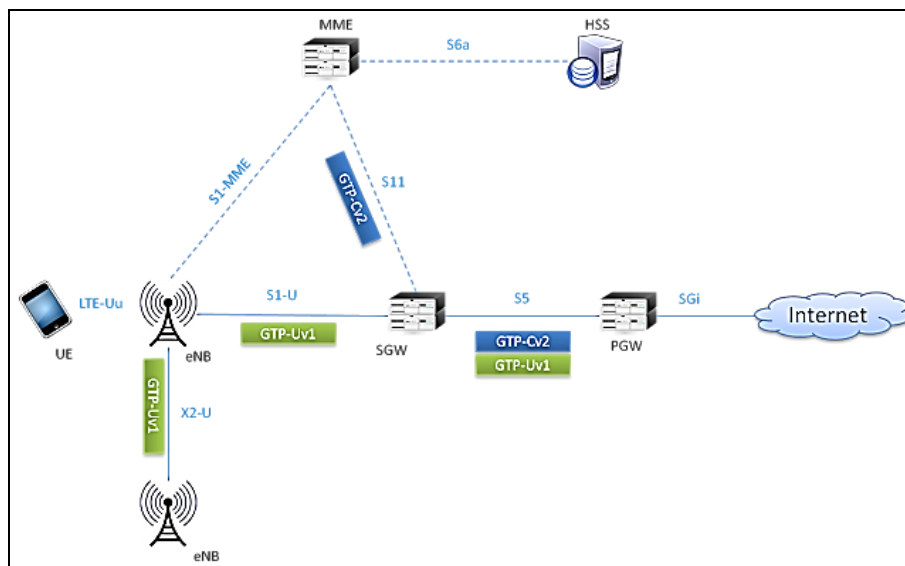
3.5.1.2. Creación de tuneles (*tunnelling*)

La implementación de IP en la red de telefonía LTE facilita mucho la operación de los equipos de la red ya que es más rápida la comunicación entre equipos debido a que no es necesaria la conversión entre protocolos como se hacía en las redes 3GPP anteriores, una mejora importante es la aplicación de Tunnelling. La creación de túneles es necesaria para mantener el flujo continuo de los datos del User Plane en los procesos de Handover, en los cambios de

tecnología y en la designación de portadoras dedicadas para servicios de datos de aplicaciones específicas.

Para la creación de túneles en LTE se utiliza el protocolo GTP, este es usado para encapsular los datos de usuario cuando pasan a través de la red de Core y también transportan tráfico específico de señalización de portadoras entre varios nodos en la red de Core. Esto permite la movilidad del UE, manteniendo la misma dirección IP en el UE y los paquetes siguen reenviándose por el túnel creado entre el P-GW y el eNB por medio del S-GW. Es posible además que un UE tenga múltiples túneles para obtener diferentes QoS en la red y mantener la IP principal oculta para proveer seguridad al usuario y a la red del operador.

Figura 61. **Tunnelling**



Fuente: 3GPP. TS 23.401 V8.0.0 (2007-12). *General Packet Radio Service. (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (Release 8)*. p. 13.

3.5.1.3. Portadora (*bearer*)

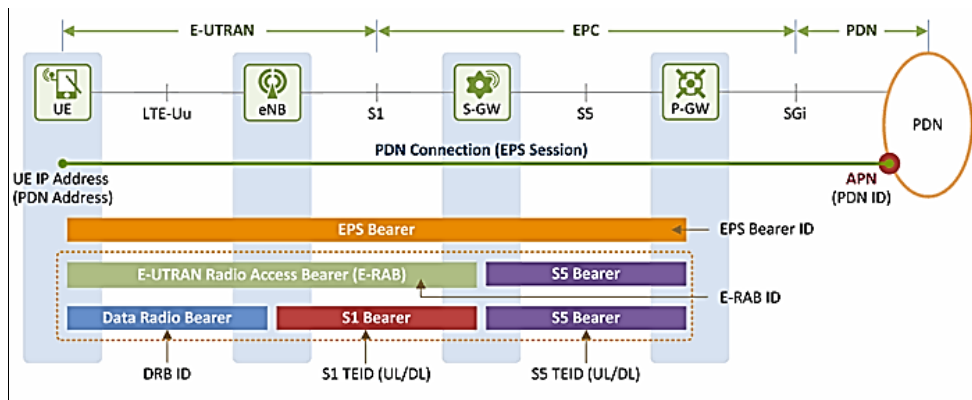
Las portadoras (*bearers*) en LTE son un concepto virtual, estas definen como los datos del UE serán tratados cuando viajen a través de la red del operador. La red debe tratar ciertos datos de una forma especial y tratar otros datos normalmente. Adicionalmente algunos flujos de datos deben ser provistos de una tasa de bit garantizada cuando otros pueden tener baja velocidad de transferencia. Una portadora es un parámetro de red colocado para definir el tratamiento a datos específicos. Puede haber portadoras por defecto (*default bearer*) o portadoras dedicadas (*dedicated bearer*) para un UE en LTE.

Cuando un UE se engancha a la red LTE por primera vez, se le asigna una portadora por defecto, la cual se mantiene durante el tiempo que el UE se mantenga enganchado. Una *default bearer* es un servicio de mejor esfuerzo. Esta portadora viene con una dirección IP y un UE podrá tener más de estas portadoras como sea permitido, cada una con diferente dirección IP, asignándole un valor de 5 a 9 al parámetro QCI a las portadoras por defecto, por lo que estas portadoras son categorizadas como non-GBR.

Las portadoras dedicadas proveen túneles dedicados a uno o más tráficoes específicos como VoIP, video, entre otros. Una *dedicated bearer* actúa como una portadora adicional arriba de la *default bearer*. Esta no requiere una dirección IP separada ya que solo las *default bearer* adicionales necesitan direcciones IP separadas y la *default bearer* estará enlazada a una de las *default bearer* establecidas previamente. Estas portadoras pueden ser GBR o non-GBR. Para servicios como VoLTE se necesita proveer la mejor experiencia al usuario, por lo que para dar tratamiento especial a servicios específicos se utilizan plantillas Traffic Flow Templates (TFT).

Otro concepto comúnmente usado es E-RAB que son las portadoras de acceso de radio de E-UTRAN, estas identifican la concatenación de las portadoras S1 Bearer y su Data Radio Bearer correspondiente.

Figura 62. **Bearer**



Fuente: 3GPP. TR 37.803 V11.2.0 (2013-06). Mobility enhancements for Home Node B (HNB) and Home enhanced Node B (HeNB) (Release 11). p. 11.

3.5.1.4. **Traspaso Interno en un eNB (Intra eNB Handover)**

El Intra eNB Handover se da entre sectores de celda de un mismo eNB cuando el UE se moviliza dentro de la zona de cobertura de un eNB y las mediciones que realiza el UE le indican al eNB que otro sector de celda es el óptimo para seguir brindando la continuidad del servicio al UE, el eNB realizará el Handover sin participación de los nodos del EPC.

Figura 63. **Intra eNB Handover**



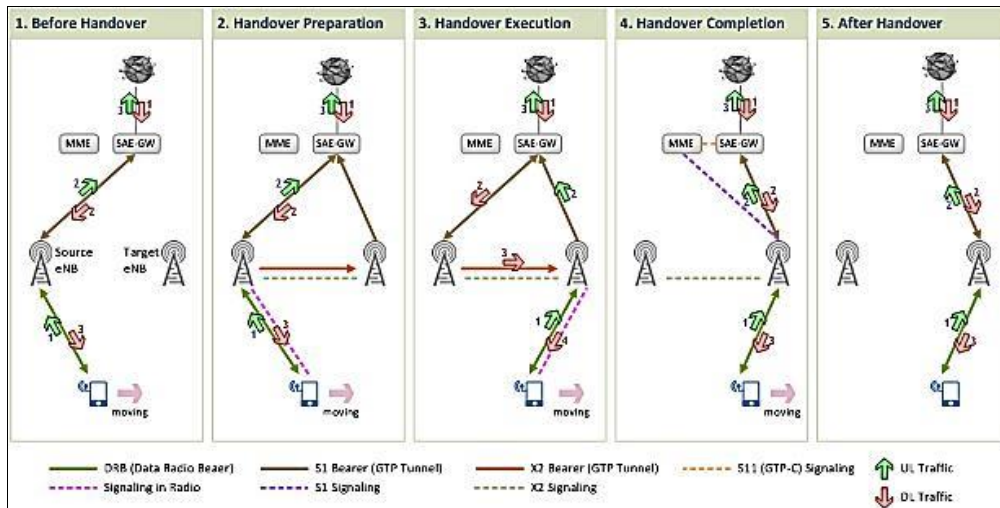
Fuente: 3GPP. TS 23.401 V8.0.0 (2007-12). *General Packet Radio Service. (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access (Release 8)*. p. 13.

3.5.1.5. **Traspaso entre eNB (Inter eNB Handover)**

En el Intra-EUTRAN Handover, que se refiere al Handover dentro de la red de acceso EUTRAN en LTE, hay distintos escenarios de Handover, estos son conocidos comúnmente como Inter eNB Handover ya que el UE se desplaza entre distintos eNB, donde el cambio de MME puede ser o no necesario, adicionalmente cuando no es necesario el cambio de MME una relocalización de S-GW puede ser o no necesaria en el Handover, los siguientes son los casos posibles de Intra-EUTRAN Handover:

- Inter eNodeB Handover sin relocalización de MME.
 - Inter eNodeB Handover sin relocalización de MME y sin relocalización de S-GW.
 - Inter eNodeB Handover sin relocalización de MME con relocalización de S-GW.
- Inter eNodeB Handover con relocalización de MME.

Figura 64. X2 Handover



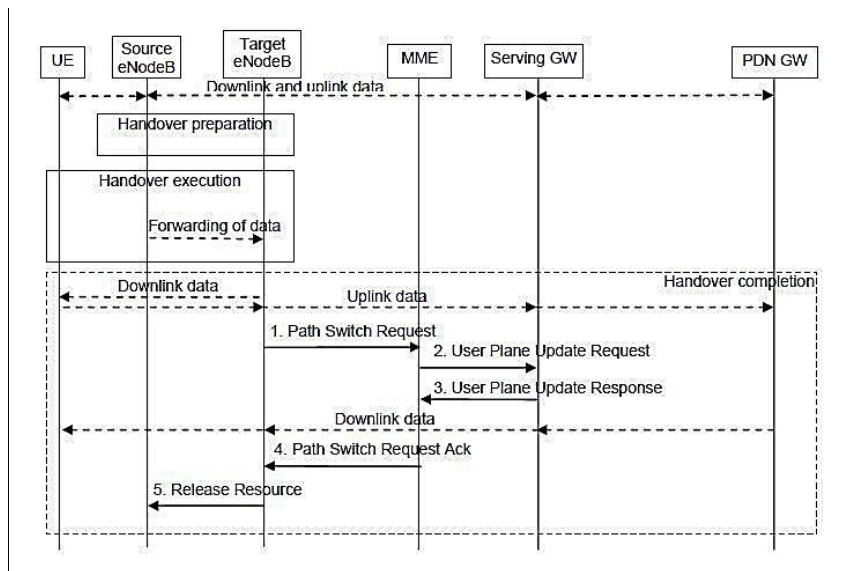
Fuente: 3GPP. TR 37.803 V11.2.0 (2013-06). Mobility enhancements for Home Node B (HNB) and Home enhanced Node B (HeNB) (Release 11). p. 11.

El Inter eNB Handover más común es el X2 Handover, en este caso no será necesaria la relocalización de MME y tampoco una relocalización de S-GW. Para este caso debe haber una conexión directa entre el eNB origen y el eNB destino por medio de la interfaz X2, el procedimiento de Handover está definido en tres pasos:

- Preparación de Handover: el procedimiento de X2 Handover se realiza sin que el EPC se vea involucrado, se intercambian mensajes directamente entre el eNB origen y el eNB destino.
- Ejecución de Handover: se forma un túnel directo entre los eNB para mantener el DL de datos durante el tiempo que dure el Handover.
- Conclusión del Handover: se realiza un intercambio de mensajes de señalización para concretar el Handover.

- El eNB destino envía un mensaje (Path Switch Request) al MME para informar que el UE ha cambiado de celda, incluyendo el Cell Global Identity (CGI) de la celda destino entre otros parámetros, luego el MME determina que el S-GW puede continuar dando el servicio al UE.
- El MME envía al S-GW un mensaje de solicitud de actualización del User Plane (User Plane Update Request).
- El S-GW comienza a enviar paquetes de DL al eNB destino, usando la nueva dirección recibida. Se envía un mensaje de respuesta al MME (User Plane Update Request).
- El MME confirma al eNB con un acuse de recibo (Path Switch Request Ack).
- El eNB destino informa al eNB origen del Handover exitoso para la liberación de los recursos por medio del mensaje Release Resource.

Figura 65. Señalización del X2 Handover



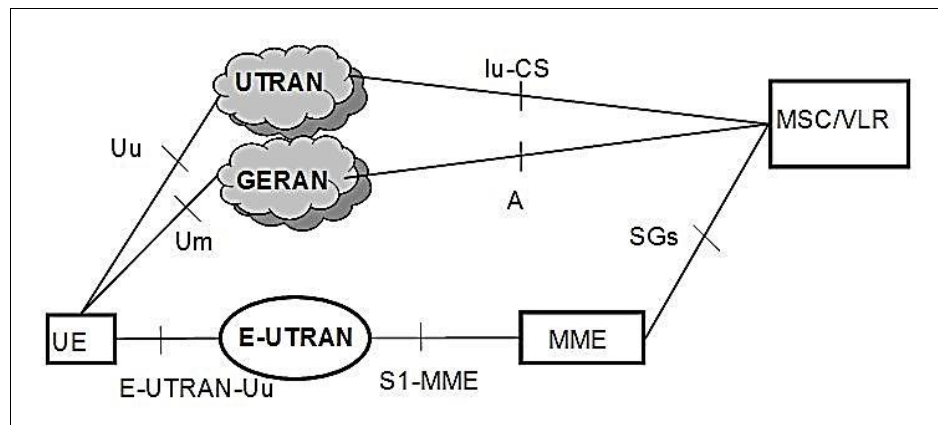
Fuente: 3GPP. TS 23.401 V8.0.0 (2007-12). General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Access (Release 8). p. 85.

3.5.1.6. Bajada en Tecnología de Conmutación de Circuitos (CS fall back)

La solución de 3GPP para el escenario donde un usuario se encuentra enganchado a la red LTE en modo Idle y necesita realizar o recibir una llamada de voz es CS fall back (CSFB), esto es necesario ya que en LTE no hay dominio de CS, por lo que el UE tendrá que bajar de tecnología hacia una tecnología UTRAN o GERAN y así realizar la llamada y al finalizar esta, se realiza un procedimiento para regresar al UE a LTE. CSFB en EPS permite proveer de voz y otros servicios del dominio CS por medio de la reutilización de la infraestructura CS. Esta función está disponible solo en casos donde la

cobertura E-UTRAN se superpone con la cobertura de otras tecnologías ya sea UTRAN o GERAN y se usara la interfaz SGs por medio del protocolo SGsAP.

Figura 66. **Configuración de CSFB**



Fuente: 3GPP. TS 23.002 V13.1.0 (2014-12). *Network architecture*. (Release 13). p. 69.

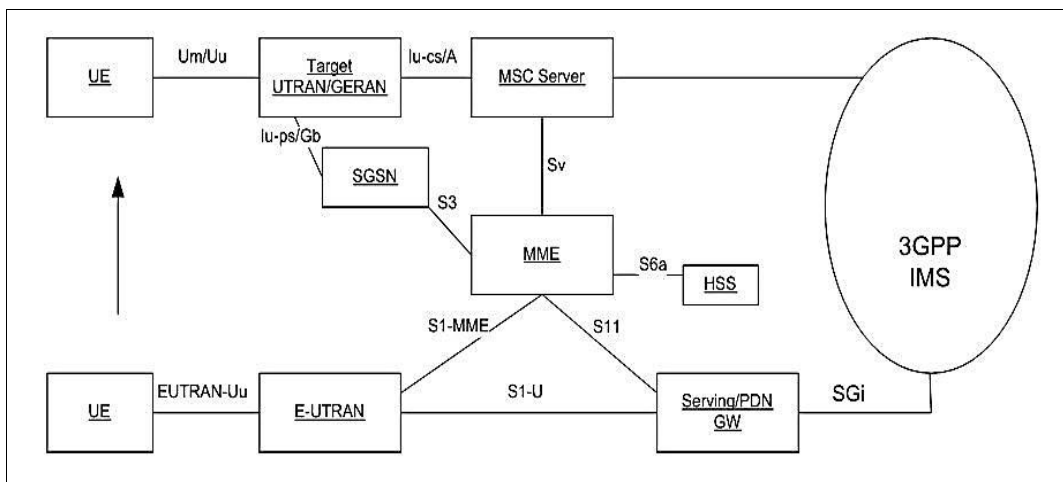
3.5.1.7. **SRVCC**

Otra solución definida por 3GPP para las limitaciones de LTE es Single Radio Voice Call Continuity (SRVCC), esta es útil cuando un usuario que se encuentra enganchado a la red LTE y tiene establecida una sesión de datos con el EPC necesita recibir o realizar una llamada de voz que será coordinada con el IMS, en este caso es necesario mantener la continuidad de la sesión de PS y se necesita bajar de tecnología al UE para establecer el CS y se traslada el PS a la nueva tecnología. En este caso se utilizará la interfaz Sv entre el MME y la MSC para la señalización que definirá el proceso de SRVCC.

Hay dos variantes de SRVCC de acuerdo al escenario que se presente:

- PS hacia CS: se usará una arquitectura E-UTRAN a UTRAN/GERAN, esto se refiere a la continuidad entre el IMS sobre el acceso PS y llamadas de CS que están ancladas en el IMS cuando el UE es capaz de transmitir o recibir solo en una red de acceso y será bajado a UTRAN o GERAN.
- CS hacia PS: se usará una arquitectura UTRAN/GERAN a E-UTRAN, esto se refiere a la continuidad entre una llamada CS y la llamada en el IMS sobre el acceso PS que está anclada al IMS cuando el UE es capaz de transmitir o recibir solo en una red de acceso y será regresado a E-UTRAN.

Figura 67. Configuración de SRVCC



Fuente: 3GPP. TS 23.002 V13.1.0 (2014-12). *Network architecture*. (Release 13). p. 69.

3.5.1.8. Traspaso entre Tecnologías de Acceso de Radio (Inter RAT Handover)

Otro escenario que se presenta en la red es que debido a la cobertura LTE que el operador puede brindar al UE sea necesario cambiar de tecnología, debido a que el UE se desplace hacia áreas donde solo hay cobertura GERAN o UTRAN y sea necesario mantener la continuidad de una sesión de datos previamente establecida en LTE. Para este caso se necesita el proceso de Inter RAT Handover. Esto significa que hay un cambio de tecnología de acceso de radio. En el Inter RAT Handover se pueden presentar los siguientes casos:

- E-UTRAN to UTRAN Iu mode Inter RAT Handover
- UTRAN Iu mode to E-UTRAN Inter RAT Handover
- E-UTRAN to GERAN A/Gb mode Inter RAT Handover
- GERAN A/Gb mode to E-UTRAN Inter RAT Handover

Para cada caso de Inter RAT Handover se deberán cumplir ciertos requisitos del estado en que se encuentra el UE y se tendrá una fase de preparación y una fase de ejecución para el Handover. Durante la fase de preparación se realizan diversas mediciones para decidir que es necesario el Handover y se envían mensajes de señalización entre los nodos del EPC y de la red de Core GPRS/UMTS y durante la ejecución se realiza el Handover por medio de diversos mensajes de señalización y el establecimiento de los recursos a usar por el PS. Para el Inter RAT Handover la arquitectura de red es la misma utilizada por SRVCC.

3.5.2. Protocolos de aplicación

Debido a que el protocolo utilizado en LTE es IP, es posible lograr conexiones más rápidas entre los nodos del EPS, también es posible que los equipos tengan interfaces hacia cualquier otro equipo de la red con el que sea necesario comunicarse ya que el medio de transmisión es el mismo y únicamente deberá definirse el protocolo de aplicación que usará para comunicarse adecuadamente con su vecino y así poder transmitir la señalización del Control Plane para brindar los servicios de usuario en el User Plane. Estos protocolos deben cumplir con los requisitos definidos por 3GPP de acuerdo a la interfaz por la que se comunican los nodos.

3.5.2.1. S1AP

El protocolo S1AP es utilizado para el Control Plane entre eNB y MME en la interfaz S1-CP. Los detalles técnicos del protocolo S1AP se encuentran definidos en el TS 36.413 de 3GPP. S1AP se basa en procedimientos elementales (Elementary Procedure) que es una unidad de interacción entre eNB y el EPC. Estos EP son definidos separadamente y están destinados a ser usados para construir secuencias completas de una forma flexible. Un EP consiste de un mensaje inicial y posiblemente de un mensaje de respuesta. Se usan los siguientes dos tipos de EP:

- Clase 1: EP con respuesta
- Clase 2: EP sin respuesta

S1AP provee los servicios de señalización entre E-UTRAN y EPC requerido para cumplir con distintas funciones S1AP. La conexión de señalización deberá proveer la entrega secuencial de mensajes S1AP.

Adicionalmente S1AP deberá ser notificado si la conexión de señalización se rompe. Los servicios de S1AP se dividen en dos grupos:

- Servicios no asociados al UE: relacionados completamente a la interfaz S1 entre el eNB y el MME utilizando una conexión de señalización no asociada al UE.
- Servicios asociados al UE: relacionados a un UE. Las funciones S1AP que proveen estos servicios están asociadas con una conexión de señalización asociada al UE y que es mantenida por el UE involucrado.

3.5.2.2. X2AP

El protocolo X2AP es utilizado para el Control Plane entre los eNB en la interfaz X2-CP. Los detalles técnicos del protocolo X2AP se encuentran definidos en el TS 36.423 de 3GPP. Este protocolo realiza procedimientos de señalización en la capa de red de radio del Control Plane entre los eNB en E-UTRAN. El Protocolo X2AP consiste de procedimientos elementales EP al igual que S1AP. Un EP de X2AP es una unidad de interacción entre dos eNB. También un EP consiste de un mensaje inicial y un posible mensaje de respuesta. Se tienen dos tipos de EP en X2AP:

- Clase 1: EP con respuesta
- Clase 2: EP sin respuesta

X2AP adicionalmente define los servicios que un eNB ofrece a sus vecinos por medio de módulos de procedimientos de X2AP, estos procedimientos son divididos en los siguientes dos módulos:

- X2AP Basic Mobility Procedures: módulo de procedimientos para movilidad básica, contiene procedimientos usados para mantener la movilidad del UE dentro de E-UTRAN.
- X2AP Global Procedures: módulo que contiene procedimientos que no están relacionados con un UE específico.

3.5.2.3. GTP

El protocolo GTP es utilizado para la creación de túneles entre los eNB en la interfaz X2-UP y también entre otras interfaces que manejen los datos del User Plane, para mantener la continuidad de las E-RAB de las sesiones de datos de un UE. El protocolo GTP fue definido inicialmente para GPRS y luego surgió la variante GTP-U utilizada en los nodos del EPS de 3GPP. GTP-U tiene las variantes GTPv1-U y GTPv2-U utilizadas de acuerdo a los nodos involucrados y los requisitos y escenarios que se presenten en la creación del túnel. Adicional a GTP-U existen los protocolos GTP-C y GTP' que también pueden ser utilizados de acuerdo al escenario que se presente.

El protocolo GTP-U provee servicios de transmisión y recepción de paquetes a nodos del User Plane como RNC, SGSN, GGSN, eNodeB, S-GW y P-GW. Una entidad del protocolo GTP-U recibe tráfico de un número de puntos de destino de túneles GTP-U y transmite tráfico a dichos destinos. Habrá una entidad GTP-U por cada dirección IP. Adicionalmente los paquetes IP enviados desde y hacia UE o MS en el UL y DL sobre uno o más túneles creados para la comunicación con redes externas son identificados por un APN. Para la comunicación y coordinación entre las entidades GTP-U se utilizan los mensajes GTP-U.

Tabla I. **Mensajes GTP-U**

Message Type value (Decimal)	Message	Reference	GTP-C	GTP-U	GTP'
1	Echo Request		X	X	x
2	Echo Response		X	X	x
3-25	Reserved in 3GPP TS 32.295 [8] and 3GPP TS 29.060 [6]				
26	Error Indication			X	
27-30	Reserved in 3GPP TS 29.060 [6]				
31	Supported Extension Headers Notification		X	X	
32-253	Reserved in 3GPP TS 29.060 [6]				
254	End Marker			X	
255	G-PDU			X	

Fuente: 3GPP. TS 29.281 V12.1.0 (2014-12). *General Packet Radio System (GPRS) Tunneling Protocol User Plane (GTPv1-U)* (Release 12). p. 19.

3.5.2.4. **SGsAP**

El protocolo SGs Application Part tiene la función de enviar mensajes por medio de la interfaz SGs entre el MME en el EPS y el VLR en una MSC/VLR. Este protocolo es usado para permitir la administración y coordinación de la localización del UE y retransmitir ciertos mensajes relacionados con servicios del CS de GSM sobre el sistema EPS. Los mensajes SGsAP contienen un campo identificador de mensaje de 8 bit para informar el tipo y el contenido del mensaje que se está transmitiendo.

Tabla II. Tipos de mensajes de SGsAP

8 7 6 5 4 3 2 1	Message type
0 0 0 0 0 0 0	Unassigned: treated as an unknown Message type
0 0 0 0 0 0 1	SGsAP-PAGING-REQUEST
0 0 0 0 0 1 0	SGsAP-PAGING-REJECT
0 0 0 0 0 1 1 to 0 0 0 0 1 0 1	Unassigned: treated as an unknown Message type
0 0 0 0 1 1 0	SGsAP-SERVICE-REQUEST
0 0 0 0 1 1 1	SGsAP-DOWNLINK-UNITDATA
0 0 0 0 1 0 0	SGsAP-UPLINK-UNITDATA
0 0 0 0 1 0 1	SGsAP-LOCATION-UPDATE-REQUEST
0 0 0 0 1 0 1 0	SGsAP-LOCATION-UPDATE-ACCEPT
0 0 0 0 1 0 1 1	SGsAP-LOCATION-UPDATE-REJECT
0 0 0 0 1 1 0 0	SGsAP-TMSI-REALLOCATION-COMPLETE
0 0 0 0 1 1 0 1	SGsAP-ALERT-REQUEST
0 0 0 0 1 1 1 0	SGsAP-ALERT-ACK
0 0 0 0 1 1 1 1	SGsAP-ALERT-REJECT
0 0 0 1 0 0 0 0	SGsAP-UE-ACTIVITY-INDICATION
0 0 0 1 0 0 0 1	SGsAP-EPS-DETACH-INDICATION
0 0 0 1 0 0 1 0	SGsAP-EPS-DETACH-ACK
0 0 0 1 0 0 1 1	SGsAP-IMSI-DETACH-INDICATION
0 0 0 1 0 1 0 0	SGsAP-IMSI-DETACH-ACK
0 0 0 1 0 1 0 1	SGsAP-RESET-INDICATION
0 0 0 1 0 1 1 0	SGsAP-RESET-ACK
0 0 0 1 0 1 1 1	SGsAP-SERVICE-ABORT-REQUEST
0 0 0 1 1 0 0 0	SGsAP-MO-CSFB-INDICATION
0 0 0 1 1 0 0 1 to 0 0 0 1 1 0 0 1	Unassigned: treated as an unknown Message type
0 0 0 1 1 0 1 0	SGsAP-MM-INFORMATION-REQUEST
0 0 0 1 1 0 1 1	SGsAP-RELEASE-REQUEST
0 0 0 1 1 1 0 0	Unassigned: treated as an unknown Message type
0 0 0 1 1 1 0 1	SGsAP-STATUS
0 0 0 1 1 1 1 0	Unassigned: treated as an unknown Message type
0 0 0 1 1 1 1 1	SGsAP-UE-UNREACHABLE

Fuente: 3GPP. TS 29.118 V13.0.0 (2014-12.). *Mobility Management Entity (MME) – Visitor Location Register (VLR) SGs interface specification* (Release 13). p. 58.

3.5.2.5. MAP

El protocolo MAP es utilizado entre el HSS y el HLR para realizar consultas del perfil de un usuario. Cuando el HSS necesita más información sobre los permisos o datos específicos del perfil de usuario con los que este no cuenta y es necesario realizar la consulta al HLR.

3.5.2.6. DIAMETER

DIAMETER es el protocolo usado para la comunicación entre el HSS y el MME para entregar el perfil del usuario al MME. Cuando un UE intenta engancharse a la red y el MME necesita verificar los privilegios con que cuenta el usuario por medio de la consulta del perfil del usuario al HSS, el MME sabrá el tratamiento que deberá aplicar al User Plane del UE y si este debe llevar un proceso de *charging* por parte del PCRF. Esto es necesario para permitir ciertos servicios y la desconexión del UE cuando su cuota de datos ha llegado al límite contratado por el usuario, entre otras funciones.

3.5.2.7. SS7

La señalización SS7 es usada por nodos como el HSS para mantener comunicación con las redes de Core GPRS/UMTS. Por medio de la conexión con los STP el HSS podrá tener comunicación de señalización con diversos nodos de las redes de Core heredadas usando como medio de transmisión TDM.

3.5.3. Protocolos de transporte

Los protocolos de la capa de transporte utilizados en las interfaces entre nodos del EPS y las redes heredadas GSM/UMTS y redes externas PDN utilizan los protocolos de transporte de las redes IP, de acuerdo al tipo de tráfico que se maneje estos protocolos comunicarán los datos del *user plane* o el *control plane*.

3.5.3.1. UDP

UDP es el protocolo sin conexión del *stack* de protocolos TCP/IP. Este es un protocolo categorizado como no confiable debido a que no crea conexiones entre los *peer* que comunica y es un protocolo de mayor esfuerzo, ya que su función es transportar los datos del *user plane* de la manera más rápida posible, para ofrecer las tasas de bit necesarias para las aplicaciones de usuario que demandan un *throughput* alto en las sesiones que crean los UE. Para mejorar la confiabilidad de los datos del *user plane*, serán los protocolos de aplicación que se encargarán de las retransmisiones y el establecimiento de las portadoras para manejar las diferentes sesiones de datos del usuario.

3.5.3.2. SCTP

El protocolo SCTP es utilizado para la transmisión de señalización en el *control plane*. Los protocolos de aplicación que necesitan un protocolo confiable para la entrega y recepción de mensajes de señalización, utilizan en su mayoría SCTP entre los nodos del EPS de 3GPP. Este protocolo permite que se mantengan múltiples asociaciones entre los nodos y asegura la entrega correcta de los mensajes de señalización.

3.5.3.3. TCP

El protocolo TCP es también un protocolo confiable ya que asegura la entrega de todos los paquetes de datos por medio de acuses de recibo, este es un protocolo de menor esfuerzo debido a las retransmisiones de los paquetes entregados con errores o paquetes perdidos. Este protocolo no es muy utilizado entre los nodos del EPS y para su implementación es necesario el uso de una función Proxy de TCP (TCP Proxy Function).

Cuando se use TCP en el EPS, la conexión TCP será entre un cliente TCP y un servidor TCP. La función Proxy TCP divide una conexión TCP de tal manera que este termina la conexión TCP recibida de un UE y establece una conexión TCP correspondiente a otro sistema final en la red de paquetes de datos. La función Proxy TCP puede ser implementada en un GGSN/P-GW o como una función externa mas allá de las interfaces SGi/Gi. El Proxy TCP es implementado de tal manera que es transparente al UE y su movilidad. La implementación y los protocolos necesarios para realizar las funciones relacionadas con la función Proxy TCP se encuentran fuera del alcance de las especificaciones de 3GPP.

4. COMPARACIÓN ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

4.1. Similitudes y diferencias entre tecnologías

Las redes de telefonía móvil han tenido cambios considerables con el transcurrir de los años, estos cambios han sido impulsados por múltiples factores, entre los que se pueden mencionar, los avances tecnológicos que han generado nuevas soluciones de equipos y tecnologías para implementar mejoras en las redes, el mayor despliegue de las áreas de cobertura y la demanda por parte del usuario de mayores tasas de bit y mejor calidad de señal. Estas mejoras han sido posibles gracias a los organismos que regulan las telecomunicaciones y que han definido los requisitos y detalles técnicos que los equipos de las redes de telefonía móvil deben cumplir.

4.1.1. Evolución de las tecnologías

La evolución de las tecnologías de telefonía móvil utilizadas por los operadores ha sido implementadas progresivamente de acuerdo a los nuevos lineamientos definidos, las redes móviles han cambiado en aspectos de generaciones de tecnologías, las técnicas de acceso a la red utilizadas, nuevos equipos implementados para brindar nuevos servicios, cambios en las funciones de las redes de Acceso y de Core, nuevos protocolos de comunicación y actualizaciones de las capacidades de los equipos existentes para mantener su rentabilidad y continuidad de operación en la red.

4.1.1.1. Generaciones de tecnologías

Las tecnologías utilizadas en las redes de telefonía han sido categorizadas como generaciones, es por ello que se habla de tecnologías 1G, 2G, 3G y 4G. Cada generación es conocida ya sea por su número de generación o por el estándar de la tecnología aplicada, adicionalmente, cada generación cuenta con distintas técnicas de acceso a la red, así como con distintas formas de modular las señales y nuevos equipos en las redes de control para ofrecer constantemente mayores tasas de bit y nuevos servicios.

Durante cada generación ha habido mejoras graduales que permiten subdividir las generaciones, estas mejoras son definidas por los distintos organismos como 3GPP e ITU, las siguientes son las generaciones principales de telefonía móvil:

- 1G: la primera generación se basó en una tecnología celular análoga, entre estas tecnologías se encuentran los estándares NMT, AMPS y TACS. La técnica de acceso a la red utilizada fue FDMA y los servicios prestados eran de tráfico análogo de voz y señalización digital.
- 2G: la segunda generación se basa en una tecnología celular digital, entre estas tecnologías se encuentran los estándares GSM, D-AMPS, IS-95 y PDC, aunque GSM es el más conocido. Las técnicas de acceso a la red implementadas son TDMA y CDMA (para Norteamérica), se mejoró el servicio de voz y se implementaron los servicios de SMS y transferencia de datos en el dominio CS (~ 9,6 y hasta 50 Kbps con HSCSD). En 2G se dieron subdivisiones.

- 2.5G: se implementó GPRS, utilizando TDMA como técnica de acceso y permitió la implementación del tráfico de datos en el dominio PS, aumentando las velocidades nominales de bit (~ 50 Kbps).
- 2.75G: se agregó EDGE, siendo ahora GPRS+EDGE, se continúa utilizando TDMA y se mejoran las velocidades nominales de bit (~ 150 Kbps).
- 3G: se implementa la tecnología de banda ancha e IP por medio del estándar UMTS con la técnica de acceso WCDMA, paralelamente surge CDMA 2000 en algunos países como EE.UU., se aumentan considerablemente las tasas de bit (~ 384 Kbps). 3G también se subdividió.
 - 3.5G: se implementa HSPA. Llegando hasta los 14 Mbps si se asignaran todos los recursos de un sector de celda a un solo usuario.
 - 3.75G: se da una mejora con HSPA+, logrando llegar hasta 42 Mbps para un solo usuario.
 - 3.9G: en el Release 8 de 3GPP se define el EPS (LTE/SAE), conocido comúnmente como el estándar de tecnología LTE, se implementa la técnica de acceso OFDMA, las tasas nominales de bit aumentan (~ 100 Mbps), normalmente se tiene 75 Mbps, 150 Mbps con MIMO 2x2 y 300 Mbps con MIMO 4x4.
- 4G: se define el estándar IMT Advanced con un requisito de hasta 1 Gbps de *down link* en ambientes de baja movilidad, 3GPP define LTE-Advanced para cumplir con este requisito y lo supera con hasta 3 Gbps de *down link* en el Release 10.

4.1.1.2. Convergencia de las redes

Una de las grandes mejoras que han tenido las redes de telefonía móvil ha sido la convergencia de las distintas industrias que utilizaban diferentes tecnologías celulares para su operación y ahora convergen a una misma tecnología con la implementación de los sistemas de comunicación móviles de tercera generación. La convergencia puede ser considerada desde tres perspectivas, por los servicios de usuario, por dispositivos y por la red.

La convergencia por servicios de usuario implica que hay una capacidad de entrega común de los servicios al usuario, por medio del conocimiento del acceso y los dispositivos utilizados por el usuario, debido a que hay una gran variedad de servicios de persona a persona, de persona a contenido y de contenido a persona, es ahora posible ofrecer estos servicios al mismo usuario sobre diferentes redes de acceso y en diferentes dispositivos.

La convergencia de dispositivos significa que los dispositivos comunes soportan diferentes tipos de acceso. Esta convergencia permite que funcionen múltiples aplicaciones, funciones de identificación y autenticación, adicionalmente los dispositivos soportan funciones adicionales a la telefonía, como cámara, televisión y correo electrónico.

Por último, la convergencia de la red implica la consolidación de la red para proveer diferentes servicios de usuario, con alto grado de calidad de servicio desde diferentes tipos de acceso, para esto se implementó la arquitectura en capas.

4.1.1.3. Arquitectura de capas

La arquitectura de las redes de telecomunicaciones, específicamente de telefonía móvil se mantiene dividida en capas, estas capas que pueden ser independientes entre sí y que a la vez trabajan conjuntamente para brindar los servicios al usuario. La idea de la arquitectura de red en capas es mantener separadas las capas de conectividad, el control y aplicaciones, definiendo claramente las funciones de cada una. Esta división se ha aplicado en las redes de Acceso y Core de las distintas generaciones de la telefonía móvil como GSM, UMTS y LTE.

La capa de aplicación provee servicios y contenidos al usuario, la capa de control provee sesiones y el control de distintas funciones de los nodos de la red y la capa de conectividad provee el transporte físico a los distintos nodos de la red y las tecnologías de acceso a la red que interactúan directamente con el usuario.

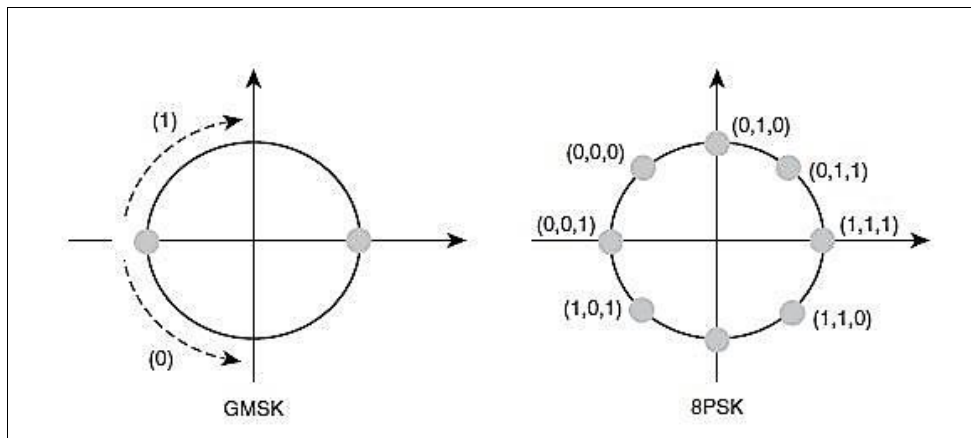
4.1.2. Modulaciones utilizadas

Las tecnologías de telefonía móvil necesitan un método para la transmisión de las señales de radio para establecer la conectividad con los terminales móviles, para ello se utilizan distintos tipos de modulación de acuerdo a la técnica de acceso que se utilice, adicionalmente es posible utilizar distintos tipos de modulación para un mismo estándar de tecnología móvil, en GSM se aplica la modulación GMSK y en UMTS se aplican distintas modulaciones de acuerdo al nivel de señal y a la distancia que se ubique el UE de las antenas de transmisión, es posible utilizar QPSK para distancias largas y con bajo nivel de señal para asegurar una comunicación estable y a distancias cortas y con buen nivel de señal se puede utilizar hasta 64QAM.

4.1.2.1. GMSK

Los estándares GSM y GPRS están basados en la modulación GMSK, este es un tipo de modulación binario capaz de transmitir un bit de información por símbolo. La adopción de diferentes esquemas de codificación y clases de múltiples *slot* pueden llevar a que GPRS soporte servicios de hasta 171,2 Kbps, correspondientes a la colocación de ocho *time slot* en un *frame* TDMA para un solo usuario. Aunque en situaciones reales para GPRS un dispositivo con cuatro *slot* puede soportar un *throughput* pico de 53,6 Kbps. Para incrementar esto, EDGE introdujo la modulación 8PSK, esta modulación permite el incremento de 1 bit/símbolo con GMSK a 3 bit/símbolo con 8PSK.

Figura 68. GMSK y 8PSK

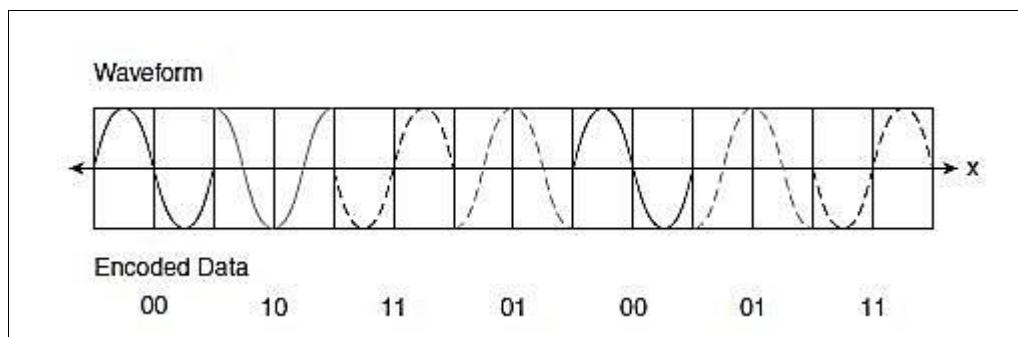


Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 54.

4.1.2.2. QPSK

La modulación QPSK es utilizada en UMTS cuando el UE se encuentra muy alejado de la antena de transmisión del NodeB en UMTS o del eNodeB en LTE o cuando los niveles de intensidad y calidad de señal son muy bajos, obteniendo un BER arriba de lo deseado o una baja relación SNR y se necesita asegurar la continuidad del servicio al usuario, QPSK usa cuatro posibles fases para codificar dos bits de datos por símbolo. Adicionalmente para su estudio se utiliza un diagrama de constelación, el cual muestra la forma de onda modulada en los ejes de cuadratura y amplitud.

Figura 69. QPSK



Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 54.

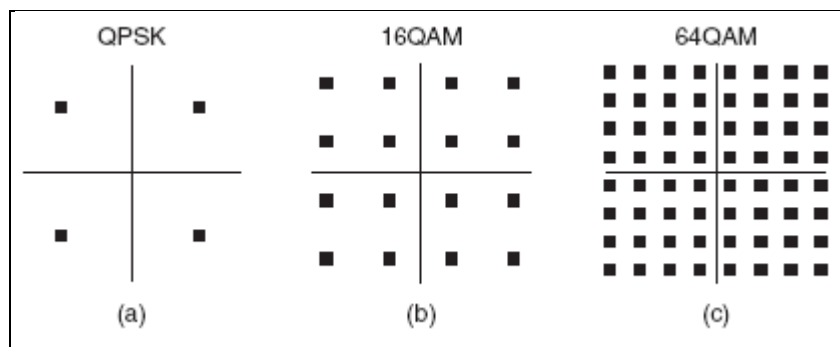
4.1.2.3. 16-QAM

Con 16-QAM es posible codificar cuatro bits de información en un solo símbolo, obteniendo una constelación de 16 símbolos, 16-QAM se implementó con el estándar HSDPA y permitió aumentar las tasas de bits en el DL, en LTE se puede implementar juntamente con MIMO para aumentar las tasas de bit tanto de DL como de UL.

4.1.2.4. 64-QAM

Con 64-QAM seis bits de información pueden ser codificados en un solo símbolo, con esta modulación es posible alcanzar las altas tasas de bit en HSPA+ y en LTE junto con MIMO tanto en el DL como en el UL. Esta modulación se aplica en casos óptimos cuando el UE se encuentra cercano a la radio base o cuenta con un buen nivel de SNR y bajo BER.

Figura 70. **Constelaciones de QPSK, 16-QAM y 64-QAM**

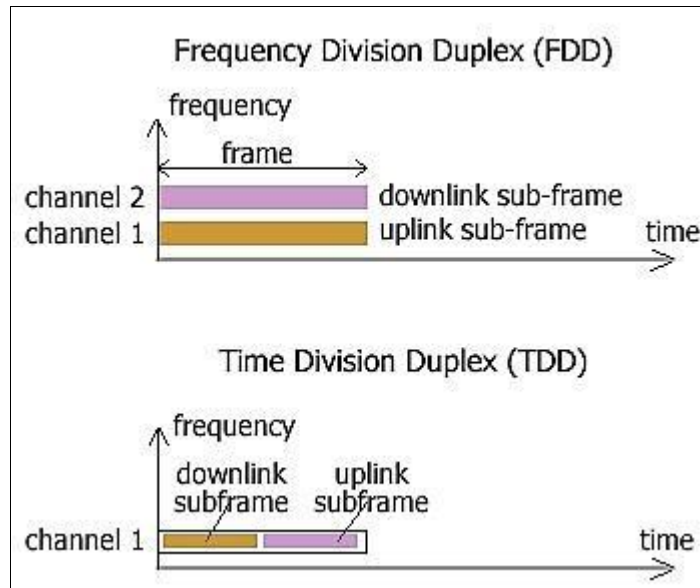


Fuente: *Mayores velocidades de datos dentro de un ancho de banda limitado: Superior para la modulación.* <http://m.eet.com/media/1068226/3gfigure3-2.gif>. Consulta: 12 de abril de 2015.

4.1.3. Modos de operación

El modo de operación de un sistema de telefonía móvil define la cantidad de portadoras de radio que la radio base ocupará para la comunicación, con el UE para la transmisión de datos de UL y de DL. Debido a que se puede operar en modo Half-duplex con TDD o Full-duplex con FDD, esto lo definirá el operador de acuerdo a las bandas del espectro de radio con que cuenta y a la tasa de bits que necesita ofrecer al usuario.

Figura 71. **Modos de operación**



Fuente: *Share the Newest 4G LTE Technologies Worldwide*.

https://4gtemobilebroadband.files.wordpress.com/2012/11/fdd_tdd-2.jpg. Consulta: 12 de abril de 2015.

4.1.3.1. **FDD**

FDD es el modo de operación mayormente utilizado por los operadores, en este caso se designa una portadora para el UL y una portadora para el DL en GSM y UMTS, mientras que en el R8 3GPP para LTE hay 15 bandas especificadas para FDD y luego en el R9 se agregaron 4 bandas adicionales. Para el DL se utilizan frecuencias mayores y para el UL se usan frecuencias menores debido a que a menor frecuencia, el terminal utiliza menos potencia para transmitir, adicionalmente que en el DL a mayores frecuencias es posible transmitir más datos, esto es normal ya que los usuarios tienden a producir más tráfico de DL.

4.1.3.2. TDD

TDD es un modo de operación poco utilizado por los operadores ya que se define una sola portadora dedicada para el UL y el DL en los sistemas GSM y UMTS y para LTE del R8 hay 8 bandas dedicadas. En este caso la comunicación entre el UE y la radio base será Half-duplex ya que durante un momento habrá tráfico de UL y durante otro momento habrá tráfico de DL.

4.1.4. Métodos de transporte

En las diferentes generaciones de redes de telefonía móvil es posible utilizar distintos métodos para realizar las conexiones físicas entre los equipos que conforman la red, de acuerdo al medio de transmisión con que se cuente o al tipo de interfaces con que cuenten los equipos es posible utilizar enlaces de fibra óptica, cable UTP y enlaces de microondas como los medios físicos más comunes. Adicionalmente es posible que la transmisión de los datos en la capa de red de transporte utilicen los métodos TDM, ATM o IP; a través de estos métodos se realiza el transporte de datos del User Plane y de señalización del Control Plane entre los equipos involucrados en una comunicación originada por un usuario.

TDM es una multiplexación por división de tiempo, es el tipo de multiplexación más utilizado en los sistemas de transmisión digitales. En ella, el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total conocida como intervalo de tiempo.

La tecnología ATM es un modo de transferencia asíncrona en la que se aprovecha al máximo la capacidad de los sistemas de transmisión, estos pueden ser por cable o radioeléctricos, la información no es transmitida y

conmutada a través de canales asignados en permanencia, sino en forma de cortos paquetes llamados celdas ATM de longitud constante y que pueden ser encaminadas individualmente mediante el uso de canales virtuales y trayectos virtuales.

IP es el protocolo que más se está implementando actualmente en muchos ámbitos, con la definición de IP por parte de 3GPP como el medio de transmisión para las redes LTE y EPC del EPS, se mejoró la forma de comunicación en los equipos ya que se evitan las conversiones de protocolos que se realizaban en otros medios, adicionalmente en las tecnologías GSM y UMTS muchos de los equipos ya cuentan con interfaces Ethernet que utilizan el protocolo IP para realizar la comunicación entre equipos.

4.1.4.1. Protocolos de transporte

Entre la comunicación en la capa de red de transporte utilizada en las redes de telefonía móvil se pueden usar distintos protocolos, MTP es implementado cuando se tienen equipos operando con TDM, luego MTP-3b es la adaptación de MTP para funcionar con ATM y M3UA es la adaptación para equipos que trabajan con IP.

Message Transfer Part (MTP) es parte de la señalización SS7, este se encarga de establecer el camino por el que se comunicarán dos nodos que usen TDM, para su funcionamiento MTP se divide en tres capas:

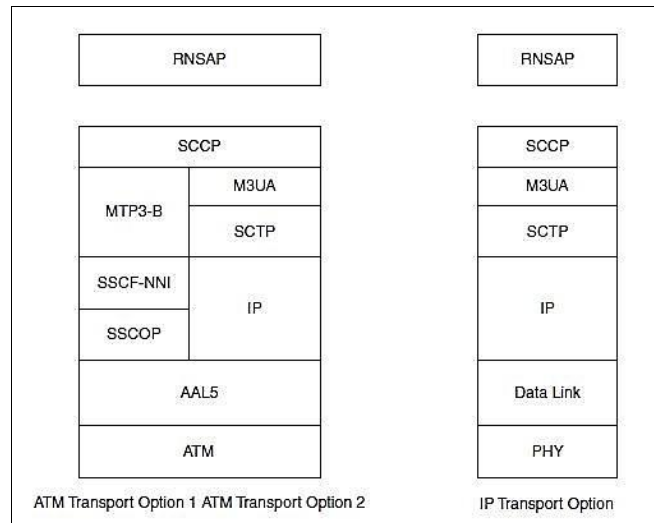
- MTP3: es la capa 3 de MTP, se encarga del enrutamiento de los paquetes de datos por medio de OPC y DPC.
- MTP2: es la capa 2, se ocupa de la integridad del mensaje.

- MTP1: es la capa 1, tiene la función de brindar la estructura física, provee el camino por donde se envían los mensajes.

Message Transfer Part level 3 broadband (MTP-3b) es la adaptación de MTP utilizada para ATM, este provee enrutamiento de mensaje, discriminación y distribución. Adicionalmente MTP-3b provee administración del enlace de señalización, balanceo de carga y cambio entre enlaces dentro de un *link-set*. Un *link-set* es un arreglo de varios enlaces en un solo enlace para aumentar las capacidades de transmisión. Las capas inferiores de MTP-3b proveen la integridad y el medio físico para la transmisión de los mensajes y su tipo dependerá de la interfaz entre los nodos que comunican.

MTP3 User Adaptation (M3UA) es la adaptación de MTP para el protocolo IP, y forma parte de la señalización SIGTRAN, la capa M3UA provee el enrutamiento, debajo de M3UA estará SCTP que provee la integridad de los mensajes, es el equivalente a MTP2, más abajo estará IP y Ethernet que proveerán el protocolo y el camino físico utilizado para la comunicación.

Figura 72. **Comparación de las capas de transporte en RNSAP**



Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*. p. 239.

4.1.4.2. Redundancia

Para las redes de telefonía móvil, la disponibilidad de la red es fundamental para ofrecer su servicio. La redundancia es una parte importante del diseño de la red para prevenir interrupciones de los servicios de la red, ya que se minimiza la posibilidad de un punto único de falla. Un método para implementar la redundancia consiste en instalar equipos duplicados y proporcionar servicios de conmutación por falla para los dispositivos esenciales. Por esto que en una red de acceso GRAN y UTRAN se instalan varias BSC y RNC, adicionalmente en las redes de Core se duplican los nodos esenciales como la MSC, MGW, SGSN, distribuyéndose la carga entre estos, o los HLR y HSS donde un nodo se encuentra activo y el otro pasivo como respaldo.

Otro método para utilizado para implementar la redundancia son las rutas redundantes, estas ofrecen rutas físicas alternativas para que los datos atraviesen la red. Las rutas redundantes admiten una alta disponibilidad. Por medio de varios enlaces físicos entre dispositivos se proporcionan rutas redundantes. De esta forma, la red puede continuar funcionando si falla un único enlace o puerto de un equipo. Los enlaces redundantes también pueden compartir la carga de tráfico y aumentar la capacidad. Se eligen las mejores rutas, y se cuenta con una ruta alternativa de inmediato en caso de que falle una ruta principal.

La compartición de carga de tráfico puede realizarse de distintas maneras, en los nodos de acceso se distribuye la carga de acuerdo a las zonas de cobertura que el operador tiene en su red, asignándole el control de cierta cantidad de radio bases a las BSC y RNC para compartir la carga y proveer redundancia en caso de falla de una BSC o RNC por medio de la conexión en *pool*. En nodos de Core como MSC, MGW, SGSN, MME, P-GW, se distribuye la carga de acuerdo a la demanda de tráfico generada por los usuarios y en el caso de nodos como HLR y HSS se mantiene a un nodo en estado activo respondiendo las consultas de los perfiles de usuarios a los nodos con los que se comunican y el nodo pasivo entra en funcionamiento solo en caso de falla.

Entre los métodos más utilizados de compartición de carga en las redes de comunicación se tienen dos tipos muy comunes:

- Balanceo de carga - *load balancing*: se aplican distintos métodos para mantener a los nodos del mismo tipo con un nivel de carga similar, es posible que la carga sea balanceada por el tráfico entrante a la red o por el destino del tráfico en base a la demanda actual.

- Reparto de carga - *load sharing*: cuando se aplica este método se debe analizar las áreas de cobertura y la cantidad de usuarios que se espera atender en esas áreas para poder asignar el control de cierta cantidad de radio bases a las BSC o RNC, así como en las MSC se asigna una parte del tráfico de origen o de destino a una MSC y la otra parte a la otra MSC, esto debe realizarse cuidadosamente ya que no se asegura que los nodos redundantes atenderán la misma cantidad de tráfico.

Cuando se tienen dos nodos con la misma función, por ejemplo dos MSC, es ideal balancear la carga y que cada nodo este trabajando en menos del 50 % de su capacidad total, para asegurar al 100 % la continuidad del servicio, en caso de conmutación por falla y que solo una MSC quede operando. La conmutación por falla es conocida también como Failover.

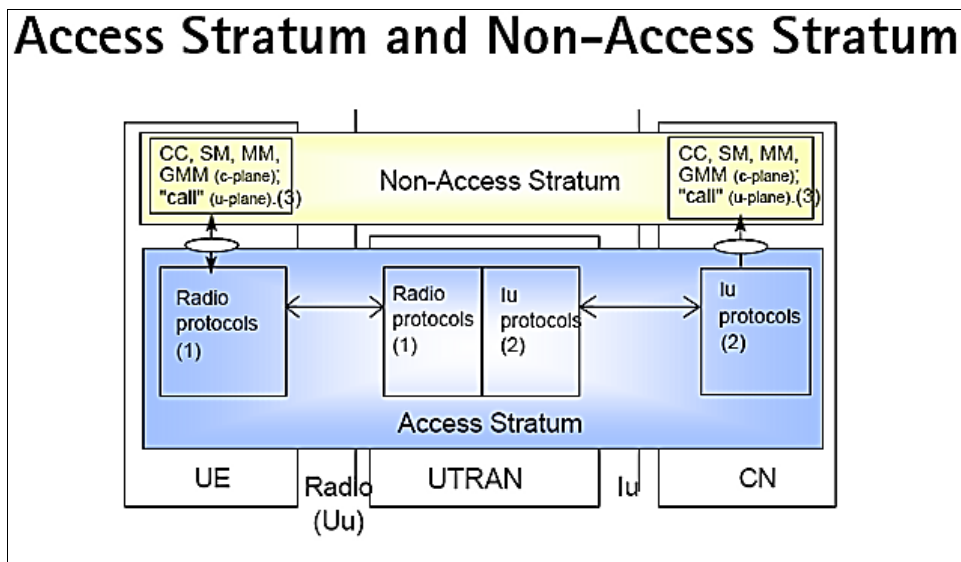
4.1.4.3. Redundancia geográfica

Otro método aplicado en las redes de telefonía móvil es la Redundancia Geográfica también conocida como Geo-redundancia, esto consiste en instalar los nodos principales de la red en distintas ubicaciones geográficas en las zonas, ciudades o países en que presta su servicio un operador, lo común es tener instalaciones en distintas zonas o ciudades para la red de un mismo país y aplicar redundancia a los equipos principales, con esto se asegura la continuidad del servicio de la red en casos de desastres naturales y otro tipo de eventos como fallas en la red de distribución eléctrica.

4.1.5. Señalización

La señalización es utilizada en las distintas generaciones de redes de telefonía móvil para transportar los datos de *control plane*, esto es necesario para establecer una comunicación entre los nodos participantes al momento de un solicitud de un servicio por parte de un UE o MS, cuando un usuario intenta realizar una llamada, enviar un mensaje de texto o establecer una sesión de datos, la señalización en el *control plane* establecerá los canales de comunicación o portadoras en el *user plane* para transportar los datos del usuario. Adicionalmente, en el transcurso de una transacción en el *user plane* hay distintos eventos que se llevan a cabo sin intervención del usuario y sin que sean perceptibles pero que son necesarios para mantener la comunicación.

Figura 73. Señalización



Fuente: *Access Stratum and Non-Access Stratum*.

http://i119.photobucket.com/albums/o140/nvqthinh/umts_stratum.png. Consulta: 12 de abril de 2015.

4.1.5.1. NAS

Non-Access Stratum (NAS) es una señalización directa entre el UE y la MSC en EUTRAN en el *control plane* y que la RNC es transparente ante estos mensajes, los mensajes NAS van cargados en mensajes de la parte de la señalización Direct Transfer Application Part (DTAP) y son enviados sobre las interfaces Iu, Iub, Iur y Uu entre la red de Core y el UE dentro del protocolo RANAP. Los mensajes NAS son utilizados por ejemplo para calcular el *paging group* al momento de iniciar el *paging* de una llamada. NAS es usado también en el EPS por ejemplo entre un UE y el MME para soportar las funcionalidades de administración de movilidad, activación de portadoras del *user plane*, modificación y desactivación de estas portadoras.

4.1.5.2. AS

Acces Stratum es la señalización que controla la interfaz de radio y que son perceptibles y utilizables por todos los nodos por donde transitan en la comunicación entre el MSS en la red de Core o el EPC con las redes de Acceso GRAN, UTRAN y LTE. Entre las capas que forman parte de la señalización AS están RR/RRC, RLC y MAC. El proceso de Handover es un ejemplo de los eventos coordinados y mantenidos por la señalización AS.

4.1.6. Carga útil (*payload*)

En las redes de telefonía móvil, el *payload* representa la carga útil dentro de los mensajes del *user plane*, son los datos que el usuario realmente puede percibir en la comunicación, como la voz, el contenido de mensajes de texto y la información de las aplicaciones de usuario a las que accede en las sesiones de datos. Dentro de los distintos tipos de *frame* que se utilizan para transmitir la

información del *user plane*, hay una cantidad de bits definida por los protocolos y los medios de transmisión que contiene el *payload* del usuario.

El *payload* a la vez es relacionado comúnmente con el *throughput* o el rendimiento de la red respecto a un usuario, desde el punto de vista del usuario el *throughput* debe ser alto ya que representa una buena calidad de servicio para la experiencia del usuario con la red del operador, desde el punto de vista del operador implica mas procesamiento, por lo que un *throughput* alto demandara más recursos a los equipos de la red.

4.1.6.1. Carga de tramas (*upstream*)

Upstream representa los *stream* de datos que se envían desde el UE o MS hacia la red de telefonía móvil y que van contenidos en el *uplink* del *user plane*.

4.1.6.2. Descarga de tramas (*downstream*)

El *downstream* representa los *stream* de datos que se envían desde la red de telefonía móvil hacia el UE o MS, estos *frames* están contenidos en el *downlink* del User Plane.

4.1.7. Limitaciones del espectro electromagnético

Todos los terminales móviles y las radio bases funcionan en la banda de las ondas de radio del espectro electromagnético. Es responsabilidad del Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-R) regular la asignación del espectro de radiofrecuencia (RF). Los rangos de frecuencia, son denominados bandas, estas bandas se asignan con distintos propósitos. Algunas bandas en el espectro electromagnético están reguladas en

gran medida y se usan para aplicaciones como las redes de control del tráfico aéreo y de comunicaciones de respuesta de emergencias. Otras bandas no tienen licencia, como la banda industrial, científica y médica (ISM) y la banda de infraestructura de la información nacional (UNII).

Las bandas RF se regulan en forma diferente en cada país. La utilización de las bandas asignadas para las redes de telefonía móvil está sujeta a regulaciones adicionales y a distintos conjuntos de estándares que deben cumplir los operadores para poder desplegar los estándares de telefonía móvil como GSM, UMTS y LTE, de acuerdo al espectro disponible en cada país es posible o no implementar un estándar de telefonía móvil, en la actualidad para implementar LTE en varios países ha sido necesario trasladar la televisión análoga al formato de televisión digital para liberar algunas frecuencias y poder usarlas posteriormente para el despliegue de la red de acceso LTE.

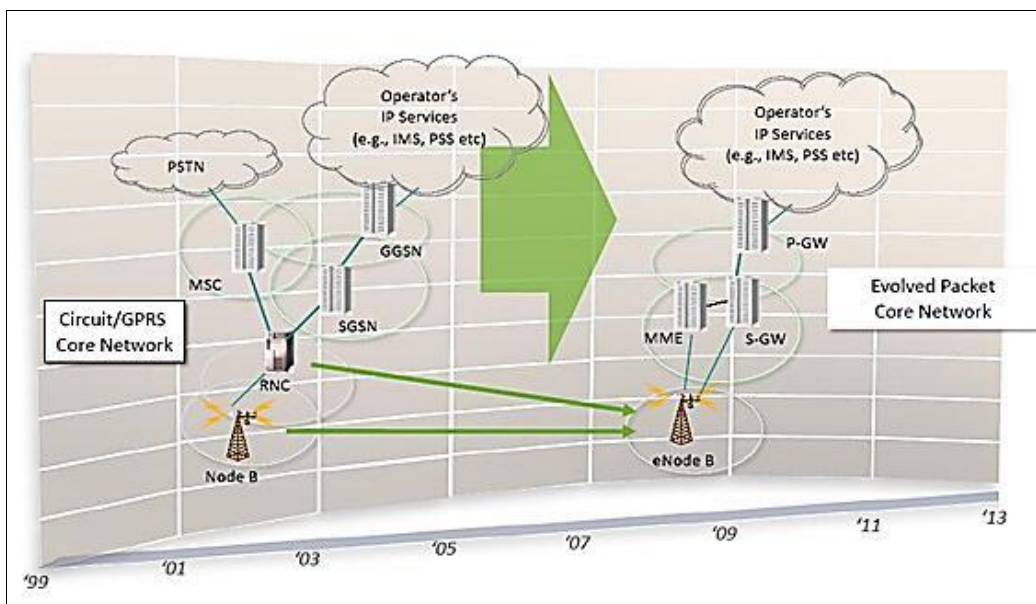
Actualmente LTE está desarrollado para poder operar en un número de bandas de frecuencia que van desde los 700 MHz hasta los 2,7 GHz con anchos de banda de 1,4 MHz hasta 20 MHz.

4.1.8. Ventajas y desventajas de LTE

Entre los distintos estándares de telefonía móvil se tienen ciertas ventajas y desventajas respecto a otro estándar, normalmente con un nuevo estándar de telefonía se cubren las deficiencias de un estándar anterior, tal es el caso de UMTS que mejoró considerablemente las tasas de bit de Kbps en GSM a Mbps en UMTS, también cuando se implementó GPRS para proveer datos de usuario por medio del Packet Switch se ampliaron las posibilidades del usuario para acceder a nuevos servicios.

Con LTE se aumentan nuevamente las tasas de bit pero se tienen problemas para implementarlos en algunos países debido al espectro de radio disponible, otra desventaja en algunos casos es la desaparición del Circuit Switch, lo que motiva a implementar soluciones como CSFB y SRVCC para mantener compatibilidad con los estándares GSM y UMTS, ya que la inversión realizada por los operadores para desplegar estas redes de telefonía puede seguir brindando beneficios debido a que siguen siendo útiles, enfocando los recursos de LTE para brindar mejores aplicaciones de usuario en el PS, gracias a la arquitectura plana y relegando las tareas de llamadas de voz y mensajes de texto del CS a las tecnologías antiguas.

Figura 74. **Comparación con LTE**



Fuente: Core Network Evolution. http://www.3gpp.org/IMG/jpg/about_epc-3.jpg. Consulta: 12 de abril de 2015.

4.1.8.1. Voz sobre IP

Una solución adicional para LTE es la posibilidad de implementar VoLTE, esta es una funcionalidad adicional de LTE para poder introducir el *payload* de voz en señalización SIP y ser transportada sobre IP. Para esto es necesaria la utilización del IMS donde la llamada es controlada por el servidor de aplicación MTAS. Para proveer servicios de *roaming* internacional, MTAS debe interactuar con el MSS con el fin de llevar el control del *payload* de voz conjuntamente.

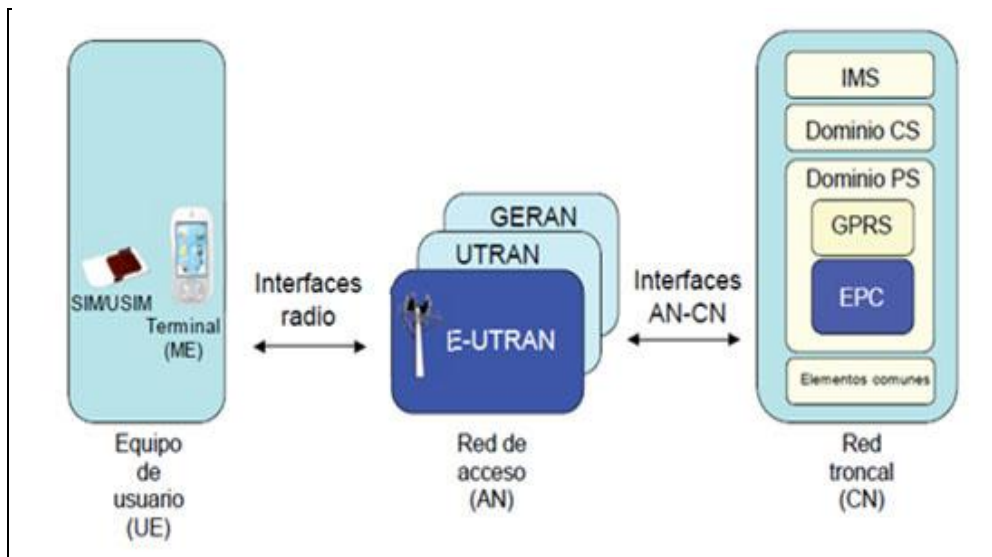
4.2. Convivencia entre las diferentes tecnologías

Con las evoluciones y las mejoras realizadas a los distintos estándares de telefonía móvil, ha sido posible cumplir con los requerimientos de los usuarios de tasas de bit más altas y más aplicaciones de servicios. Los operadores buscan las soluciones más rentables al momento de la instalación y puesta en marcha de un nuevo estándar, por medio de nuevos equipos y mejoras a los equipos existentes, buscando siempre que los equipos de tecnologías anteriores puedan seguir funcionando en conjunto con los nuevos equipos y las nuevas tecnologías. En las redes de acceso por medio de la modularidad es posible que una misma radio base funcione en las tecnologías GSM, UMTS y LTE, también que la red de Core pueda ser común a estas tres tecnologías.

En el caso de LTE ha sido necesaria la instalación de nuevos equipos para la convivencia con la red de Core por medio de la implementación del EPC, los nodos del EPC se interconectan con los nodos de Core para poder operar conjuntamente y proveer un servicio fiable y constante al usuario. En la mayoría de los casos la compatibilidad entre los equipos es crucial, ya que es necesario que los equipos se comuniquen correctamente para evitar errores de transmisión y pérdidas de datos. Para lograr una correcta convivencia, los

equipos deberán cumplir con los estándares definidos por los distintos entes regulatorios de telecomunicaciones. Conjuntamente se han definido nuevos protocolos en las distintas capas de la red para proveer esta convivencia.

Figura 75. **Convivencia entre tecnologías**



Fuente: Core Network Evolution. http://www.3gpp.org/IMG/jpg/about_epc-3.jpg. Consulta: 12 de abril de 2015.

4.2.1. **Soluciones a los problemas de las tecnologías**

Se han definido nuevos protocolos en las distintas capas que forman parte del User Plane y el Control Plane para ofrecer compatibilidad con las tecnologías antiguas, en las capas de transporte se implementó M3UA debido a la utilización de IP como nuevo medio de comunicación, con esto también la parte de aplicación de usuario ha mejorado con la implementación de nuevos protocolos como SIP, SIP-I y SUA entre los más utilizados. Adicionalmente para proveer la compatibilidad se implementan equipos como los STP, donde la

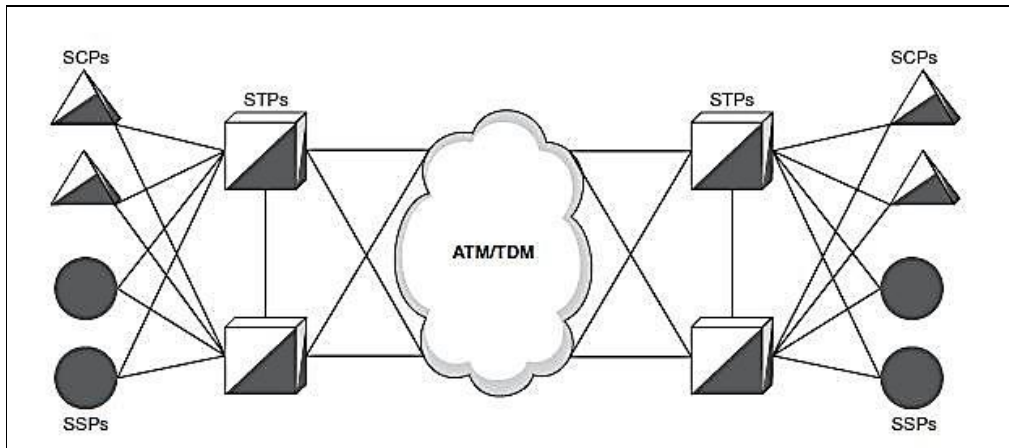
señalización se convierte para comunicar los distintos nodos de la red. Otra mejora ha sido la definición de SIGTRAN para implementar la señalización SS7 sobre IP entre los equipos.

4.2.1.1. STP

Debido a que el mecanismo de transporte principal ha sido TDM, la red de señalización requería muchos recursos para el funcionamiento de SS7 y poder proveer un transporte eficiente y confiable, en muchos casos la conexión entre nodos se realizaba por medio de enlaces directos, esto incrementaba los recursos de hardware conforme se instalaban nuevos equipos, para reducir la cantidad de hardware se implementaron los Signaling Transfer Point, (STP) la función de los STP es retransmitir los mensajes de señalización a su destino correcto. Cada conexión entre un equipo de la red con el STP es un *link* de señalización (*signaling link*) y se utiliza un conjunto de enlaces (*link set*) para ofrecer redundancia a un enlace.

Los STP realizan la retransmisión de los mensajes de señalización SS7 por medio de un Signaling Point Code (SPC) contenido en los mensajes en la capa MTP3, MTP-3b o M3UA de acuerdo al medio de transmisión utilizado, el Point Code es un código único que identifica al nodo de origen o de destino dentro de la red local o nodos de una red externa. Un OPC es el código de origen del mensaje de señalización y el DPC es el código de destino del mensaje, el STP analiza el OPC y DPC para retransmitir los mensajes de señalización hacia su destino y si no tuviera una conexión directa al destino, reenvía el mensaje a otro STP que pueda tener conexión con el destino.

Figura 76. **Implementación de STP**



Fuente: GRAYSON, Mark. *IP Design for Mobile Networks*. p. 462.

4.2.1.2. **SIGTRAN**

SIGTRAN es la implementación de la señalización SS7 sobre IP. SIGTRAN utiliza un mismo IP Backbone donde la voz, datos CS y GPRS son implementados conjuntamente. El Backbone representa una nube de equipos a la que los nodos de las redes de Acceso y Core para la intercomunicación. SCTP junto con M3UA forman una capa de unión con los protocolos de aplicación con el fin de proveer un mecanismo de transporte confiable de los mensajes de señalización sobre IP.

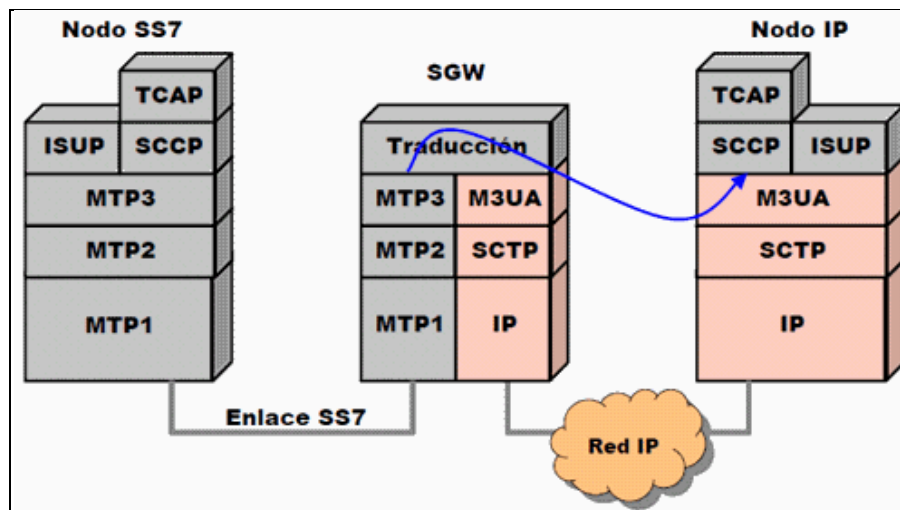
Con la introducción de SIGTRAN, hay dos nuevos tipos básicos de nodos:

- IP Signaling End Point (IP SEP): estos son *host* en el dominio IP que son origen y destino de mensajes SS7. Un SEP es lo mismo que un punto de señalización en la red SS7 tradicional pero ahora conectado en redes

basadas en IP. Los IP SEP tienen Signaling Point Code y direcciones IP a la vez.

- **Signaling Gateway (SGW):** es un *gateway* que tiene la función de recibir los mensajes SS7 y convertirlos al formato apropiado para enviarlos a través de la red. Un SGW es usualmente ubicado en un Cello MGW. El C-MGW es el nodo que se coloca en el borde de la red de Core, este tiene la función de transmitir la señalización entre las redes tradicionales y las nuevas redes SS7 con IP.

Figura 77. Implementación de SIGTRAN



Fuente: *Arquitectura de los Protocolos Sigtran.*

<http://www.monografias.com/trabajos33/telecomunicaciones/Image7162.gif>. Consulta: 12 de abril de 2015.

4.2.1.3. SUA

SCCP User Adaptation Layer (SUA) es una subcapa de aplicación definida para soportar el transporte de señalización de usuario SS7 SCCP, orientada a conexión y no orientada a conexión sobre IP usando los servicios de SCTP. SUA provee la funcionalidad de *gateway* que habilita una operación entre usuarios SCCP en el dominio SS7 y dominio IP. En SUA se definen nuevos conceptos como el Application Server Process (ASP) que son el origen y terminación del tráfico y los Signalin Gateway Process que son los *gateway* en los bordes entre las redes SS7 e IP.

4.2.1.4. SIP

Session Initiation Protocol (SIP) opera como un servicio del PS. SIP es un protocolo de aplicación con comunicación genérica de extremo a extremo (*end-to-end*) cuya función es proveer una comunicación entre clientes SIP por medio de sesiones. Los clientes SIP son identificados por un *nick name* y una dirección IP, SIP utiliza traslación DNS por medio de servidores Proxy Server para la traslación entre nombres y direcciones IP. Entre las funciones principales del protocolo SIP se tienen las siguientes:

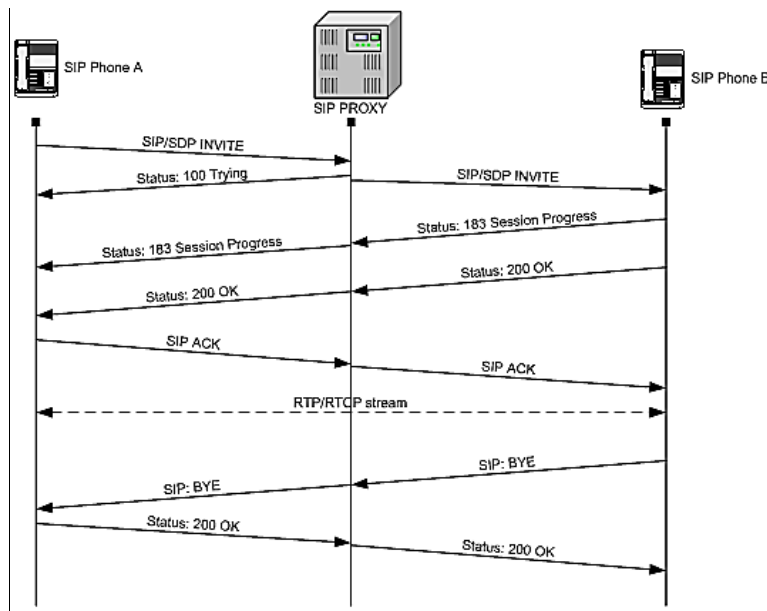
- Localización de un punto final (*end point*).
- Contactar a un *end point* para determinar su disponibilidad para establecer una sesión.
- Intercambio de información de medios para establecer la sesión.
- Modificación de sesiones existentes.
- Finalizar sesiones.

En las distintos tipos de sesiones SIP se tienen los siguientes servicios:

- Llamadas telefónicas por internet
- Conferencias multimedia
- Mensajería instantánea

SIP puede manejar llamadas telefónicas como lo hace ISUP pero es menos flexible en tiempo real y es usado solo dentro de la misma PLMN. Adicionalmente, SIP puede sustituir a ISUP pero no puede sustituir a BICC, por esto se implementa la nueva solución SIP-I. SIP también forma parte de la solución de VoLTE para permitir llamadas de voz en el dominio PS por medio de la coordinación con un servidor SIP en el IMS. SIP y SIP-I pueden funcionar sobre TCP o UDP pero no son poco implementados sobre SCTP en las redes de telefonía móvil actuales. En SIP se tienen mensajes como INVITE, 100 Trying, ACK, BYE, entre otros mensajes definidos por varias RFC de acuerdo a la aplicación que se le dé a SIP en la red.

Figura 78. Mensajes en una comunicación SIP



Fuente: *SIP as a Signalling Protocol*.

http://www.packetizer.com/ipmc/sip/papers/understanding_sip_voip/sip_call_flow.png. Consulta:

12 de abril de 2015.

4.2.1.5. SIP-I

SIP-I es la definición para el protocolo SIP con encapsulación ISUP. SIP-I permite la comunicación entre MSC Server en escenarios de roaming para permitir que clientes SIP de distintas redes puedan comunicarse a través de una red de telefonía móvil que soporte este protocolo. Una definición de SIP-I es que representa ISUP encapsulado sobre SIP o también es BICC encapsulado sobre SIP ya que SIP-I es utilizado para la interconexión entre redes ISUP o BICC y redes SIP.

Una diferencia entre SIP y SIP-I es que SIP en una red de telefonía móvil no tiene un método para la interconexión a una PSTN, ya que se necesita la

comunicación de mensajes ISUP entre la PLMN y la PSTN, en este caso es necesario utilizar SIP-I.

4.2.2. Nuevas tendencias en la red de telefonía móvil

Con los avances de los estándares de telefonía móvil han surgido más mejoras y opciones de servicios con la implementación de IP, como método común para la comunicación entre los distintos nodos de las redes de Acceso y Core. Adicionalmente surgen nuevos equipos para proveer nuevas funcionalidades que ofrezcan al usuario una mejor experiencia, como ejemplo los nodos FNR, SBC, VMS y otros que le dan un mayor nivel de competitividad a los operadores.

4.2.2.1. FNR

Flexible Number Register (FNR) es un nuevo equipo que puede ser implementado para permitir que los UE con IMSI de un operador puedan registrarse en la red de otro operador que sea de su preferencia, con esto el usuario puede engancharse a la red de un operador distinto a su operador local, cuando necesita utilizar ciertos servicios de PS o CS que su operador no le puede ofrecer o cuando por razones de falta de cobertura en algún área, necesite utilizar la señal de otro operador. Para esto se necesitan acuerdos entre los operadores para los procesos de Charging y Paging y así realizar el cobro de los servicios al usuario.

4.2.2.2. Todo en IP

Con la implementación de IP como método para la conexión en las redes LTE y EPC del EPS y nuevas soluciones para adaptar los protocolos de transporte y señalización a los medios de transmisión con IP, ha sido posible que los fabricantes desarrollen nuevos equipos basados completamente en IP. La visión All-IP significa que los equipos en las redes de telefonía móvil estén basados totalmente en IP, esto hace posible tener mayor compatibilidad entre los distintos nodos de la red, facilita las tareas de operación y mantenimiento de las redes, mejora las tasas de bit y las aplicaciones de servicios que el usuario requiere y permite una mejor escalabilidad para implementar nuevas funcionalidades y servicios ya que reduce las conversiones entre protocolos.

5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE TELEFONÍA MÓVIL LTE

5.1. Normas que debe cumplir

Para la puesta en operación de una red de telefonía móvil, debe haber un área de ingeniería que planifique la topología de la red y el dimensionamiento de los equipos que se integrarán a la red para implementar el estándar de tecnología LTE, en este proceso deben tomarse en cuenta las normas y lineamientos que los entes regulatorios de telecomunicaciones definen por medio de especificaciones técnicas y recomendaciones. Los equipos dentro de la red deben cumplir estas normas para asegurar la compatibilidad con los demás equipos de la red, así también para lograr la interoperabilidad con otros operadores locales o internacionales con los que se establecen acuerdos para brindar los servicios a los usuarios.

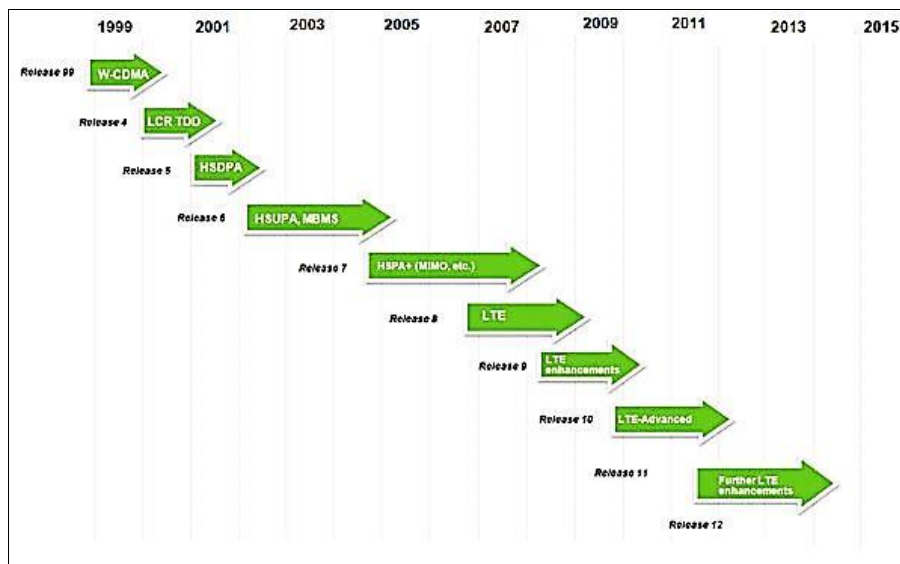
5.1.1. Normativos de 3GPP

Los principales normativos que deben cumplir los equipos que se integrarán en la red LTE en su mayor parte son los Reportes Técnicos (TR) y las Especificaciones Técnicas (TS) definidos por 3GPP, en estos documentos se encuentran detallados los pasos que deben seguirse para dimensionar un equipo de telecomunicaciones, también se encuentran las especificaciones más recientes de protocolos de comunicación y las interfaces con las que deben contar estos equipos para la operación conjunta de la red.

5.1.2. Revisiones de capacidades

3GPP, ITU, IEEE e IETF son las principales organizaciones que detallan las especificaciones más recientes para los distintos estándares aplicados en las redes de telefonía móvil, constantemente se realizan revisiones y se definen nuevas características para que sean implementadas en las redes actuales. El área de ingeniería de un operador revisa periódicamente las nuevas capacidades que un equipo de la red puede tener con base en las especificaciones actualizadas, esto permite que los equipos cuenten con nuevas funciones que mejoran los servicios ofrecidos al usuario. Un ejemplo de estas especificaciones son los distintos Release de 3GPP que buscan mejorar constantemente los estándares de telefonía móvil.

Figura 79. Release de 3GPP



Fuente: *Arquitectura de los Protocolos Sigtran.*

<http://www.monografias.com/trabajos33/telecomunicaciones/Image7162.gif>. Consulta: 12 de abril de 2015.

5.2. Equipos utilizados

Debido a que la red de telefonía móvil LTE debe brindar el mejor servicio al usuario, los equipos que se implementan en la red deben tener un alto grado de confiabilidad para asegurar un funcionamiento óptimo debido al gran volumen de tráfico que procesan. Estos equipos deben ser de alta tecnología y deben contar con distintas características como fuentes de alimentación de energía redundantes, sistemas de ventilación y enfriamiento, capacidad de conmutación por falla sin interrupción el servicio o con interrupciones mínimas por medio de redundancia interna en el equipo y redundancia de equipos, también se debe verificar la capacidad de migración ante averías mayores.

El área de ingeniería encargada del análisis de los equipos que se integraran en la red verificará que los proveedores de estos equipos cumplan con todas las normas establecidas para tomar la mejor decisión de adquisición del equipo, adicionalmente debe definir el tamaño de los dominios de fallas y su impacto en la red para implementar planes de contingencia.

5.2.1. Soluciones de proveedores

Los proveedores de los equipos de las redes de telecomunicaciones deben indicar al operador que adquiere su servicio las capacidades del equipo y las normas con las que cumple, así como también debe brindar los manuales del equipo para su integración y las actividades para la operación y el mantenimiento rutinario a realizar para asegurar una larga vida útil al equipo, podrá también ofrecer los repuestos críticos con los que se deben contar en caso de avería del equipo.

Otra solución que el proveedor puede ofrecer al operador es la redundancia de equipos, en esta habrá un dispositivo activo y un dispositivo de reserva, el dispositivo activo es utilizado para procesar todo el tráfico, y el dispositivo de reserva es el que toma el control del tráfico cuando falla el dispositivo activo o cuando se cumplen condiciones previamente establecidas del nivel óptimo de operación que brindará el equipo. Adicionalmente, puede ofrecer módulos redundantes, múltiples interfaces para la interconexión y equipos de alimentación de energía de respaldo.

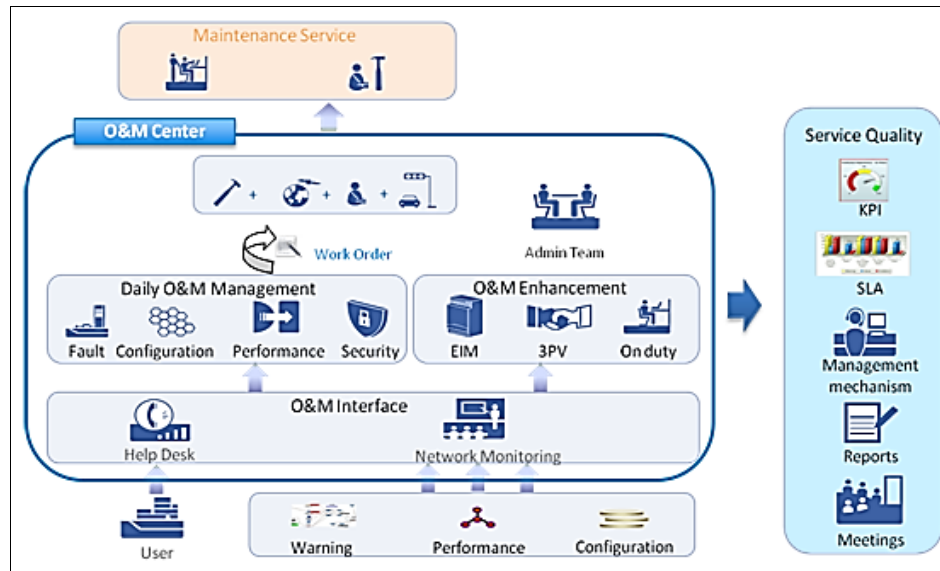
5.2.1.1. Soporte de proveedores

Es importante que un operador al integrar nuevos equipos a la red de telefonía móvil adquiera el servicio de soporte a los proveedores de los equipos. El proveedor designa un personal de contacto para brindar ingenieros de soporte en caso de fallas críticas en un equipo o para tareas avanzadas como la migración o actualizaciones de las capacidades de los equipos.

5.3. Operación de una red de telefonía móvil

Los equipos que conforman los nodos de la red LTE y el EPC deben contar con interfaces para establecer conexiones con los centros de mando. El área Operation and Maintenance (O&M) es la encargada de la operación y el mantenimiento de la red realizando tareas de monitoreo de alarmas y corrección de errores en la configuración de los equipos. Comúnmente se utiliza el protocolo de aplicación SNMP para que los equipos envíen constantemente sus alarmas internas a los equipos utilizados para la gestión de la red, adicionalmente se establecen conexiones por medio de los protocolos Telnet y SSH donde se verifica y corrige el estado de los equipos por medio de comandos definidos dentro del instructivo de cada equipo.

Figura 80. O&M



Fuente: *Wireless network optimization*.

<http://wwen.zte.com.cn/en/services/products/management/201311/W020131119340967407192.png>. Consulta: 13 de abril de 2015.

5.3.1. Gestión de los equipos

Un equipo en la red es gestionado por medio de interfaces de línea de comandos por medio de Telnet o SSH, adicionalmente pueden haber opciones de interfaces gráficas en los equipos. El área de O&M se encarga de la gestión de estos equipos y se definen los lineamientos de tareas para mantener la red en un estado óptimo y una correcta operación. Se utilizan distintas metodologías como SOX, ITIL, COBIT entre otras orientadas a tareas de las tecnologías de información (IT). Los lineamientos definidos ayudan a que las tareas de O&M sean las más adecuadas logrando un alto nivel de control y seguridad en funcionamiento y la administración de la red.

5.3.2. Rutinas de mantenimiento

Durante la operación de la red se llevan a cabo tareas rutinarias de mantenimiento, estas rutinas se definen en un cuadro de rutinas con diferente periodicidad, estas pueden ser diarias, semanales, mensuales, entre otros. Cada rutina es utilizada para asegurar que el equipo se encuentra operando correctamente y así encontrar posibles errores. Adicionalmente se realizan ventanas de mantenimiento en los equipos para instalar nuevas funcionalidades o crear nuevas interconexiones con otros equipos internos de la red o redes externas, normalmente estas tareas se programan en horarios de bajo tráfico para evitar impactar el servicio a los usuarios.

5.3.2.1. Revisión de Salud (Health-check)

Un Health-check es un listado de tareas y comandos a ejecutar para verificar la salud de un equipo en la red. El Health-check se realiza periódicamente por una persona del área de O&M familiarizado con el lenguaje del equipo, por medio de distintas tareas como la verificación de alarmas, enlaces de interconexión y búsqueda de nuevas características, se verifica que el equipo esté operando correctamente o que las actividades de una ventana de mantenimiento hayan sido las correctas asegurando que la red sigue funcionando.

Es posible realizar un Health-check de un equipo por medio de líneas de comandos en un Script y guardar evidencia del resultado de la revisión por medio de un Log interno o externo en el equipo o una captura de pantalla, con esto se puede comparar con un Health-check anterior y asegurar la correcta configuración del equipo.

5.3.2.2. Copia de respaldo (*backup*) automático

Una función muy importante que debe tener activada un equipo en la red es la capacidad de generar un *backup* automático de la configuración actual del equipo, así como realizar *backup* de los eventos como alarmas, establecimiento de sesiones y Log de los últimos comandos ejecutados por el personal que administra los equipos, este *backup* se ajusta manualmente o se encuentra preestablecido de fábrica para ejecutarse con cierta periodicidad, normalmente se realiza diariamente en horarios de bajo tráfico de usuarios.

El *backup* automático puede ser utilizado para regresar a una versión previa a una ventana de mantenimiento o en eventos de fallas en la red, para volver a un estado previo a la falla o para realizar una migración del equipo. El resultado del *backup* automático se almacena internamente en el equipo y puede ser configurado para exportarse automáticamente o posteriormente puede ser exportado manualmente hacia medios externos como DVD, DAT o servidores de almacenamiento.

5.3.2.3. Copia de respaldo (*backup*) manual

Durante una tarea de Health-check o una ventana de mantenimiento muchas veces es necesario generar un *backup* manual de la configuración interna de un equipo, esto es necesario para tener un punto de regreso al momento de surgir una falla en el equipo previo a tareas de *troubleshooting* que resulten no exitosas o en casos de ventanas de mantenimiento para hacer una nueva configuración o actualización al equipo y que los resultados de la ventana no sean los esperados, el *backup* manual es realizado por interfaz de línea de comandos o por interfaz gráfica por parte de una persona designada de O&M y su resultado se almacena internamente en el equipo o puede ser exportado.

5.3.2.4. Actualización (*update*)

Una tarea importante realizada en las ventanas de mantenimiento de un equipo es un *update*, donde se realiza la actualización del *firmware* o del sistema operativo que hacen funcionar al equipo, esta actualización es también conocida como un parche. Debido a que los proveedores de los equipos o el área de ingeniería de un operador realizan una revisión de las capacidades del equipo y los protocolos actuales, constantemente es necesario realizar una actualización del equipo para instalar las nuevas características. También pueden realizarse tareas de *update* debido a que el proveedor encuentra errores en los equipos en sus laboratorios de pruebas y define actualizaciones para corregir estos errores.

5.3.2.5. Mejora (*upgrade*)

El *upgrade* es utilizado para realizar actualizaciones de mayor nivel en un equipo, estas actualizaciones normalmente llevan al *firmware* o al sistema operativo a una nueva versión que tendrá nuevas características y que puede ser completamente diferente a la versión anterior. El *upgrade* también se realiza durante ventanas de mantenimiento y normalmente llevará más horas de ejecución que un *update*. Adicionalmente el *upgrade* puede necesitar personal en campo o en las salas donde se ubican los equipos para realizar ciertas tareas manuales definidas en su programación.

5.3.2.6. Marcha atrás (*roll-back*)

El *roll-back* es la actividad de regresar la configuración actual de un equipo a una versión anterior por medio de comandos o interfaz gráfica, este es un proceso de dar marcha atrás en una ventana de mantenimiento o actividades incorrectas de *troubleshooting*, durante el *roll-back* es posible también que se necesite utilizar un *backup* manual o un *backup* automático previo para que el equipo regrese a la condición inicial previa a cambios no exitosos y que pongan en riesgo la gestión o la correcta operación del equipo.

Durante una ventana de mantenimiento se realizan pruebas previas y pruebas posteriores, también se realizan Health-check previos y posteriores a las ventanas para verificar que el equipo sigue operando correctamente y no se presentan nuevas alarmas, si la ventana de mantenimiento pasa las pruebas correctamente se finaliza la ventana como exitosa, por el contrario si se encuentran inconsistencias se realiza el *roll-back* y se verifica nuevamente el funcionamiento de la red, posteriormente se analiza por medio de Log u otros mecanismos para encontrar los puntos de error de la ventana.

5.3.3. Gestión de alarmas

Otra tarea muy importante del área de O&M es la gestión de las alarmas, esto significa las tareas que se deben realizar en caso de encontrar un error o una alarma en la configuración o el funcionamiento de los equipos de la red, por medio de distintas aplicaciones y la comunicación de los equipos con los centros de control se obtienen las alarmas que se deben monitorear constantemente y se definen los planes de acción ante estas alarmas. Un equipo utilizado para la gestión de los nodos es un OSS al cual reportan la mayoría de los equipos de la red sus alarmas por medio de conexiones SNMP.

5.3.3.1. Criticidad de alarmas

Por medio del establecimiento de un catálogo de alarmas que puede presentar un equipo, se determina el dominio de falla del equipo o los niveles de criticidad de las alarmas y los planes de acción a realizar al encontrar una nueva alarma. Por medio de las distintas metodologías de IT se definen los pasos a realizar al presentarse una alarma en un equipo de la red y se designa al personal responsable de atender la alarma y reportar a este personal para que tome las acciones correctivas para corregir el origen de la alarma.

Normalmente las alarmas son catalogadas por niveles de criticidad, cada nivel de criticidad representa el nivel de impacto que tiene la alarma tanto para el funcionamiento del equipo como el impacto general en la red, los niveles más comunes de criticidad de alarmas de acuerdo al fabricante de los equipos son los siguientes:

- *Warning:* advertencia, representa una alerta que informa que un parámetro parece estar fuera de lo normal, normalmente esta alarma puede corregirse automáticamente por el equipo o puede ascender a otra categoría si no se corrige.
- *Minor:* alarma menor, estas alarmas normalmente requieren la intervención del personal de O&M pero pueden no representar un impacto en el equipo o el servicio y su tiempo de resolución puede aplazarse.
- *Major:* alarma mayor, estas alarmas pueden estar impactando el funcionamiento del equipo o el servicio al usuario y necesitan atención inmediata para su corrección.
- *Critical:* crítica, la alarma crítica normalmente requiere actividades más avanzadas de *troubleshooting* o incluso intervención del proveedor.

5.3.3.2. Falla de equipo

Durante el monitoreo constante de las alarmas en la red pueden presentarse nuevas alarmas con diferente nivel de criticidad, en este caso se puede determinar que hay una falla que está afectando al equipo o al servicio del usuario, estas fallas son etiquetadas con un número y se informa al personal respectivo para que atienda la falla. Los números de falla y su descripción se registra en una bitácora que posteriormente puede ser analizada para determinar si un equipo está presentando alarmas constantemente y requiere un procedimiento de Update, Upgrade o actividades avanzadas de *troubleshooting* para una corrección definitiva del origen de la alarma.

5.3.3.3. Escalación de fallas en equipos

Al presentarse una alarma en un equipo se analiza el nivel de criticidad de la alarma observada, se anota el número de falla y se designa al personal responsable de atender la falla para buscar una corrección al origen de la alarma. El personal a cargo de atender la falla revisa el manual del equipo para verificar los pasos a seguir para corregir el origen de la alarma y realiza diversas tareas como ejecución de comandos, matrices de pruebas del servicio y al finalizar estas tareas verifica que la alarma ya no esté presente en el equipo.

Es posible que las actividades realizadas para atender una falla no corrigieran la alarma y sea necesario escalar la falla a un personal interno o personal de soporte del proveedor más capacitado para que analice la alarma y encuentre el método para su corrección.

5.3.3.4. Solicitud de servicio del cliente al proveedor (*customer service request*)

Debido a que en algunos casos es necesario contar con apoyo del proveedor de un equipo para corregir una alarma que sigue presente en el equipo, se establecen acuerdos con el proveedor para que este brinde personal de soporte al operador, en estos casos el personal de O&M realiza una solicitud de servicio al proveedor (CSR) informando la alarma presente en el equipo y las actividades realizadas hasta el momento y que no han sido exitosas para corregirla, el proveedor apertura un número de CSR o *ticket* y designa al personal que analizará y buscará una solución para corregir la alarma.

5.3.3.5. Acuerdo de nivel de servicio (*Level Service Agreement*)

Cuando el operador tiene una falla que está afectando el servicio al usuario, comúnmente se genera un número de *ticket* o falla con un LSA definido, esto es un acuerdo entre el operador y el usuario del tiempo en que se espera corregir el problema para que el usuario pueda volver a tener el servicio que solicita del operador, otro caso de LSA es cuando se apertura un CSR con el proveedor, el proveedor establece un tiempo para la solución de la alarma en el equipo, cuando estos tiempos no se cumplen normalmente esto puede representar pérdidas para el operador y multas al proveedor por el tiempo que el servicio del usuario se encuentra interrumpido.

5.3.4. Solución de problemas (*troubleshooting*)

El concepto de *troubleshooting* o solución de problemas es utilizado comúnmente en una red de telefonía móvil como actividades avanzadas de O&M, para corregir el origen de alarmas mayores y críticas en un equipo y que pueden estar generando una afectación al equipo o al servicio brindado al usuario. Cuando se realizan las actividades de *troubleshooting* es necesario buscar distintos métodos para analizar la causa que origina la alarma y distintas pruebas y comandos para solucionar el inconveniente. Adicional a utilizar el manual del equipo en estos casos también es necesario apoyarse de los *log* y captura de trazados para encontrar las posibles causas de las alarmas presentes. Otra actividad es el cambio de hardware que haya sufrido averías.

5.3.4.1. Registro de eventos (*log*)

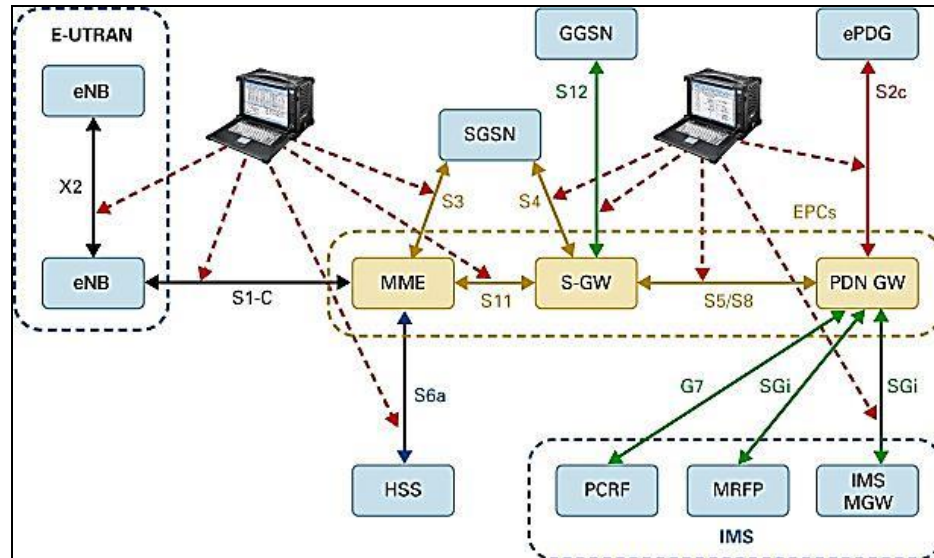
Un *log* o registro es generado internamente por un equipo de acuerdo al lenguaje del sistema operativo que hace funcionar al equipo, el contenido de un *log* puede ser las alarmas presentes y alarmas pasadas que se encuentran en el equipo, también puede haber un *log* de los intentos correctos e incorrectos para establecer sesiones con el equipo por el personal a cargo de su administración, estos *log* son útiles para determinar que sucedió en el equipo antes de presentarse cierta alarma relacionándola con alarmas ya limpiadas o encontrar posibles comandos ejecutados por una persona que hayan provocado un error en el funcionamiento del equipo. El *log* puede ser exportado, luego se analiza y realizan las actividades de *troubleshooting* adecuadas.

5.3.4.2. Captura de trazados

La captura de trazados es una actividad muy útil para identificar posibles causas que estén generando una afectación del servicio a un usuario particular o a los usuarios en general. Por medio de las herramientas internas de un equipo de la red o por medio de equipos adicionales implementados en la red es posible capturar los mensajes de señalización que se transmiten entre los distintos equipos, estas capturas son llamadas trazados. Cuando se realiza un trazado se realizan pruebas del funcionamiento del servicio en un UE por medio de matrices de pruebas y se inicia la captura del tráfico de señalización.

Los trazados posteriormente son analizados por medio de herramientas de análisis de protocolos, para identificar posibles errores en la configuración de un equipo o la incompatibilidad entre los distintos protocolos de comunicación, establecidos entre los equipos de la red. Existen distintas herramientas de análisis de protocolos que son libres o pagadas y que el personal de O&M utilizar para apoyarse al momento de analizar un trazado y corregir la afectación del servicio a los usuarios.

Figura 81. Captura de trazados en LTE



Fuente: *Wireless network optimization*.

http://www.artizanetworks.com/img/lte_net_fig03.jpg. Consulta: 13 de abril de 2015.

5.4. Optimización de la red

Una función muy importante de un ingeniero en el área de telefonía móvil es realizar el análisis del rendimiento de los equipos de la red en sus distintas funciones, para brindar el servicio al usuario. Posteriormente se toman las medidas correctivas necesarias para corregir posibles errores en los equipos y se planifican mejoras para ofrecer nuevos servicios. Un ejemplo de optimización en la red es el establecimiento de nuevos eNB en zonas con más demanda de usuarios de la planificada inicialmente, otro ejemplo es la manipulación de la preferencia de un enlace en la red de Core con base en el costo monetario del enlace o dar prioridad a un proveedor o un carrier específico con el que se tienen mejores acuerdos para escenarios de *roaming* internacional.

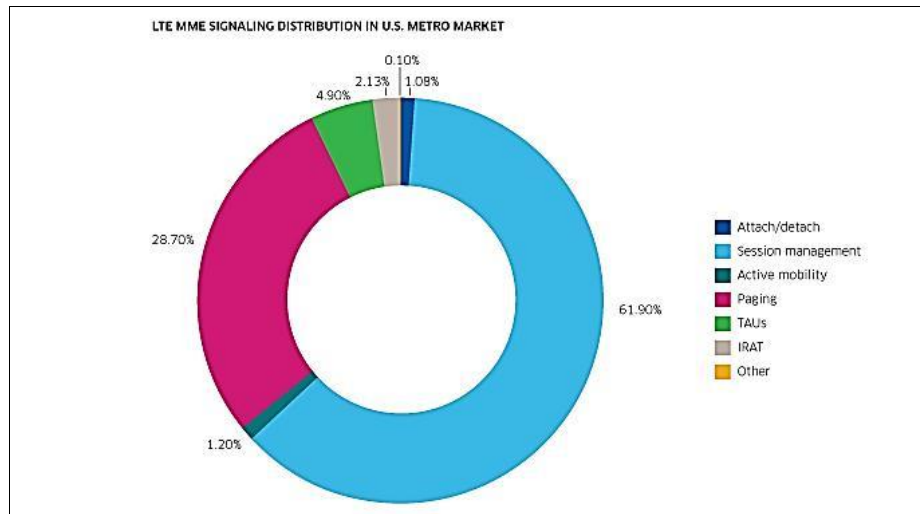
5.4.1. Administración de capacidades (*capacity management*)

Capacity management es el término utilizado para definir la administración de la información obtenida de nuevas funcionalidades, que puede tener un equipo o actualizaciones de los diversos protocolos que utilizan los equipos de la red, para su operación conjunta y que brindan nuevas capacidades a los equipos actuales. Al definir que hay una nueva versión de software o un nuevo hardware para expandir las capacidades de los equipos, se planifican ventanas de mantenimiento donde se realizan las actualizaciones a los equipos y se miden las mejoras obtenidas en el funcionamiento individual del equipo y de la red en general. Otro ejemplo es la definición de nuevas dependencias en la red de Acceso donde un NodeB puede ser el punto de conexión de nuevos NodeB.

5.4.2. Indicadores de desempeño principales (KPI)

Key Performance Indicators (KPI) son indicadores de desempeño principales, los equipos de la red realizan mediciones con base en ciertos parámetros configurados de acuerdo a la función del equipo y a las necesidades del operador y generan reportes que luego son transmitidos a servidores externos. Los KPI son herramientas útiles para analizar el rendimiento de la red y ubica posibles puntos de falla donde un equipo esté operando, fuera de los parámetros establecidos o ubicar que los enlaces entre los nodos muestran estadísticas degradadas, lo cual puede representar una mala calidad de servicio al usuario y luego tomar medidas correctivas para mejorar el rendimiento.

Figura 82. Reportes de KPI



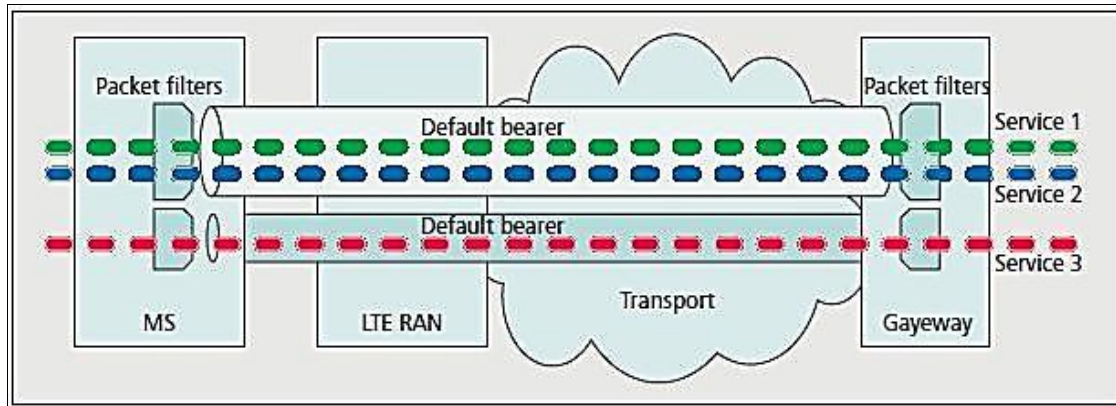
Fuente: *Arquitectura de los protocolos Sigtran.*

<http://www.monografias.com/trabajos33/telecomunicaciones/Image7162.gif>. Consulta: 12 de abril de 2015.

5.4.3. Calidad de servicio (QoS)

Por último, otro parámetro que puede ser definido en los equipos de la red de telefonía móvil es la calidad de servicio (QoS), de acuerdo a la función del equipo en la red es posible ajustar ciertos parámetros para dar alta prioridad a servicios como las aplicaciones en tiempo real del PS y dar prioridad baja a servicios como e-mail o mensajería de texto que demandan menos recursos de la red y que pueden soportar cierto retraso de entrega. Con el análisis de QoS se establecen prioridades en la red LTE para establecer portadoras dedicadas para los servicios principales y portadoras por defecto a los servicios secundarios. Estos parámetros pueden ser ajustados en los equipos y luego se mide su rendimiento por medio de los KPI.

Figura 83. **Aplicación de QoS**



Fuente: *Arquitectura de los protocolos Sigtran.*

<http://www.monografias.com/trabajos33/telecomunicaciones/Image7162.gif>. Consulta: 12 de abril de 2015.

CONCLUSIONES

1. Con el desarrollo de este trabajo de graduación ha sido posible explicar el funcionamiento de una red de telefonía móvil y comprender conceptos fundamentales de las telecomunicaciones.
2. Con la descripción de las redes de telefonía móvil GSM y UMTS ha sido posible identificar el funcionamiento de estas redes de telefonía móvil.
3. Ha sido posible describir la red de telefonía móvil LTE, así como los requisitos para su implementación.
4. Por medio de la comparación entre las tecnologías de las redes de telefonía móvil ha sido posible determinar su interoperabilidad y la convergencia hacia el protocolo IP.
5. Ha sido posible describir la operación y mantenimiento de una red de telefonía móvil LTE, indicando las funciones principales que un ingeniero realiza en las redes LTE.

RECOMENDACIONES

1. Al ingeniero que busca desempeñarse en el área de la telefonía móvil, tomar en cuenta el funcionamiento de una red de telefonía móvil básica para identificar los componentes principales de la red.
2. Ubicar los distintos documentos que definen las especificaciones de los estándares utilizados en las redes de telefonía móvil GSM y UMTS, buscando en los reportes técnicos de 3GPP, ITU y otras entidades que norman estas redes.
3. Estar al pendiente de las actualizaciones de los distintos protocolos y funciones de los equipos que se implementan en una red de telefonía móvil LTE, para mantener la compatibilidad entre los distintos equipos y las redes externas.
4. Identificar las similitudes y diferencias entre las tecnologías implementadas en las redes de telefonía móvil, para desarrollar actividades de corrección y mejoras en las redes de telefonía móvil de acuerdo a la tecnología utilizada.
5. Verificar que se cumplan a tiempo las tareas de operación y mantenimiento de una red de telefonía móvil LTE, para asegurar su funcionamiento óptimo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANTTI TOSKALA, Harri Homa. *WCDMA for UMTS Radio access for Third Generation Mobile Communications*. 3a ed. England: John Wiley & Sons, 2004. 481 p.
2. EBERSPÄCHER, Jörg; VÖGEL, Hans-Jörg; BETTSTETTER, Christian. *GSM switching, services and protocols*. 2a ed. England: John Wiley & Sons, 2001. 225 p.
3. GRAYSON, Mark; SHATZKAMER, Kevin; WAINNER Scott. *IP design for mobile networks*. Indianapolis; USA: Cisco Press, 2009. 106 p.
4. NOHRBORG, Magdalena. *3GPP. LTE Overview*, [en línea].
<<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>>.
[Consulta: 10 de agosto de 2014].
5. OLSON, Anders. *Understanding changing telecommunications building a successful telecom business*. England: John Wiley & Sons, 2003. 55 p.
6. The Organizational Partners of the 3rd Generation Partnership Project (3GPP). *Guidance for use of the LTE logo*. [en línea].
<<http://www.3gpp.org/about-3gpp/19-lte-logo-use>>. [Consulta: 10 de agosto de 2014].

7. WANNSTROM, Jeanette. *3GPP. LTE-Advanced*. [en línea]. (Submission, June 2013). [en línea]. <<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>>. [Consulta:10 de agosto de 2014].

ANEXOS

Anexo 1. Orientaciones para uso del logo LTE

Guidance for use of the LTE logo



For the on-line LTE logo use guide visit <http://www.3gpp.org/LTE-Logo-use>
The Organizational Partners of the 3rd Generation Partnership Project (3GPP) have agreed that the Project's name and logo may be made available for use by manufacturers and service providers to declare that their products are based on the Project's specifications.

Implementers wishing to declare conformity to the 3GPP specifications may mark their equipment and documentation with the LTE and LTE-Advanced logo and the acronym LTE. This arrangement is entirely voluntary and is one of selfdeclaration by the manufacturer, supplier, etc.

The European Telecommunications Standards Institute (ETSI) has registered "LTE" as a trademark for the benefit of the 3GPP Partners and is the copyright holder of the LTE and LTE-Advanced logo.

Any use of the LTE name or LTE or LTE-Advanced logo is subject to the approval of ETSI and may be monitored by ETSI or on its behalf. Any misuse of the name or logo detected by a member of the 3GPP community should be brought to the attention of the trademark holder, by email to legal@etsi.org. The permission to use the LTE name or LTE or LTE-Advanced logo does not involve or imply any certification by ETSI (a partner in 3GPP) or the 3GPP community that the products or services of manufacturers or service providers actually comply with the 3GPP specifications. It is intended simply and only to provide a basis of reference for users, network operators and other manufacturers and service providers.

Companies wishing to use the LTE name and/or LTE or LTE-Advanced logo are requested to send the information below to kevin.flynn@3gpp.org:

- Company Name and address & website url
- Your details : First name, Family name & position within the company
- Reasons for requesting the use of the LTE name and/or LTE and/or LTE Advanced logo
- The nature of the intended use of the LTE name and/or the LTE and/or LTE Advanced logo
- Countries you would expect to use the LTE name and/or the LTE and/or LTE Advanced logo
- 3GPP Organizational Partner your company is a member of (If any)

After submitting the request, the applicant will either receive an acknowledgement and the terms of use that need to be complied with or a rejection. Further, with regards to the LTE and LTE Advanced logo the applicant will receive a copy of the LTE and/or LTE Advanced logo for use.

Continuación del anexo 1.

Guidance for use of the LTE logo

For the on-line LTE logo use guide visit
<http://www.3gpp.org/LTE-Logo-use>



An exclusion zone (the minimum unobstructed area around the logo) has been developed to make sure that it remains sufficiently prominent. Do not allow type, rules or any other graphic device into this area.

Example shows minimum area as shown by thick keyline.



Approved LTE Logo
LTE Logo with reflection. The same exclusion zone applies as illustrated below



Continuación del anexo 1.

Guidance for use of the LTE logo

For the on-line LTE logo use guide visit <http://www.3gpp.org/LTE-Logo-use>

Acceptable use of the approved LTE logo



Coloured logo on white background



Coloured logo on black background

Acceptable use of the approved LTE logo



Black logo on white Background



White logo on black background



Do not place the logo on a textured or screen background


Accepted use of logo on a textured or screen background

Continuación del anexo 1.


Guidance for use of the LTE logo

For the on-line LTE logo use guide visit <http://www.3gpp.org/LTE-Logo-use>

LTE Advanced Logo



LTE Advanced Logo exclusión Zone



The image contains two examples of the LTE Advanced logo. The top example shows the logo in its standard form: a red signal icon above the word 'lte' in a bold, lowercase sans-serif font, with '4DVANCED' in a smaller, uppercase sans-serif font to the right. The bottom example shows the logo with a grey exclusion zone around it, consisting of a larger, semi-transparent version of the logo elements.

Fuente: Red de telefonía móvil LTE.