



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

**PROPUESTA DE GUÍA DE ESTUDIO PARA MEJORAR LOS CONOCIMIENTOS
INTRODUCTORIOS SOBRE REDES MÓVILES, PARA EL CURSO DE COMUNICACIONES 3,
ÁREA DE ELECTRÓNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Cesar Eulalio Revolorio Lara

Asesorado por el Ing. Julio Cesar Solares Peñate

Guatemala, febrero de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE GUÍA DE ESTUDIO PARA MEJORAR LOS CONOCIMIENTOS
INTRODUCTORIOS SOBRE REDES MÓVILES, PARA EL CURSO DE COMUNICACIONES 3,
ÁREA DE ELECTRÓNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CESAR EULALIO REVOLORIO LARA
ASESORADO POR EL ING. JULIO CESAR SOLARES PEÑATE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR.	Dr. Juan Carlos Córdoba Zeceña.
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Walter Giovanni Álvarez Marroquín
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:

**PROPUESTA DE GUÍA DE ESTUDIO PARA MEJORAR LOS CONOCIMIENTOS
INTRODUCTORIOS SOBRE REDES MÓVILES, PARA EL CURSO DE COMUNICACIONES 3,
ÁREA DE ELECTRÓNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 20 de mayo de 2020.

Cesar Eulalio Revolorio Lara

Guatemala, 18 de noviembre de 2021

**Señor
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.**

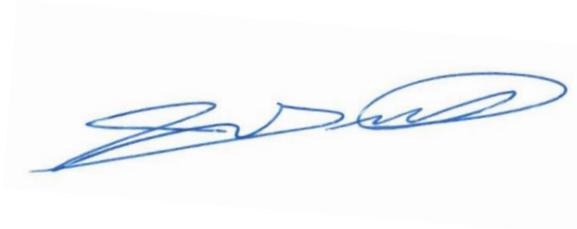
Estimado Ingeniero:

Por este medio me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA DE GUÍA DE ESTUDIO PARA MEJORAR LOS CONOCIMIENTOS INTRODUCTORIOS SOBRE REDES MÓVILES, PARA EL CURSO DE COMUNICACIONES 3, ÁREA DE ELECTRÓNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante **Cesar Eulalio Revolorio Lara**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

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

Sin otro en particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'JCS', is centered on the page. The signature is fluid and cursive.

**Ing. Julio César Solares Peñate
Asesor**



Guatemala, 23 de noviembre de 2021

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

Estimado Señor director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE GUÍA DE ESTUDIO PARA MEJORAR LOS CONOCIMIENTOS INTRODUCTORIOS SOBRE REDES MÓVILES, PARA EL CURSO DE COMUNICACIONES 3, ÁREA DE ELECTRÓNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante **Cesar Eulalio Revolorio Lara**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

REF. EIME 39.2021.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante César Eulalio Revolorio Lara: **PROPUESTA DE GUÍA DE ESTUDIO PARA MEJORAR LOS CONOCIMIENTOS INTRODUCTORIOS SOBRE REDES MÓVILES, PARA EL CURSO DE COMUNICACIONES 3, ÁREA DE ELECTRÓNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 29 de noviembre de 2021.

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.094.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE GUÍA DE ESTUDIO PARA MEJORAR LOS CONOCIMIENTOS INTRODUCTORIOS SOBRE REDES MÓVILES, PARA EL CURSO DE COMUNICACIONES 3, ÁREA DE ELECTRÓNICA, ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por: **Cesar Eulalio Revolorio Lara** , después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, febrero de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** A quien agradezco, brindarme sabiduría, perseverancia y salud durante toda mi vida.
- Mis padres** Cesar Revolorio y Nidia Lara, por ser mi soporte ayuda y motivación para seguir adelante.
- Mis hermanos** Braulio, Gabriela, Lucia y Concepción Revolorio, porque cada uno me ha dado lecciones que ayudan a completar la persona que soy.
- Mis abuelos** Tanto maternos (Lucita Ballina y Eulalio Lara) como paternos (Rosario Mayorga y Cesar Guerra), porque gracias a ellos tengo la familia que tanto aprecio y me motiva a continuar.
- Mis tíos y primos** Porque cada uno de nuestros familiares aporta experiencias y ejemplos positivos que me han ayudado a crecer y forjar quien soy.
- Mis amigos** Porque gracias a ellos la vida universitaria fue una de las mejores épocas, con experiencias tanto positivas como negativas brindando una mano sincera en cada momento, cada reto universitario pudo ser superado.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi otro hogar y donde pude adquirir todos los conocimientos que me han ayudado a avanzar.
Facultad de Ingeniería	Por ser la Facultad que me adoptó y brindó muchas bonitas esperanzas y experiencias.
Mi familia	Por ser mi motivación, soporte e inspiración en cada etapa de la vida, siempre estaré agradecido porque sin ustedes esta meta no sería posible.
Mis amigos de la Facultad	Electrónicos, eléctricos, mecánicos eléctricos, civiles, industriales, químicos, sistemas, e incluso de diferentes facultades, desde momentos como recibir clases en el mismo salón, fallar con un globo aerostático, pasear en Petén, hacer visitas importantes durante un accidente y muchas otras experiencias, gracias por estar en momentos importantes y ayudar a que la vida universitaria fuera más amena.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. HISTORIA E INTRODUCCIÓN A REDES MÓVILES.....	1
1.1. Historia de las telecomunicaciones	1
1.2. Telégrafo óptico.....	2
1.3. Semáforo.....	5
1.4. Invención de la batería	7
1.5. Telégrafo eléctrico	9
1.6. Teléfono.....	11
1.7. Transmisión de ondas moduladas.....	12
1.7.1. Transmisión por modulación de la amplitud de la onda portadora	13
1.7.2. Transmisión a través de la modulación de frecuencia de la onda portadora	14
1.8. Inicio de la televisión	15
1.9. Comunicaciones satelitales	18
1.10. Inicio de la telefonía celular	19
1.10.1. Telecomunicaciones por celulares.....	20
1.10.2. Principales elementos de una red de telefonía móvil	21
1.10.2.1.1. Servicios de telefonía ...	22

	1.10.2.1.2.	Llamadas telefónicas	22
	1.10.2.1.3.	Mensajes de texto	22
	1.10.2.1.4.	Datos de usuario	23
	1.10.2.2.	Estación base	23
	1.10.2.3.	Controlador de estaciones base y centrales móviles.....	23
	1.10.2.4.	Radio canales.....	25
	1.10.2.5.	Canales de control (CCH)	27
	1.10.2.6.	Canales de tráfico (TCH).....	27
	1.10.2.7.	Red de telefonía móvil básica	28
1.10.3.		Descripción de red de acceso	29
	1.10.3.1.	Técnicas de acceso.....	30
	1.10.3.2.	Celda	31
1.10.4.		Reutilización de recursos	33
1.10.5.		Módulos de radio base	34
1.10.6.		Descripción de red del núcleo	35
	1.10.6.1.	Arquitectura en capas	36
	1.10.6.2.	Capa de aplicación.....	37
		1.10.6.2.1. Capa de control.....	37
		1.10.6.2.2. Capa de conectividad....	38
	1.10.6.3.	Partes de una red de núcleo	38
		1.10.6.3.1. Conmutación de circuitos (<i>CircuitSwitch</i>)	39
		1.10.6.3.2. Centro de conmutación móvil (MSC).....	40
		1.10.6.3.3. Registro de ubicación visitada (VLR).....	41

1.10.6.3.4.	Registro de ubicación local (HLR).....	42
1.10.6.3.5.	Centro de autenticación (AUC)	42
1.10.6.3.6.	Registro de identidad de equipo (EIR)	42
1.10.6.3.7.	Puerta de enlace de medios (MGW)	43
1.10.6.3.8.	Puerta de enlace del Centro de Conmutación Móvil (GMSC)	43
1.10.6.3.9.	Puerta de enlace de registro de ubicación (GLR).....	44
1.10.6.3.10.	Red móvil terrestre pública (PLMN).....	44
1.10.6.3.11.	Red telefónica pública conmutada (PSTN).....	44
1.10.7.	Conceptos importantes de telefonía móvil.....	47
1.10.7.1.	Plano de usuario (<i>user plane</i>).....	47
1.10.7.2.	Flujo de datos (<i>data stream</i>).....	47
1.10.7.3.	Portadora de datos (<i>data bearer</i>).....	47
1.10.7.4.	Rendimiento (<i>throughput</i>).....	48
1.10.7.5.	Traspaso (<i>Handover</i>).....	48
1.10.7.6.	Normas de la telefonía móvil	49
1.10.7.6.1.	3rd Generation Partnership Project (3GPP)	49

	1.10.7.6.2.	Unión internacional de telecomunicaciones (ITU).....	50
	1.10.7.6.3.	El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)	51
	1.10.7.6.4.	Internet <i>Engineering Task Force</i> (IETF)	52
	1.10.8.	Resumen de diferentes tecnologías de redes móviles	52
2.		REDES DE SEGUNDA GENERACIÓN, GSM	53
2.1.		Descripción de la red GSM	53
	2.1.1.	Aplicaciones usadas en GSM.....	54
2.2.		Métodos de acceso utilizados en GSM	56
	2.2.1.	Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	56
	2.2.2.	Acceso múltiple por división de código (CDMA).....	56
	2.2.3.	Interfaz A-bis	59
	2.2.4.	Interfaz Um.....	59
	2.2.5.	Interfaz A	60
	2.2.6.	Interfaz A-ter.....	61
2.3.		Traspaso de elementos (<i>Handoff/Handover</i>)	62
	2.3.1.	Tipos de <i>Handover</i>	63
	2.3.2.	Proceso de <i>Handover</i> exitoso	64
	2.3.3.	Tipos que existen en los procesos de <i>Handover</i>	66
	2.3.3.1.	Traspasó Intra-Celda (Intra-Cell <i>Handover</i>).....	66
	2.3.3.2.	<i>Handover</i> entre celdas de una BSC	66

2.3.3.3.	<i>Handover</i> entre celdas de diferente BSC	66
2.3.3.4.	<i>Handover</i> entre celdas de diferente MSC.....	67
3.	REDES DE TERCERA GENERACION, 3G / UMTS	69
3.1.	Descripción de la red UMTS	69
3.2.	Métodos de acceso utilizados en UMTS.....	71
3.3.	Arquitectura de red UMTS	73
3.3.1.	Dominio del equipo de usuario	73
3.3.2.	Dominio de la infraestructura	75
3.4.	Características generales	77
3.4.1.	Limitaciones UMTS.....	78
3.4.2.	Consideraciones para transmisión.....	79
3.4.3.	Interfaces de red.....	84
3.4.4.	Dominio UE (<i>User Equipment</i>).....	84
3.4.4.1.	Dominion IE (<i>Infraestructure Equipment</i>)	86
3.4.5.	Traspaso de elementos (<i>Handover</i>)	87
3.4.5.1.	Traspaso forzado o duro:.....	88
3.4.5.2.	Traspaso suave:	89
3.4.5.3.	Traspaso entre RAT/entre sistemas o iRAT.....	90
3.4.5.4.	Traspaso de UMTS a GSM.....	91
3.4.6.	Funcionalidades del núcleo en UMTS	92
4.	REDES DE CUARTA GENERACIÓN, LTE	95
4.1.	Características generales	95
4.1.1.	Métodos de acceso utilizados en LTE	98

4.1.2.	Interfaces de red	104
4.1.2.1.	E- UTRAN (<i>Access Network, AN</i>)	105
4.1.2.1.1.	MME (<i>Mobility Management Entity</i>)	107
4.1.2.1.2.	Serving Gateway (S-GW).....	108
4.1.2.1.3.	PDN Gateway (P-GW)	109
4.1.2.1.4.	HSS (<i>Home Subscriber Server</i>)	110
4.1.2.1.5.	Interfaz MME S-GW (S11)	110
4.1.2.1.6.	Interfaz MME MME (S10)	111
4.1.2.1.7.	Interfaz P-GW - Redes externas (SGi)	112
4.1.2.1.8.	Interfaces P-GW - S-GW (S5 y S8)	113
4.1.2.1.9.	Interfaz HSS MME (S6a)	114
4.1.3.	Consideraciones para transmisión	114
4.1.3.1.	Pérdida de trayectoria (<i>Path Loss</i>)	115
4.1.3.2.	Ensombrecer (<i>Shadowing</i>)	116
4.1.3.3.	Desvanecimiento multitrayecto (<i>Multipath Fading</i>)	117
4.1.3.4.	Interferencia co-canal	117
4.1.3.5.	Interferencia de canales adyacentes..	118
4.1.4.	Traspaso de elementos (<i>Handover</i>)	119
4.1.4.1.	Decisión de traspaso	123
4.1.4.2.	Procedimiento de traspaso.....	126

	4.1.4.2.1.	Fase de preparación de la transferencia.....	126
	4.1.4.2.2.	Fase de ejecución del traspaso.....	128
	4.1.4.2.3.	Fase de la finalización del traspaso.....	129
	4.1.4.2.4.	Tiempo de interrupción del traspaso.....	130
	4.1.5.	LTE Avanzado	132
5.	GUÍA DE ESTUDIO Y EJERCICIO PROPUESTO.....		135
5.1.	Temas planteados		135
5.2.	Tiempo estimado para el aprendizaje con su guía o bibliografía.....		141
5.3.	Ejercicio propuesto para los temas planteados y aprendidos		142
	5.3.1.	Recepción de señales lte (4g) en gnuradio	142
	5.3.1.1.	Componentes de hardware	142
	5.3.1.2.	Componentes de software.....	142
	5.3.1.3.	Proceso de descarga bloques LTE....	143
	5.3.1.4.	Proceso de instalación bloques LTE.....	146
	5.3.1.5.	Desarrollo de flujograma en GNURadio	149
	5.3.1.6.	Diagrama de bloques de sincronización.....	152
	5.3.1.7.	Diagrama de bloques para la recepción OFDM.....	160

5.3.1.8. Diagrama de flujo demultiplexación y decodificación PBCH..... 163

5.3.1.9. Diagrama de flujo decodificación BCH y MIB..... 167

CONCLUSIONES..... 177

RECOMENDACIONES 179

BIBLIOGRAFÍA..... 181

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Claude Chappe, inventor del telégrafo óptico	3
2.	Telégrafo óptico	4
3.	Mecanismo del telégrafo óptico.....	5
4.	John Peake Knight diseñador del semáforo.....	6
5.	Primer semáforo en Madrid.....	7
6.	Alessandro Volta, inventor de la pila eléctrica.....	8
7.	Samuel F.B. Morse inventor del telégrafo	9
8.	Telégrafo eléctrico.....	10
9.	Código morse.....	10
10.	Caseta telefónica en Guatemala	12
11.	Modulación en amplitud	14
12.	Modulación de frecuencia	15
13.	John Logie Baird inventor de la televisión mecánica.....	16
14.	Primera transmisión oficial de televisión en Guatemala	17
15.	Comunicaciones satelitales.....	19
16.	Martin Cooper creador del primer teléfono móvil	21
17.	Red de telefonía móvil.....	25
18.	Radio canales	26
19.	Subsistema de estación base	29
20.	Red de acceso terrestre UMTS	30
21.	Tecnologías de acceso	31
22.	Ubicación de un terminal en una celda	32
23.	Sectores de celda	32

24.	Reutilización de frecuencia en TDMA	33
25.	Reutilización de código de aleatorización	34
26.	Modularidad	35
27.	Modelo de arquitectura de capas.....	36
28.	Dominios de la red de núcleo (<i>Core Network</i>)	38
29.	Red de núcleo de conmutación de circuitos (<i>CS Core network</i>).....	39
30.	Topología de una red 2G	45
31.	Topología de una red 3G	46
32.	Topología de una red 4G	46
33.	Esquema general de una red GSM.....	54
34.	Protocolos en una estación móvil y el subsistema de radio.....	55
35.	Método de acceso utilizados.....	57
36.	Funcionamiento del espectro ensanchado	58
37.	Conexiones de la BSC.....	60
38.	Interfaces A-ter	61
39.	Traspaso de elementos (<i>Handover</i>).....	62
40.	Traspaso de elementos (<i>Handover</i>).....	64
41.	<i>Handover</i> en GSM	65
42.	Red multi-radio UMTS	71
43.	Métodos de acceso en UMTS.....	72
44.	Dominios de referencia UMTS.....	74
45.	Núcleo de red en UMTS	76
46.	Estructura UMTS	79
47.	Estructura UMTS release 5.....	81
48.	Arquitectura genérica UMTS.....	86
49.	Arquitectura UTRAN	93
50.	Calidad de servicio.....	96
51.	Sistemas AAA.....	97
52.	Movilidad en las redes 4G	98

53.	Arquitectura genérica de una red LTE.....	100
54.	Espectro de 5 subportadoras	102
55.	Asignación de recursos de diferentes usuarios en OFDMA	103
56.	Esquema MIMO en el <i>downlink</i> de LTE	104
57.	Dominios de circuitos y paquetes.....	105
58.	Breve descripción de la arquitectura de red LTE	105
59.	Arquitectura EPS básica con E-UTRAN Access	107
60.	Problemas para la transmisión.....	115
61.	Perdida de trayectoria (<i>Path Loss</i>).....	116
62.	Desvanecimiento multitrayecto (<i>Multipath Fading</i>).....	117
63.	Interferencia C/A	118
64.	Informe de medición.....	121
65.	Evento de medición A3	122
66.	Traspaso X2 y S1.....	125
67.	Decisión sobre el tipo de traspaso	126
68.	Fase de preparación de entrega	127
69.	Fase de ejecución de traspaso	129
70.	Fase de finalización de traspaso	130
71.	Tiempos requeridos para la ejecución de una interrupción	131
72.	Proceso de interrupción relacionada a los tiempos.....	132
73.	Clonación del paquete LTE en Linux.....	143
74.	Archivos de descarga del paquete LTE.....	144
75.	Ubicación de cabecera para los bloques LTE	145
76.	Ubicación de los archivos de ejemplo de bloques LTE	145
77.	Compilación de los bloques LTE en consola Linux	146
78.	Ejecución de los bloques LTE en consola Linux	147
79.	Instalación de los bloques LTE en consola Linux.....	148
80.	Ubicación del módulo LTE	148
81.	Bloque de conexión USRP N210 con GNURadio	149

82.	Configuración bloque UHD-USRP Source.....	150
83.	Configuración de bloque WX GUI Slider.....	151
84.	Configuración variable <i>samp rate</i>	151
85.	Diagrama de bloques de sincronización	152
86.	Configuración bloque CP-based FFO Sync.....	153
87.	Configuración bloque PSS <i>Symbol Selector</i>	153
88.	Configuración FFT	154
89.	Configuración de bloque <i>Extract subcarriers</i>	155
90.	Configuración bloque PSS <i>Calculator</i>	155
91.	Configuración de SSS <i>Frame Tagger</i>	156
92.	Configuración de bloque <i>Signal Source</i>	157
93.	Configuración de bloque <i>Multiply</i>	157
94.	Configuración de bloques CP FFO Calculator	158
95.	Configuración de bloque SSS <i>Symbol Selector</i>	158
96.	Configuración de bloque SSS <i>Calculator</i>	159
97.	Configuración de bloque SSS <i>Frame Tagger</i>	159
98.	Diagrama de bloques recepción OFDM.....	160
99.	Configuración de bloque <i>Remove CP</i>	161
100.	Configuración de bloque <i>Channel estimator generic</i>	161
101.	Configuración de bloques RS <i>map Generator</i>	162
102.	Configuración de variable importación LTE	163
103.	Diagrama de bloques de demultiplexación y decodificación PBCH	163
104.	Configuración de bloque PBCH Demux.....	164
105.	Configuración de bloque Pre Decoder	164
106.	Configuración de bloque <i>Layer demapper</i>	165
107.	Configuración de bloque <i>interleave</i>	166
108.	Configuración de bloque QPSK <i>soft demod</i>	166
109.	Diagrama de flujo de decodificación BCH y MIB.....	167
110.	Configuración de bloque <i>Repeat</i>	168

111.	Configuración de bloque <i>Stream to Vector</i>	168
112.	Configuración de bloque <i>Scrambling Sequence message</i>	169
113.	Configuración bloque <i>Repeat Message Source</i>	169
114.	Configuración bloque <i>Multiply</i>	170
115.	Configuración bloque <i>Vector to Stream</i>	170
116.	Configuración bloque <i>Stream to Stream</i>	171
117.	Configuración bloque <i>Add</i>	171
118.	Configuración bloque <i>Multiply Const</i>	172
119.	Configuración <i>Stream Mux</i>	172
120.	Configuración bloque <i>Subblock deinterleaver</i>	173
121.	Configuración bloque BCH Viterbi.....	174
122.	Configuración bloque <i>Check CRC16</i>	174
123.	Configuración bloque <i>CRC antenna selector</i>	175
124.	Configuración bloque <i>Unpack MIB</i>	175

TABLAS

I.	Resumen de tecnologías de redes móviles.....	52
II.	Procedimientos relacionados con el traspaso.....	119
III.	Definición de símbolos en la medición E-UTRA.....	123
IV.	Tecnología GSM o de segunda generación.....	136
V.	Tecnología UMTS o de tercera generación.....	137
VI.	Tecnología LTE o de cuarta generación.....	138
VII.	Interfaces de red GSM/UMTS/LTE.....	139
VIII.	Traspaso de elementos (<i>Handover</i>) en GSM/UMTS/LTE.....	140

GLOSARIO

Aplicaciones	Programa informático diseñado para como herramienta para permitir a un usuario realizar diversas tareas.
Ames	Un medio de radiocomunicación que se transmite con amplitud modulada (AM). Se usa, sobre todo, en la banda de 153 kHz a 30 MHz e incluye las bandas: onda larga (153 kHz a 281 kHz).
Capa de aplicación	Es la séptima en el modelo OSI y es la que ofrece a las aplicaciones (de usuario o no) la posibilidad de acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos, como correo electrónico (POP y SMTP), gestores de bases de datos.
Capa de conectividad	Provee servicios para intercambiar secciones de datos individuales a través de la red entre dispositivos finales identificados.
Capa de control	La capa de enlace de datos o capa 2 del modelo OSI, actúa como intermediaria entre la capa de red y la capa física, codificando las tramas recibidas desde la capa de red para su transmisión desde la capa física,

controlando el acceso al medio y los posibles errores en la transmisión.

El código morse

También conocido como alfabeto morse o clave morse, es un sistema de representación de letras y números mediante señales emitidas de forma intermitente.

FM

Es radioemisión que funciona a través de frecuencia modulada. La banda de FM comercial utiliza las frecuencias de los 87,5 MHz a los 108 MHz.

GGSN

Es la puerta de enlace o punto central de conexión hacia el exterior o la PDN (*Packet Data Network*) de una red celular (red móvil).

HLR

Son las siglas de *Home Location Register*. Mediante una operación sencilla, se puede identificar la red GSM a la que pertenece un abonado, saber a qué operadora pertenecen los teléfonos de tu base de datos y conocer si el número está portado, desconectado o no es válido.

HSS

HighSpeedSynchronization (sincronización de alta velocidad) (HSS, siglas en inglés) es una función que permite que la cámara utilice velocidades de obturación rápidas con un *flash* externo.

MSC-servers	La estación de conmutación móvil, abreviada como Servidor MSC o MSS, es un elemento de red central 2G que controla los elementos del subsistema de conmutación de red.
IMS	Es un sistema de control de sesión diseñado con tecnologías de internet adaptadas al mundo móvil, que hace posible la provisión de servicios móviles multimedia sobre conmutación de paquetes (servicios IP multimedia).
IP	El protocolo de internet es de comunicación de datos digitales clasificado funcionalmente en la capa de red según el modelo internacional OSI.
Ondas moduladas	La frecuencia modulada es el sistema de transmisión de radio en el que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal de audio transmitida.
Paquetes conmutados	La conmutación de paquetes es un método de agrupar los datos transmitidos a través de una red digital en paquetes.
<i>Radio Access Network</i>	La red de acceso por radio es parte de un sistema de telecomunicaciones móviles. Implementa una tecnología de acceso por radio.

Semáforo	Son dispositivos de señales que se sitúan en intersecciones viales y otros lugares para regular el tráfico, y, por ende, el tránsito peatonal. El primer semáforo, diseñado por John Peake Knight, se instaló en Londres en 1868.
Tecnologías	Constituye un conjunto de conocimientos científicamente ordenados, que permiten diseñar y crear bienes o servicios que facilitan la adaptación al ambiente y a la satisfacción de necesidades de la organización o empresa.
Telecomunicaciones	Es la trasmisión a distancia de datos de información a través de medios electrónicos y/o tecnológicos. Los datos de información son transportados a los circuitos de telecomunicaciones mediante señales eléctricas.
Teléfono	Es un aparato que permite transmitir sonidos a distancia mediante señales eléctricas. Fue inventado en 1871 por Antonio Meucci, aunque el primero en patentarlo fue Alexander Graham Bell, en 1876.
Telégrafo óptico	Es un aparato para escribir a grandes distancias.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta una propuesta de guía de estudio de conceptos introductorios a redes móviles para los estudiantes de ingeniería en electrónica en el curso de Comunicaciones 3, esto con el fin de transmitir a los estudiantes los conocimientos mínimos para iniciar una vida laboral en las empresas de telecomunicaciones del país.

Esto debido a que la mayor cantidad de trabajos para ingenieros electrónicos en el país se encuentra en la industria de las telecomunicaciones. Esta industria inició en Guatemala desde aproximadamente 1910 con cerca de 190 abonados, los cuales hasta ahora se han expandido en gran cantidad hasta más de 14 693 radio bases en todo el territorio Guatemala y este número debe crecer año con año debido al aumento de demanda en el país.

Por lo anterior descrito se puede observar que la demanda de ingenieros electrónicos en estas empresas es muy alta y seguirá creciendo con los años, por ello, es necesario para los estudiantes de ingeniería en electrónica, tener los conocimientos básicos para iniciar la vida laboral en esta industria.

Por esta razón, en el transcurso del siguiente trabajo se menciona sobre la historia de las telecomunicaciones, generalidades, conceptos y temas introductorios para tener noción de cómo operan las diferentes redes móviles instaladas en el país y al final una guía sugerida para reforzar y evaluar los conocimientos adquiridos en este trabajo y bibliografía adicional de terceros para enriquecer los temas de interés.

OBJETIVOS

General

Presentar una propuesta de guía de estudios que facilite el aprendizaje de conceptos básicos sobre redes de telefonía móvil para los estudiantes del curso Comunicaciones 3.

Específicos

1. Mostrar generalidades de la comunicación a lo largo de la historia.
2. Presentar los conceptos básicos de redes de telefonía móvil, específicamente de las tecnologías 2G, 3G y 4G.
3. Redactar una guía de estudios en donde se pueda orientar a los alumnos para los conceptos básicos de redes móviles.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la civilización comunicarse entre seres humanos de forma correcta ha sido una herramienta esencial para ejecutar proyectos y acciones que marcan un momento trascendental a lo largo de la historia, es por eso que los seres humanos han dedicado gran parte de su existencia a métodos de cómo realizar esta comunicación de mejor manera, se inició haciendo símbolos abstractos, señales de fuego y así se fue desarrollando poco a poco, pero el punto que marcó un inicio fue el momento en donde se utilizó la electricidad para comunicación a larga distancia.

Desde el siglo XIX las telecomunicaciones han sido una rama de estudio y desarrollo humano que permite a las comunidades compartir conocimientos de una manera fácil y rápida, hasta la actualidad se puede observar cómo esta rama aún sigue en auge pues se invierte mucho dinero anualmente en investigación y desarrollo de nuevas formas de interconectarse.

Por lo cual a los profesionales que se requieren en esta gran área les es necesario contar con conceptos básicos de las tecnologías que en la industria aún se aplican y muchas veces estos conceptos se descuidan o no se les da la importancia necesaria hasta que en el campo laboral estos conceptos son obligatorios y debido a esto se pierden muchas oportunidades de mostrar el verdadero potencial

En los siguientes capítulos podrán observar una pequeña reseña de la historia de las comunicaciones en la humanidad, conceptos básicos sobre las redes de telefonía 2G, 3G y 4G, obtenidos de la investigación y experiencia

laboral. Para culminar podrá encontrar una guía de estudios sugerida para poder obtener estos conceptos en el momento que los estudiantes de la carrera de ingeniería en electrónica se encuentren cursando Comunicaciones 3

1. HISTORIA E INTRODUCCIÓN A REDES MÓVILES

1.1. Historia de las telecomunicaciones

Para entrar al mundo de las telecomunicaciones es necesario hablar sobre la historia de las telecomunicaciones en Guatemala. En 1881 se inició la utilización telefónica pública de línea física entre la ciudad capital y La Antigua Guatemala. En 1884 se llega a 180 abonados; gracias al apoyo por parte del gobierno de esa época y al señor Roderico Toledo.

En 1891, el Roderico Toledo, vende a inversionistas extranjeros donde originó la Compañía de Teléfonos de Guatemala. En 1927 se inauguraron los primeros teléfonos automáticos, gracias a la compañía alemana AEG para la instalación de líneas, y la posibilidad de extenderlas.

Para 1945, 30 ciudades importantes contaban con servicio telefónico con la ciudad capital y, por supuesto, las telecomunicaciones internacionales y telefónicas cumplían con los requisitos de calidad de aquellos años. Para 1959 se fortalecen las centrales telefónicas automáticas de marca Siemens; con 22 000 líneas telefónicas, 124 circuitos troncales dos centrales departamentales que son: La Antigua Guatemala con 600 líneas, y Amatitlán, con 200 líneas.

En 1966 se crea GUATEL, la cual iría creciendo durante los próximos 10 años a grandes pasos pues se duplicó la capacidad en planta del área metropolitana de 38 000 a 83 000 líneas.

Debido a su gran expansión se instaló una planta telefónica durante 1986 y 1988, en ella se instalaron 3 300 nuevas líneas de centrales digitales, en 1985 se instaló un terminal empaquetador/desempaquetador llamado COMPAQ.

Gracias a liberación inmediata, el mercado recibió inversión extranjera desde 1996, por lo que 11 años después Guatemala contó con las tarifas de celular más bajas de América Latina en esos años.

Actualmente, Guatemala tiene 2 operadores de telefonía celular, 8 operadoras de red local, y 7 operadoras de puerto internacional, con una densidad de 142 líneas por cada 100 habitantes.

El país está conectado al NAP de las Américas por medio de 3 cables submarinos independientes y cables terrestres hacia México. El proyecto de fibra más grande de América Latina.

Además, cuenta con más de 24 millones de teléfonos en el país, entre fijos y móviles. Asimismo, las tarifas de la telefonía móvil son las más bajas del hemisferio occidental.

1.2. Telégrafo óptico

Un telégrafo óptico es una estructura para ser vista a larga distancia configurando diferentes señales por medio de movimientos establecidos manualmente por sus operadores. Con este mecanismo colocando torres una tras otra a distancias considerables y replicando la forma original de la primera se podía propagar el mensaje por largas distancias en menor tiempo de cómo se realizaba antes.

El desarrollador de esto fue Claude Chappe su telégrafo consistía en una armazón de madera con brazos articulados, el cual según la posición que tuvieran los brazos indicaba diferente símbolo de transmisión.

Esta fue la primer forma de un sistema de telecomunicaciones y se puede considerar como el primer desarrollador de las comunicaciones.

Figura 1. **Claude Chappe, inventor del telegrafo óptico**



Fuente: Infobiografías. *Biografía y vida de Claude Chappe*.

<http://www.infobiografias.com/biografia/15741/Claude-Chappe.html/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

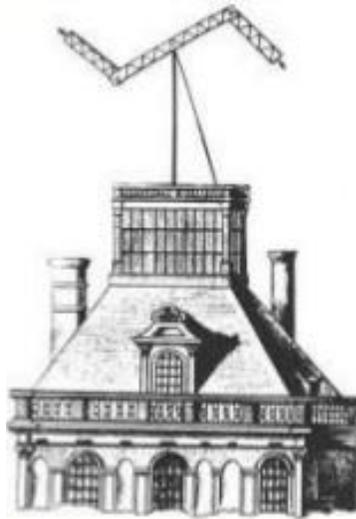
Han sido diversos los usos que ha tenido el telégrafo desde su invento, entre ellos el militar. Se sabe que a través de este medio que se transmitieron noticias como la victoria en la revolución francesa.

La manera de operar era la siguiente, la torre emisora, colocaba la estructura en posición de alerta, para que los operadores de torres próximas estuvieran pendientes al mensaje que se quería transmitir, las torres siguientes

colocaban la estructura en una posición que confirmaba que se había observado la señal de alerta para que la torre emisora empezara la transmisión.

Al momento de iniciar la transmisión, la torre emisora enviaba letra por letra el mensaje, con cada letra la posición de los brazos de la torre cambia y la manera de saber que el mensaje era correcto, era porque la torre receptora debía contestar colocando la estructura en la misma posición de la emisora para asegurar que el símbolo recibido era correcto y la torre emisora podía continuar con la siguiente letra de transmisión.

Figura 2. **Telégrafo óptico**



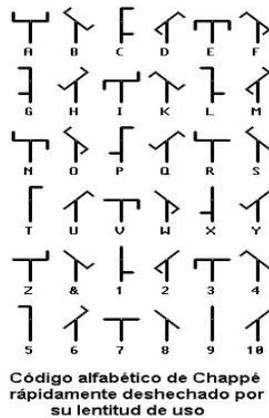
Fuente: Alamy. *Telégrafo óptico imágenes de stock (238)*.

<https://www.alamy.es/imagenes/tel%C3%A9grafo-%C3%B3ptico.html/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

Los elementos principales de un telégrafo óptico son, el indicador el cual sirve para identificar las diferentes letras según la posición que adopte, la

estructura que dará la altura necesaria para observar los mensajes de forma clara y el catalejo para tener mayor alcance en la propagación de las señales.

Figura 3. **Mecanismo del telégrafo óptico**



Fuente: Alamy. *La telegrafía óptica*. <http://tubioytemporal.blogspot.com/2017/11/funcionamiento-del-telegrafo-optico.html/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

1.3. Semáforo

El semáforo para controlar el tráfico también es una manera de comunicación este se diseñó por John Peake Knight, en diciembre de 1868, el primer semáforo se instaló en el exterior del parlamento británico en Londres.

Figura 4. **John Peake Knight diseñador del semáforo**



Fuente: SÁNCHEZ, Josefina. *¿Quién inventó el semáforo?* <https://curiosfera-historia.com/quien-invento-el-semaforo/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

Este invento a sus inicios debía ser operado manualmente por un policía, pero debido a un accidente, este fracasó, la manera en la que operaba era con dos brazos que se movían para indicar qué vehículos debían parar y cuáles podían seguir, los brazos contenían las señales para que las señales se pudieran observar de forma correcta durante la noche.

Por las fallas mencionadas y el aumento de vehículos, en 1914 se definió e instaló el primer semáforo moderno el cual fue inventado por Garrett Augustus Morgan, su diseño consistía en las tradicionales luces rojas y verdes, además de un altavoz que emitía diferentes sonidos según fuera la señal de parar o continuar.

En los siguientes años se sustituyó el altavoz por una tercera luz de color ámbar gracias al nuevo diseño propuesto por William Potts, este se empezó a utilizar en la calle de Detroit en 1920.

Figura 5. **Primer semáforo en Madrid**



Fuente: La voz de Galicia. *La voz*.

<https://www.lavozdegalicia.es/noticia/informacion/2015/08/04/instalo-primer-semaforo-electrico/00031438707131878476626.htm/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

Con el tiempo los semáforos han evolucionado, pero mantienen su esencia de ser señales verticales para la regulación del tránsito vehicular.

1.4. Invención de la batería

La primera versión de la batería eléctrica fue llamada Pila de Volta, en honor a su inventor Alessandro Volta. El trabajo de Alessandro fue un hecho muy importante para la ciencia ya que fue la primera vez que se logró producir un flujo estable de electricidad.

Figura 6. **Alessandro Volta, inventor de la pila eléctrica**



Fuente: Inmesol. *Alessandro Volta, inventor de la pila eléctrica (1745-1827)*.
<http://www.inmesol.es/blog/alessandro-volta-inventor-de-la-pila-1745-1827/>. Consulta: 25 de agosto del 2021.

La pila de Volta estaba construida con discos de plata y de zinc, alternándolos dentro de la estructura y separados por cartón sumergido en salmuera. Cuando la placa superior e inferior de la pila era unidas por un cable, se producía un flujo de corriente que era constante, a diferencia de otros inventos como la botella de Leiden que se descargaba de forma instantánea.

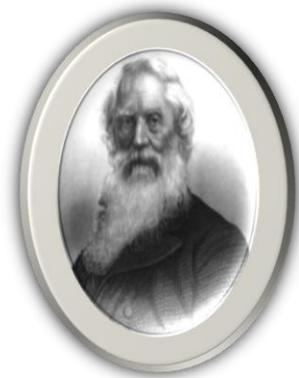
En 1801, Volta efectuó ante Napoleón una demostración de su descubrimiento, ya que el emperador reconoció su aportación a la ciencia le brindó el título de conde, senador de Lombardía y la Medalla de Oro al Mérito Científico. En su honor, la unidad de medida de la diferencia de potencial eléctrico se denomina voltio.

1.5. Telégrafo eléctrico

La primera persona en inventar la transmisión por medio de señales eléctricas fue Samuel F. B. Morse en 1836 y al siguiente año continuaría con más inventos Charles Wheatstone en colaboración con el ingeniero sir William F. Cooke.

El aparato desarrollado por Samuel F.B. Morse funcionaba con un conmutador eléctrico, mediante la presión de los dedos se cerraba el circuito y permitía la circulación de corriente durante un periodo de tiempo determinado y luego este se anulaba. Estos pulsos eléctricos eran transmitidos por un cable hacia su destino, en donde el aparato receptor tiene un puntero controlado por un electroimán, por lo que cuando el pulso eléctrico circulaba por el cable, el puntero dibujaba trazos en un cilindro revestido con papel para observar de manera clara los trazos dibujados

Figura 7. **Samuel F.B. Morse inventor del telégrafo**



Fuente: Samuel Morse. *¿Cómo era el primer telégrafo eléctrico?*,
<http://weekend.perfil.com/noticias/informativo/como-era-el-primer-telegrafo-electrico.phtml>. Consulta: 11 de febrero de 2021.

El mensaje transmitido se representaba por puntos y rayas, los cuales según fuera cada combinación se podían traducir y descifrar el mensaje transmitido a este tipo de cifrado o codificación se le conoció como código o clave morse.

Figura 8. **Telégrafo eléctrico**



Fuente: GUERRERO, Zeyany. *Telégrafo eléctrico*.

<http://zeyanyguerrero.blogspot.com/2013/09/el-codigo-morse-y-el-telegrafo.html/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

Figura 9. **Código Morse**

A	..	J	....	S	...	2	....
B	....	K	---	T	-	3	....
C	....	L	....	U	..-	4	....
D	---	M	--	V	....	5	....
E	.	N	..	W	---	6	....
F	....	O	---	X	....	7	....
G	---	P	....	Y	....	8	....
H	....	Q	....	Z	---	9	....
I	..	R	---	1	....	0	....

Fuente: GIANLUCA, Andrés. *Código Morse*. <https://www.timetoast.com/timelines/codigo-morse-2ba32ab0-0b44-4692-b94f-5fb469b1f444/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

1.6. Teléfono

El teléfono o electrófono como era conocido en su tiempo fue inventado por el italiano Antonio Meucci en 1854, el propósito era conectar su oficina con el dormitorio para hablar con su esposa que por una enfermedad se encontraba inmovilizada en su cama.

El primer teléfono móvil fue desarrollado por Motorola el cual fue llamado DynaTAC 8000X, este era un dispositivo muy grande, aunque eso no impidió que se comercializara de manera exitosa, su peso de era aproximadamente 800 gramos, y dimensiones de 33 centímetros de alto, 4,5 de ancho y 8,9 de grosor.

En Guatemala, la aparición del teléfono se dio de forma oficial, a través de la empresa de Roderico Toledo, con esta empresa se llegó a colocar 180 aparatos telefónicos con el pasar del tiempo se decidió que el país asumiría el control de la telefonía para 1891 con esta nacionalización se pasó a tener 900 aparatos de servicio telefónico.

La forma en la que funcionaba la telefonía en ese momento era la siguiente, la persona emisora debía llamar a una estación central para que el operador de turno transfiriera la llamada al receptor, todo era efectuado de forma manual ya que aún no se implementaban las llamadas directas.

En 1927, se instalan los primeros teléfonos automáticos, estos funcionaban con un sistema de disco de conmutación inmediata. La complicación de estos aparatos fue que eran de tecnología alemana, debido a las guerras y conflictos que sufría este país en ese tiempo no era factible continuar con ellos, por lo que se tuvo que esperar a una compañía sueca la cual impulso la comunicación instalando teléfonos nuevos.

En 1935 la capital ya contaba con 5 000 líneas telefónicas por lo que fue necesario inicial la expansión hacia los departamentos en esta época los dígitos telefónicos eran únicamente 4 y una empresa alemana estableció una funcionalidad para conocer la hora oficial donde el usuario solo tenía que marcar el 126 para conocerla.

Figura 10. **Caseta telefónica en Guatemala**



Fuente: Aprende Guatemala. *Cultura de Guatemala*. <https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/general/historia-telefono-guatemala/>. Consulta: 25 de agosto de 2021

En 1959, una empresa alemana ingresó al país con el objetivo de ayudar a la empresa nacional Guatel para instalar más de 72 000 líneas telefónicas, Guatel fue la única empresa operadora en el país entre 1974 y 1997.

1.7. Transmisión de ondas moduladas

Se conoce como modulación a las técnicas que se utilizan para transportar información sobre una onda portadora, permitiendo una mejor utilización del canal de la información, con esta técnica se hace posible transmitir más información simultáneamente y en algunos casos hace inmunes a los datos contra posibles ruidos e interferencias. La modulación, consiste en hacer que un

parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal modulada, que es la información que se desea transmitir.

Las algunas formas de modulación son:

- Amplitud
- Modulación en amplitud-doble banda lateral con portadora- AM
- Doble banda lateral sin portadora-DBL-SP
- Modulación en Frecuencia FM
- Modulación en Fase PM

Las tres técnicas de modulación analógicas son

- Modulación de la amplitud (AM o amplitud modulada)
- Modulación de la frecuencia (FM o frecuencia modulada)
- Modulación de la fase (PM O fase modulada)

1.7.1. Transmisión por modulación de la amplitud de la onda portadora

La señal que se obtiene al modular en amplitud una señal de datos recibe el nombre de señal modulada. Como regla se tiene que la frecuencia de la onda portadora debe ser mayor que la frecuencia de la moduladora.

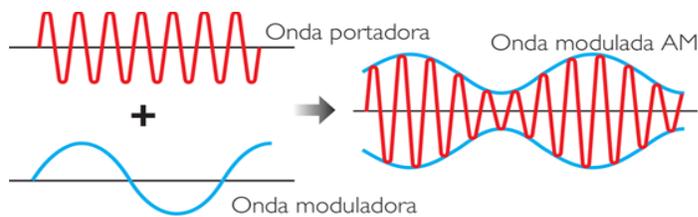
Para obtener una señal modulada necesitamos dos circuitos oscilantes:

Baja frecuencia, que va a proporcionar la onda moduladora, la señal de datos que se van a transmitir.

Alta frecuencia para producir la portadora la cual se utilizará para sobreponer la señal de datos.

Un modulador que va a realizar la modulación de la onda portadora de acuerdo con la señal moduladora.

Figura 11. **Modulación en amplitud**

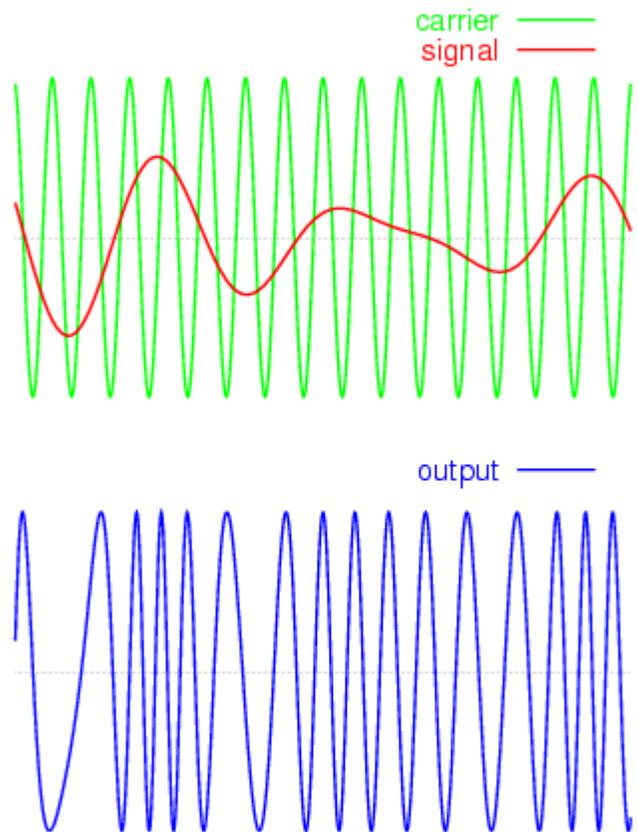


Fuente: Leon.com. *Qué son señales portadoras y moduladoras* <https://leon880314.com/que-son-las-senales-portadoras-y-moduladoras/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

1.7.2. **Transmisión a través de la modulación de frecuencia de la onda portadora**

En este tipo de transmisión la frecuencia de la onda portadora es modificada según sea el valor de la onda moduladora, de tal forma que la frecuencia de la señal modulada irá variando a lo largo del tiempo dependiendo de los valores de la señal moduladora. La propagación de las ondas moduladas con esta técnica se encuentra normalmente VHF, es importante que durante esta transmisión se consideren bandas laterales cuya extensión depende de la amplitud de la onda moduladora.

Figura 12. **Modulación de frecuencia**



Fuente: PNGWING. *Modulación de frecuencia*. <https://www.pngwing.com/es/free-png-iphbt>.

Consulta: 25 de agosto de 2021.

1.8. Inicio de la televisión

La primera vez que se transmitió en un televisor mecánico fue en 1926, lo transmitido fue la marioneta que utilizaba el inventor del televisor mecánico John Logie Baird.

Después de la primera transmisión, se llevó a cabo la emisión de programas con horario establecido desde 1936 en Inglaterra y en Estados Unidos en 1939.

Cabe resaltar que durante la Segunda Guerra Mundial la emisión de programas estuvo suspendida hasta que esta guerra finalizó.

Figura 13. **John Logie Baird Inventor de la televisión mecánica**



Fuente: RODRÍGUEZ, Daniela. *John Logie Baird: biografía e inventos*.
<https://www.lifeder.com/john-logie-baird/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

En Guatemala el inicio de la televisión se dio en 1955 donde la primera transmisión oficial fue realizada por el canal 8 (TGW), un canal del gobierno, este programa solo se veía en la capital, para el siguiente año el canal 3 con nombre Radio Televisión S.A., el cual era un canal privado, inició su transmisión. Este canal fue asaltado en 1968 y, además destruidos sus sistemas de comunicación por microondas.

Figura 14. **Primera transmisión oficial de televisión en Guatemala**



Fuente: Hoy Historia. *GT 18 de septiembre de 1955: primera transmisión por televisión en Guatemala*, <https://hoyhistoriagt.org/2020/09/18/18-de-septiembre-de-1955-se-realiza-la-primera-transmision-oficial-por-television-en-guatemala/>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

En 1961, se inaugura el canal 11, La voz de Centroamérica. Este canal no duró mucho tiempo al aire pues fue suspendida su licencia de transmisión un año después por el gobierno. En 1966 reanudó su transmisión con la programación de los empresarios y el hondureño Antonio Mourra, este también fue un canal privado.

En 1965 el canal 7, también presentó complicaciones legales en cuanto a su licencia de transmisión, donde el Sr. José Quiñones fue nombrado interventor. En 1980 este canal es comprado por la esposa de empresario mexicano Ángel González.

El canal 13, Tele Trece, sale al aire en 1978 y su transmisión es a color.

En 1979, sale al aire el canal 5 con el eslogan Cultural y Educativo, este canal fue administrado por el Ejército Nacional. En 1996, como consecuencia de los Acuerdos de Paz entre la guerrilla y el Estado, este canal pasó a manos de la sociedad civil.

Para 1984 se inició la televisión por cable, está en muchas ocasiones era robada la señal de Estados Unidos. En este mismo año inicia las operaciones del canal religioso canal 21 en la UHF, solamente para el área de la capital. En 1980, el canal 7 y el 13 caen en bancarrota y fueron comprados por Ángel González; la transmisión de estos canales fue principalmente contenido de Televisa y de Televisión Azteca.

De 2000 a 2004, se plantea la cobertura de la señal abierta VHF, por parte del periódico *Prensa Libre* con el presidente Alfonso Portillo.

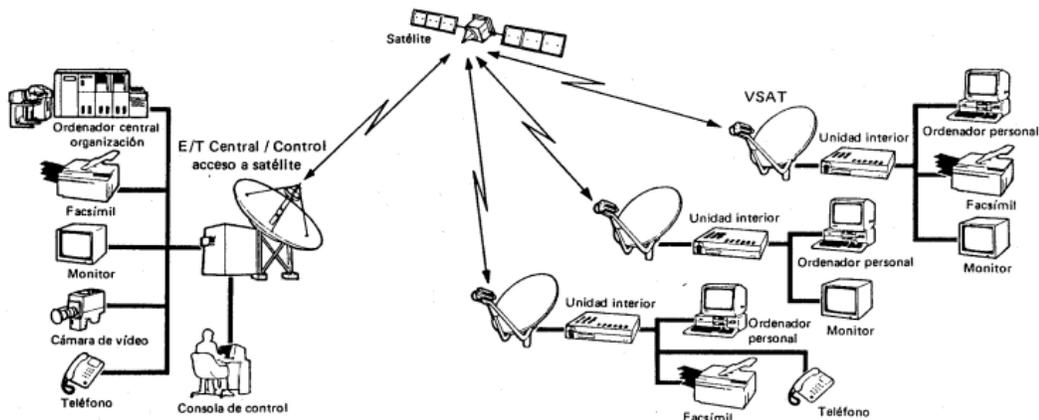
En 2002 el canal 33 inicia sus operaciones con UHF es administrador por la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para 2005 el canal Guatevisión, inició su servicio de transmisión por cable en el canal 284.

1.9. Comunicaciones satelitales

Son las telecomunicaciones en donde las frecuencias radioeléctricas se comunican con una o varias estaciones espaciales o satélites, para redirigir la señal hacia el receptor definido.

Figura 15. **Comunicaciones satelitales**



Fuente: QUESADA, Fernando. *Comunicaciones espaciales*.

https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6099/mod_resource/content/1/tema7_2009.pdf. Consulta:
10 de octubre de 2021.

Este tipo de telecomunicación espacial es un caso especial de la utilización del espectro radioeléctrico, el cual su regulación se puede encontrar en la Ley General de Telecomunicaciones en donde en el artículo 52, se aprobó el Reglamento para la Explotación de Sistemas Satelitales en Guatemala. El principal propósito de este reglamento es informar sobre cómo realizar solicitudes y autorización del uso de frecuencias para sistemas satelitales.

1.10. Inicio de la telefonía celular

La telefonía móvil comenzó su camino aproximadamente en la década de 1940 cuando en Estados Unidos se observó las ventajas que se podrían adquirir al dominar esta tecnología en la vida cotidiana de las personas.

Después del análisis de Estados Unidos en donde el dominio de la telefonía móvil representaba muchas ventajas en la década de 1940 se empezaron a utilizar sistema de radio analógicos, estos transmitían por medio de modulación en amplitud, es decir AM, luego se contempló la migración a la modulación en frecuencia y con ella se logró mayor cobertura y precisión del servicio.

Al inicio las bandas que fueron utilizadas para la transmisión de señales fueron las HF y VHF, sin embargo, la respuesta de los consumidores no fue satisfactoria, principalmente por el gran peso y tamaño que tenían los aparatos para efectuar la comunicación, además del elevado precio que estos representaban ya que estaba fuera del alcance incluso de la clase media norteamericana.

Una de las compañías pioneras en los servicios de telefonía móvil fue la empresa Bell, con su denominado *Bell System Service*. Normalmente como se utilizaba este servicio era solo en los automóviles pues era necesario llevar un equipo de radio dentro del baúl, y por medio de un cable se hacia la comunicación a un auricular en la cabina del conductor. A pesar de su poca popularidad y alto costo adquisitivo los equipos estuvieron vigentes durante un largo tiempo, aproximadamente hasta 1985 donde llegaron importantes cambios en el mercado tecnología, a partir de ese momento las comunicaciones móviles ha evolucionado a pasos agigantados.

1.10.1. Telecomunicaciones por celulares

Estas son las redes que permiten que los usuarios se muevan con libertad en una zona cubierta por dicha red y mantener comunicación estable desde el transmisor hasta el receptor, ya sea por medio de una conversación o por datos, estas redes incluso deben mantener la comunicación constante mientras el

usuario o teléfono, se mueven a altas velocidades, por ejemplo, un vehículo, las redes móviles actuales pueden mantener una conexión a altas velocidades.

Figura 16. **Martin Cooper creador del primer teléfono móvil**



Fuente: BBC MUNDO. *El hombre que inventó el teléfono celular.*

https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/04/100426_inventor_telefono_celular_pl,

Consulta: 25 de agosto de 2021.

1.10.2. Principales elementos de una red de telefonía móvil

Los principales elementos con los que la telefonía celular puede funcionar son los siguientes:

- Terminal móvil o teléfono
- Estación base
- Estaciones de control y conmutación
- Radio canales
- Terminal móvil

Es el aparato electrónico que permite a una torre de telefonía realizar o recibir llamadas telefónicas, está compuesto por: fuente de alimentación, unidad de control, transmisor/receptor, antena, también se le conoce como *UserEquipment* (UE) o simplemente terminal móvil. Algunas funciones son:

1.10.2.1.1. Servicios de telefonía

Es la interacción entre el teléfono móvil y la red de telefonía móvil que la operadora instala, a través de una infraestructura necesaria para proveer los servicios que la operadora ofrece.

1.10.2.1.2. Llamadas telefónicas

Esta se puede realizar con la asignación de los recursos de una estación base cercana a nuestro teléfono móvil, esta brindará canales de radio y de señalización para controlar la operación de una llamada y mantener su monitoreo constante, para contabilizar el tiempo que dure la llamada y brindar la mejor calidad de servicio.

1.10.2.1.3. Mensajes de texto

Aunque las llamadas telefónicas son un medio más rápido de comunicación, esta no es la única manera en las que se puede comunicar por medio de estos aparatos, también se puede hacer por medio de transferencia de texto o datos del usuario, aunque este tipo de comunicación es más incómoda porque representa teclear y redactar es una de las principales alternativas a la comunicación por voz.

1.10.2.1.4. Datos de usuario

También con la terminal móvil es posible hacer transferencia de datos, la cual la utilizamos cuando hacemos consultas a páginas web, servicios de correo electrónico, mensajería instantánea, videos en línea, y otros.

1.10.2.2. Estación base

Es la estación central dentro de una celda, según sea la tecnología en la que la estación central opera es conocida de diferente manera como, BTS (*Base TranceiverStation* 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 entre estaciones base.

La estación base está conformada por: unidad de control, unidad de energía, antenas, TRAU (unidad encargada de hacer la conversión de código y velocidad de las señales), y terminal de datos.

1.10.2.3. Controlador de estaciones base y centrales móviles

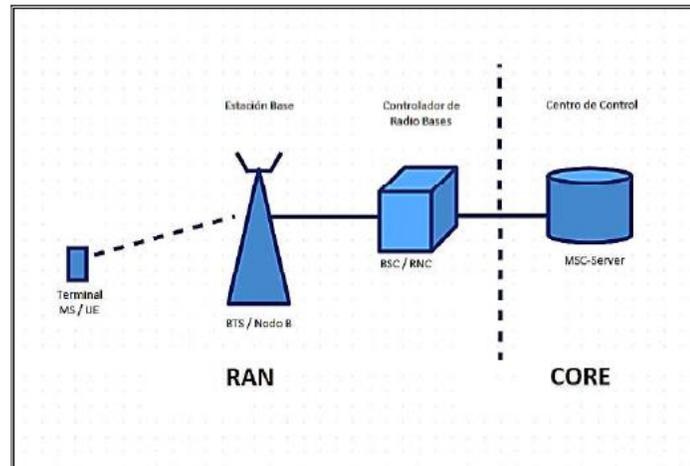
Los centros de control y conmutación en una red de telefonía se dividen en controladores de estaciones base y centrales móviles, cuando se aplican tecnologías GSM y UMTS se denominan, BSC (*Base Station Controller*) o RNC (*Radio Network Controller*) y MSC (*Mobile Switching Center*) para las centrales de control.

Los controladores de estaciones base y las centrales móviles forman el elemento central de todo el sistema y entre sus funciones principales se encuentran:

- Administrar y coordinar todas las BTS o Nodos B.
- Gestionar las llamadas entre la red de telefonía fija y estaciones base, así como las llamadas entre los terminales celulares y los estaciones base, a través de las BTS.
- Se encarga de la facturación.
- Manejar el *Handover* 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 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. Lo cual ayuda a tener respaldo para cualquier falla en una central.

La radio bases, controladores de estaciones base y centrales móviles se interconectan vía enlaces de fibra óptica y microondas. La velocidad y capacidad de transmisión de datos dependerá de este factor.

Figura 17. Red de telefonía móvil



Fuente: ARRIAGA MENESES, Fernando. *Descripción del funcionamiento de una red de telefonía móvil LTE*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3257/1/Erick%20Fernando%20Arriaga%20Meneses.pdf>. P.57 Consulta: 26 de octubre de 2021.

1.10.2.4. Radio canales

Están formados por las ondas electromagnéticas que transmiten la información y que tienen determinada frecuencia para poder ser captadas, estas frecuencias deben ser manejadas, tanto por la radio base como por la terminal celular móvil y no deben interrumpir otros medios de comunicación como la televisión o la radio comercial.

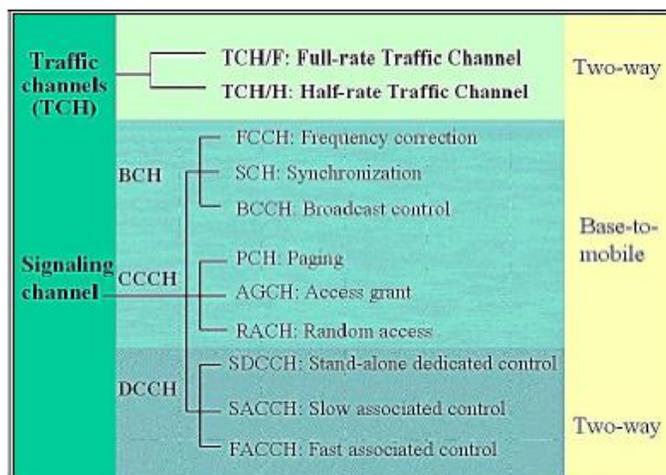
Las radios bases y las terminales celulares son diseñadas para trabajar a determinada frecuencia de transmisión y recepción. Estos canales ocupan tantos recursos físicos de radio frecuencia como recursos lógicos de procesamiento.

Un radio canal es conocido 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 transmisión Tx de la estación base y recepción Rx del teléfono móvil, la otra frecuencia es la de recepción de la estación base y transmisión del teléfono móvil.

Los radios canales transportan tanto datos como voz entre el abonado y las estaciones base, dependiendo de la tecnología utilizada cada abonado solo puede usar un canal a la vez y en las tecnologías modernas como LTE pueden variar estas características. Los canales o radio canales celulares son los que hacen posible una comunicación de telefonía celular y pueden ser de 2 tipos:

- Canales de control
- Canales de tráfico

Figura 18. **Radio canales**



Fuente: YUNG, Marcel. *Interfaz de aire mobile network-canales y protocolos lógicos*
<https://conningtech.files.wordpress.com/2008/05/airinterfacechannels.gif>. Consulta: 26 de octubre de 2021.

1.10.2.5. Canales de control (CCH)

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

- Canal de control de adelanto (FCCH). Es el encargado de proporcionar una información básica sobre el sistema celular.
 - Número de identificación del sistema
 - Rango de los canales de página
 - Acceso que puede escanear
- Canal de Paging. Es el canal usado para mantener en ubicación temporal a un móvil incluso alertar al usuario cuando recibe una llamada.
- 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 teléfono móvil el TCH (canal de tráfico) que debe utilizar. En áreas pequeñas de poco tráfico, un solo canal de control puede realizar las tareas de los tres canales.

1.10.2.6. Canales de tráfico (TCH)

Conocidos también como canal de voz, son los encargados de conducir el tráfico de voz o datos, dependiendo cuál tecnología esté utilizando el usuario, entre la estación base y el teléfono portátil cuando se está en un proceso de llamada.

Los canales de tráfico también son utilizados para enviar mensajes de señalización por parte de la BTS hacia el teléfono móvil, para manejar el proceso de *Handover*, y el control de potencia de transmisión.

Los datos generados por la BTS se conocen como datos en adelanto y los enviados del móvil se conocen como datos reversos, estos datos son enviados a velocidades de transmisión determinadas por cada estándar de tecnología inalámbrica.

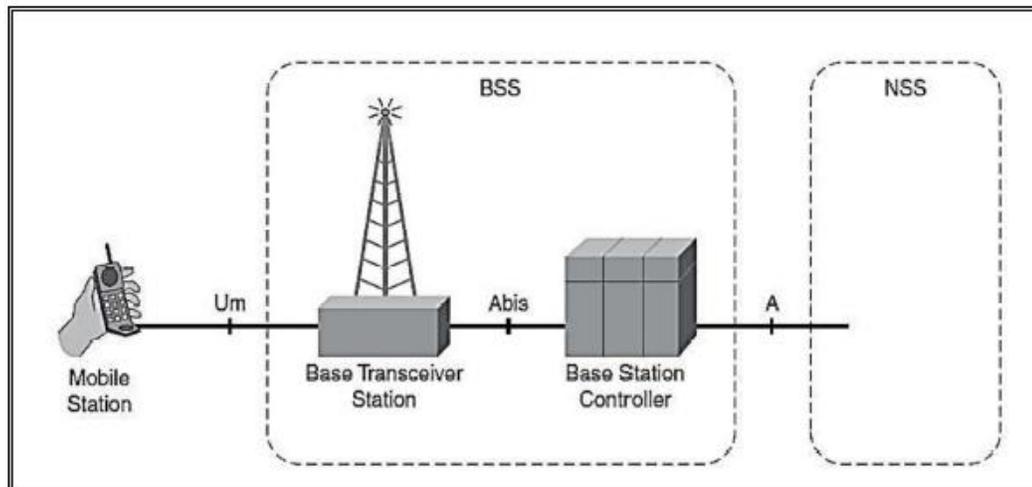
1.10.2.7. Red de telefonía móvil básica

Está formada básicamente de un conjunto de aparatos tecnológicos interconectados por diferentes medios de transmisión, en una red móvil se encuentran radio bases, estaciones de control, centrales de control y conmutación, dispositivos de transmisión por fibra óptica y microondas entre otros.

La finalidad de la red móvil es brindar el acceso a los medios de comunicación al usuario desde su teléfono móvil, también puede brindar servicios de llamada de voz, mensajes de texto, localización, datos de usuario, entre otros, estos se conocen como servicios de valor agregado.

La red de telefonía móvil se subdivide en dos partes principales, la red de acceso a y la red de control y conmutación.

Figura 19. **Subsistema de estación base**



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

http://pws.npru.ac.th/sarththong/data/files/IP_Design_for_Mobile_Networks.pdf Consulta: 25 de agosto de 2021.

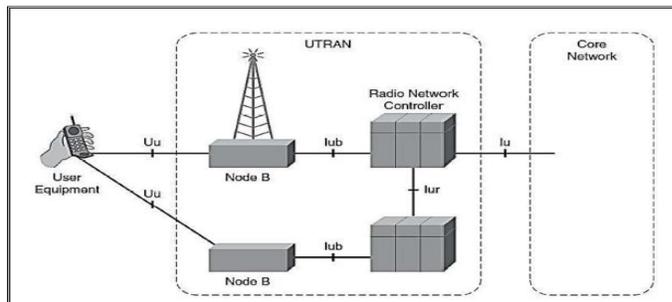
1.10.3. Descripción de red de acceso

La red de acceso 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.

En esta red se encuentran las radios bases o BTS con sus antenas y los equipos electrónicos que funcionan a determinadas frecuencias, también los sistemas de transmisión de la radio base hacia los equipos controladores del radio bases como BSC y RNC, se consideran como parte de la red de acceso.

La red de acceso GSM es conocida como BSS y en UMTS se conoce como UTRAN.

Figura 20. **Red de acceso terrestre UMTS**



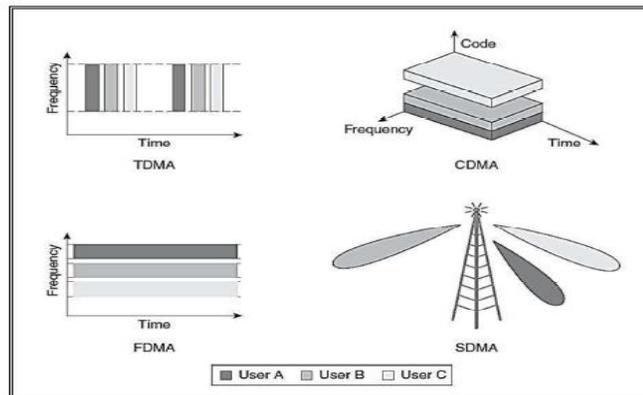
Fuente: GRAYSON, Mark. *IP design for mobile networks*.

http://pws.npru.ac.th/sarthong/data/files/IP_Design_for_Mobile_Networks.pdf Consulta: 25 de agosto de 2021.

1.10.3.1. Técnicas de acceso

Las técnicas de acceso son la forma en que las radio bases modulan las señales de datos para transmitirlos por los radios, en pocas palabras esto sirve para brindar un canal de comunicación entre el teléfono móvil del usuario y las antenas de la radio base, algunos métodos son; FDMA, TDMA, WCDMA, OFDM, SC-FDM.

Figura 21. **Tecnologías de acceso**



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

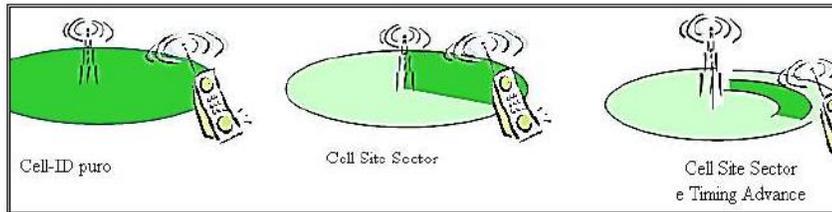
http://pws.npru.ac.th/sarththong/data/files/IP_Design_for_Mobile_Networks.pdf Consulta: 25 de agosto de 2021.

1.10.3.2. **Celda**

Es conocida como celda al área de cobertura en la cual una radio base puede brindar y garantizar todos los recursos o servicios que ha contratado un usuario final al operados

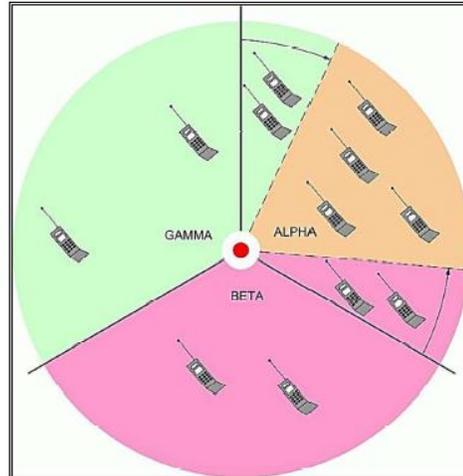
Las celdas de una radio base se pueden dividir en sectores de acuerdo con la tecnología en que esté operando la radio base, normalmente los sectores se nombran como Alpha, Beta y Gamma, aunque depende de cada operador cuál nomenclatura utilizará para referirse a los sectores para llevar el control de las celdas.

Figura 22. **Ubicación de un terminal en una celda**



Fuente: ARRIAGA MENESES, Erick Fernando. *Descripción del funcionamiento de una red de telefonía móvil LTE*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3257/1/Erick%20Fernando%20Arriaga%20Meneses.pdf>. Consulta: 25 de agosto de 2021.

Figura 23. **Sectores de celda**



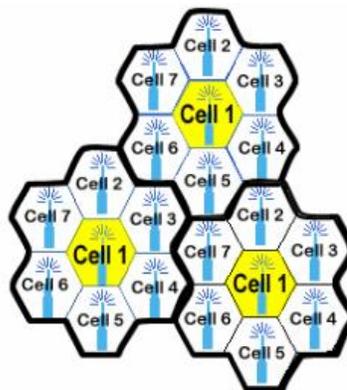
Fuente: ARRIAGA MENESES, Erick Fernando. *Descripción del funcionamiento de una red de telefonía móvil*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3257/1/Erick%20Fernando%20Arriaga%20Meneses.pdf>. P.13 Consulta: 25 de agosto de 2021.

1.10.4. Reutilización de recursos

Debido al limitado número de usuarios que se pueden montar en las diferentes técnicas de acceso, es necesario asignar o reutilizar los recursos de un abonado hacia otro para aumentar así el número de usuarios

La forma de realizar esto es asignando los canales de radio que un usuario A está utilizando a otros usuarios B en diferentes ubicaciones o diferentes tiempos. Otra forma de reutilización de recursos es cuando se reasignan los canales de control en diferente momento cuando un usuario lo necesita, y finalmente también es conocido como reutilización de recursos cuando los códigos que se asignan a un usuario para el control de las BSC, que ocupan espacio de memoria y procesamiento son reasignados.

Figura 24. Reutilización de frecuencia en TDMA

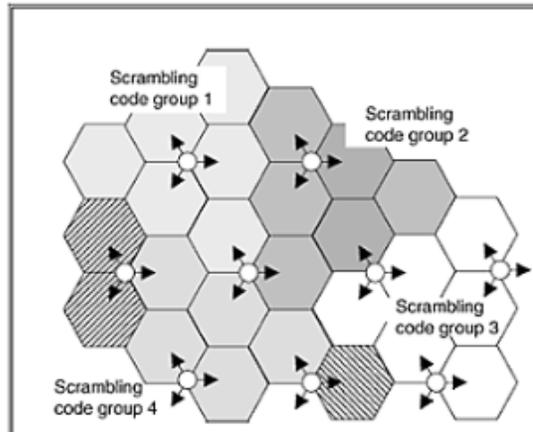


Fuente: HERNÁNDEZ CARDOSA, Amaterazú. *Reutilización frecuencia*.

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo1.pdf. Consulta:

22 de octubre de 2021.

Figura 25. **Reutilización de código de aleatorización**



Fuente: Telecom Insights. *3G Scrambling Code Planning as part of the RNC databuild (on the Downlink)*. <http://trends-in-telecoms.blogspot.com/2012/06/3g-scrambling-code-planning-as-part-of.html>. Consulta: 22 de octubre de 2021.

1.10.5. Módulos de radio base

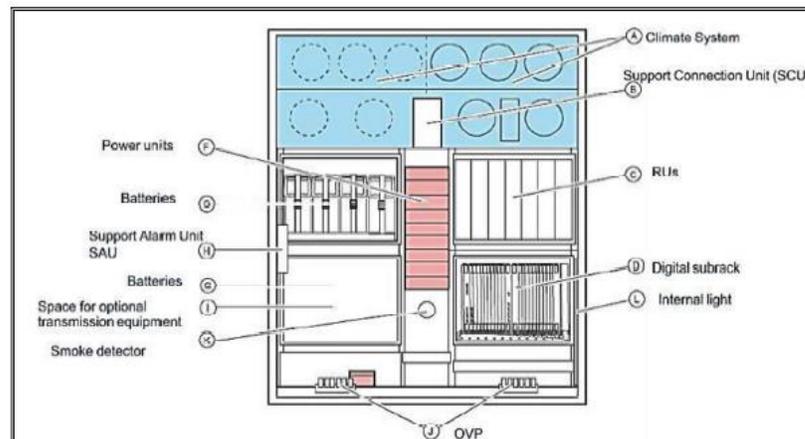
Normalmente las radio bases son construidas de forma genérica para que el hardware y software utilizados sean los mismos en cada sitio donde se instala la misma tecnología, lo único que cambia entre cada una de las radio bases son los parámetros para su operación, pero en esencia son lo mismo para que el control del radio bases sea de una manera fácil desde los centros de control

Los módulos utilizados pueden contener tarjetas con diferentes características, como operar en una sola tecnología o en varias a la vez, esto dependerá de cómo el operador decida hacer los despliegues en su red. Además, otro componente que se encuentra en los sitios son los gabinetes que son los equipos donde normalmente van instalados los equipos para el procesamiento

de los datos en banda base, fuentes de poder, equipos de transmisión, enfriamiento y baterías para tiempo de respaldo.

Además, cabe resaltar que, aunque la mayor parte de los sitios son construidos como escenario *outdoor* por la facilidad que esto representa, también hay escenarios *indoor* donde no se utiliza un gabinete para albergar los equipos sino un salón, sótano o edificio controlado para mantener los equipos funcionando en condiciones óptimas.

Figura 26. **Modularidad**



Fuente: Ericsson. *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 octubre de 2021.

1.10.6. Descripción de red del núcleo

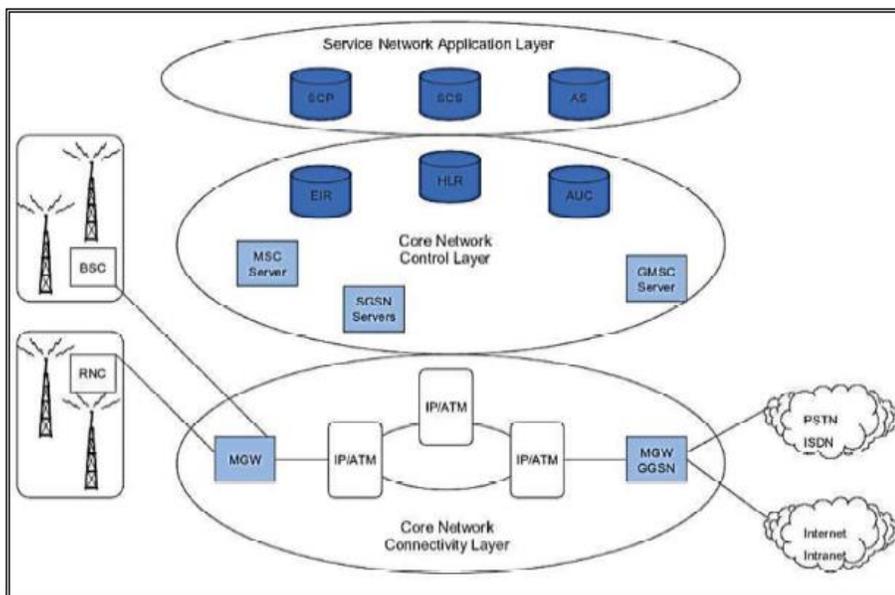
La red de núcleo se conoce como Core, esta se puede decir que es la columna vertebral de una red móvil, ya que en ella se pueden encontrar los nodos de conmutación y enrutamiento, así como las bases de datos y las interfaces hacia servidores de aplicaciones.

La principal función de esta red es controlar e interactuar con nodos que proveen servicios multimedia entre operadores y usuarios finales. Para que el núcleo funcione de manera correcta este requiere funcionar en diferentes capas las cuales son las siguientes:

1.10.6.1. Arquitectura en capas

Gracias al de arquitectura en capas de la red Core, se deben tener varios componentes con funcionalidades diferentes para implementar servicios, las diferentes capas que se encuentran en la red núcleo son capa de aplicación, capa de control y capa de conectividad, cada una realizando actividades específicas para el correcto funcionamiento de una red de telefonía móvil.

Figura 27. **Modelo de arquitectura de capas**



Fuente: Blueadmiral. *Horizontal Layering*

<http://blueadmiral.com/Communications/comms/horizo32.jpg>. Consulta: 2 de octubre de 2021.

1.10.6.2. Capa de aplicación

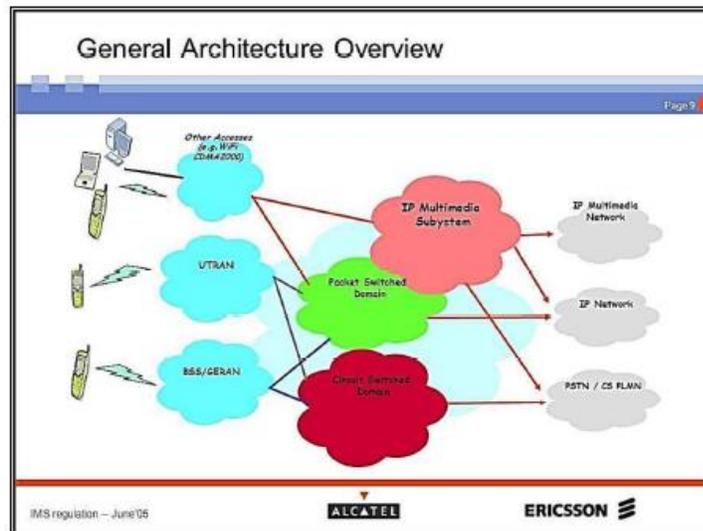
Esta capa es la que se encarga de brindar servicios a los usuarios por medio de aplicaciones contratadas de acuerdo con cada dispositivo además del método por el cual el usuario tiene acceso a la red. Esta no es una red real en la red del operador, incluso algunos operadores pueden tomar la opción de contratar redes externas interconectados a su Core que pueden brindar todo este acceso a la red y las aplicaciones necesarias según cada dispositivo.

1.10.6.2.1. Capa de control

En esta capa se encuentran los equipos que controlan y administran tanto el tráfico de CS como de PS, esta es la que representa en su mayoría al Core y está integrada por partes como, MSC, VLR, HLR, y otros.

En base a la 3GPPS la red Core trabaja como el centro nervioso de la red móvil. Ya que en este se encuentran los principales nodos de enrutamiento y conmutación, así como bases de datos para el debido control de todos los usuarios en nuestra red, es importante remarcar que este se divide en dos, los cuales son el CS y PS, conmutador de circuitos y conmutador de paquetes, respectivamente.

Figura 28. **Dominios de la red de núcleo (Core Network)**



Fuente: Alcatel Mobile. *Solutions, Policy and Regulatory Requirements for Future Mobile Networks*, <https://slideplayer.com/slide/726203/> Consulta: 10 de octubre de 2021.

1.10.6.2.2. Capa de conectividad

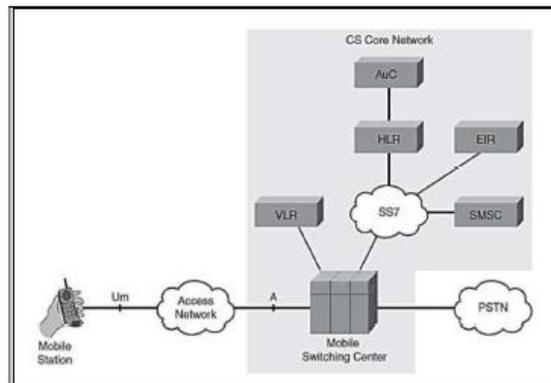
Esta capa la integran los diferentes nodos de transporte como MGW, GMSC, PSTN, y otros, estos nodos conectan el Core con una o varias RAN, en estos equipos se manejan diferentes tipos de comunicación como TDM, ATM e IP.

1.10.6.3. Partes de una red de núcleo

La red de Core se puede conectar a redes externas como una PSTN que es la red de telefonía fija, utilizando la conmutación de circuitos para llamadas de voz, también puede interconectarse con una LAN de internet o una LAN corporativa por medio de intercambio de paquetes de datos.

La red de Core tiene distintas bases de datos con funciones específicas para cada una con el fin mejorar el rendimiento de la red de telefonía, con estas se puede se distribuir la carga de trabajo a cada equipo de acuerdo con su función para operar de una forma más rápida y brindar los servicios que requiere el usuario final con prontitud.

Figura 29. **Red de núcleo de conmutación de circuitos (CS Core network)**



Fuente: GRAYSON, Mark, *IP design for mobile networks*. Consulta: 25 de agosto de 2021.

La red de Core se divide en dos dominios separados para la conmutación de circuitos de voz y la conmutación de paquetes de datos, de los cuales conoceremos algunas partes en las siguientes secciones.

1.10.6.3.1. **Conmutación de circuitos (Circuit Switch)**

A la función de conmutación de circuitos de voz en la red Core se le conoce como *Circuit Switch*, este se encarga de proveer y dedicar un circuito de voz a

un usuario cuando requiere realizar una llamada a otro usuario de la misma red del operador o hacia un usuario de otro operador, a esto se le conoce como dominio de voz.

Esta conexión se realizaba inicialmente de forma física en donde un operador hacía los cambios manuales dependiendo hacia donde se quería hacer la comunicación, 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 maneras, ya que pueden brindar una llamada de voz entre dos usuarios, llamadas tripartitas y conferencias, inclusive se pueden brindar servicios de llamadas internacionales.

1.10.6.3.2. Centro de conmutación móvil (MSC)

Es conocido como MSC o *Mobile Switching Center* para las redes de tecnologías GSM y MSS o *Mobile Services Switching Center* para redes de tecnologías UMTS.

Esta es una parte muy importante del Core ya que desempeña funciones de nodo de conmutación, administración y gestión de los recursos de la radio y movilidad de teléfonos móviles. Adicionalmente brinda el registro de la ubicación de los suscriptores y las funciones de *Handover* en una conexión en caso de cambiar de una celda a otra, las funciones de una MSC son conmutar las transacciones de *Circuit Switch*.

1.10.6.3.3. Registro de ubicación visitada (VLR)

El VLR o *Visited Location Register*, es una base de datos que almacena la información de las BTS que se encuentran dentro de una respectiva MSC asociada.

Un VLR contiene los datos de las BTS de una o más MSC asociadas ya que los teléfonos móviles son libres de desplazarse, dependiendo de la ubicación actual del teléfono móvil el VLR puede determinar si su localización se encuentra dentro de los MSC que se encuentran en su base de datos o si es momento de cambiar de VLR si ya se está saliendo de su alcance.

Esto pasa normalmente cuando se cambia de país y esto lo reconocen los operadores como *roaming*.

Un teléfono móvil inicia el procedimiento de registrarse cuando ingresa a un LA, *LocationArea*, la MSC responsable pasa los datos de identidad y su posición actual al VLR, que agrega los valores en su base de datos y así se registra un servicio móvil.

Si el servicio móvil no se ha registrado con un VLR, el HLR es informado de la ubicación actual del servicio para habilitar el enrutamiento de las llamadas entrantes hacia este nuevo, 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.

1.10.6.3.4. Registro de ubicación local (HLR)

El HLR es una base de datos que tiene información de cada suscriptor y cada número móvil, que tiene su respectiva red doméstica, 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 los móviles para su correcto enrutamiento de llamadas entrantes, el HLR es necesario como un registro centralizado para enlazar a los suscriptores de los cuales tiene que administrar, el HLR no tiene el control directo sobre una MSC.

La base de datos del HLR almacena el perfil de servicios del usuario, las áreas de *roaming* prohibidas, desvíos de llamadas, y otros. Esta información es creada cuando se es configurada cuando un nuevo suscriptor se genera en el sistema y se almacena todo el tiempo que este activa la suscripción.

1.10.6.3.5. Centro de autenticación (AUC)

Es una base de datos que sirve para resguardar claves para la autenticación y revisión con la fuente origen del servicio de acceso respectivo a cada usuario móvil, actualmente esta base de datos puede venir integrada en una MSC.

1.10.6.3.6. Registro de identidad de equipo (EIR)

Equipment Identity Register, almacena los números de serie que provee el fabricante de los teléfonos móviles conocidos como IMEI, con este número se

puede verificar que los teléfonos móviles sean compatibles con la tecnología que tiene el operador, para permitir el acceso a la red y hace posible bloquear el acceso a terminales reportadas como robadas.

1.10.6.3.7. Puerta de enlace de medios (MGW)

El *Media Gateway* se utiliza para lograr la conmutación de los datos de usuario y la interacción con la red, en este se dan procesos como, la codificación y decodificación de la voz, la cancelación de eco, en las tecnologías recientes de redes móviles, este es el encargado de brindar una mejor calidad de servicio y escalabilidad al usuario. Cuando no se tienen MGW en una red, la MSC se hace responsable de todo el control y la conmutación.

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

Gateway MSC, es el conmutador donde una red UMTS es conectada a redes externas, todas las conexiones entrantes o salientes al CS deben pasar por la GMSC, además de eso, así como en una MSC, la GMSC se divide ahora en dos partes, el servidor GMSC que realiza el control y MGW que realiza la conmutación, Una GMSC puede procesar el tráfico de voz entre redes móviles y redes fijas.

Durante el proceso de una llamada, si esta no puede hacer su conexión a una red fija, debido a que no puede verificar a que pertenezca a la misma por medio del HLR, entonces el enteramiento se da en la siguiente GMSC para proceder a revisar si el receptor buscado se encuentra dentro de esta segunda GMSC.

1.10.6.3.9. Puerta de enlace de registro de ubicación (GLR)

Un *Gateway Location Register* es una parte del Core ubicado entre el VLR y el HLR, el cual su función es optimizar el manejo de los datos del suscriptor y la actualización de la ubicación del usuario

Cuando un usuario está en *roaming*, el GLR realiza la función del HLR hacia el VLR de la red visitada y realiza la función del VLR hacia el HLR en la red doméstica.

Un GLR facilita un proceso invisible para la red doméstica reduciendo la cantidad de datos de señalización que necesitan intercambiar las redes, para el manejo de la ubicación del usuario y mantiene la información del usuario mientras este se encuentra dentro de la red visitada.

1.10.6.3.10. Red móvil terrestre pública (PLMN)

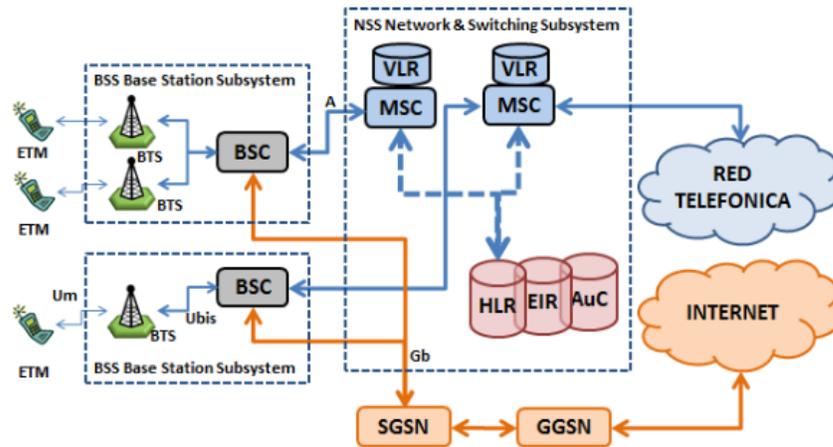
Una *Public Land Mobile Network* es la red de telefonía móvil en términos generales donde se incluyen los componentes de RAN y Core, usualmente se refiere a un PLMN por operador esta también se puede conectar a otros tipos de red como PSTN, Internet ISDN, y otros.

1.10.6.3.11. Red telefónica pública conmutada (PSTN)

Public Switched Telephone Network, red de telefonía pública conmutada, esta se conoce como la representación de una red de telefonía fija la cual tiene

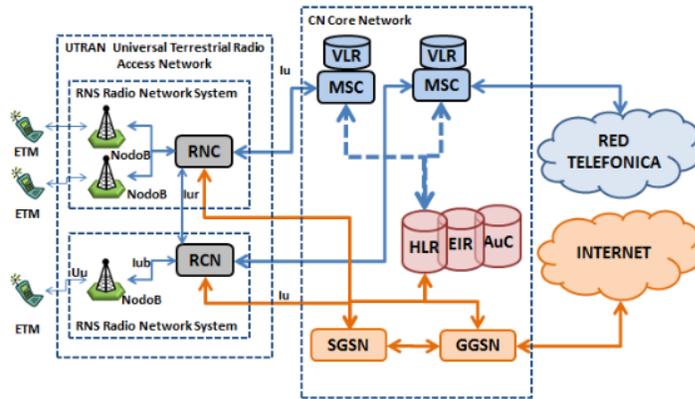
la habilidad de interconectarse con varias PLMN, con esto la red de telefonía fija puede interactuar con abonados de red móvil en el CS.

Figura 30. Topología de una red 2G



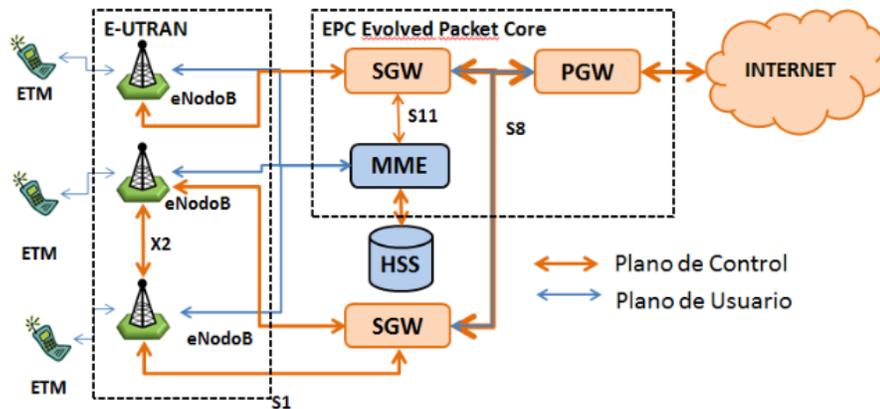
Fuente: FORERO JIMÉNEZ, Wilson. *vacíos regulatorios en el área de Core de la telefonía móvil*. <https://docplayer.es/58242286-Vacios-regulatorios-en-el-area-de-core-de-la-telefoniamovil-wilson-forero-jimenez-universidad-santo-tomas.html>, Consulta: 10 de octubre de 2021.

Figura 31. Topología de una red 3G



Fuente: FORERO JIMÉNEZ, Wilson. *Vacios regulatorios en el área de Core de la telefonía móvil*. <https://docplayer.es/58242286-Vacios-regulatorios-en-el-area-de-core-de-la-telefoniamovil-wilson-forero-jimenez-universidad-santo-tomas.html>, Consulta: 10 de octubre de 2021.

Figura 32. Topología de una red 4G



Fuente: FORERO JIMÉNEZ, Wilson. *Vacios regulatorios en el área de Core de la telefonía móvil*. <https://docplayer.es/58242286-Vacios-regulatorios-en-el-area-de-core-de-la-telefoniamovil-wilson-forero-jimenez-universidad-santo-tomas.html>, Consulta: 10 de octubre de 2021.

1.10.7. Conceptos importantes de telefonía móvil

Ya que las redes de telefonía móvil son las redes cuya función principal es que el teléfono o equipo del usuario pueda moverse sin restricción por 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 altas velocidades sin que exista una pérdida de la conexión. Para mantener de manera correcta este servicio se pueden considerar los siguientes términos.

1.10.7.1. Plano de usuario (*user plane*)

A la información tanto recibida como enviada por un teléfono móvil se le conoce como *User plane*, en esta se pueden incluir, llamadas de voz codificadas en paquetes de datos, conexión a internet, *data stream* y *data bearer*.

1.10.7.2. Flujo de datos (*data stream*)

En telecomunicaciones, específicamente mediciones orientadas a la conexión, se le conoce como un *data stream* o flujo de datos a una trama de datos coherentes codificados de forma digital que se usan para transmitir o recibir información.

1.10.7.3. Portadora de datos (*data bearer*)

La *data bearer* es conocido también como señal portadora de los datos, en ella se define la manera de procesar los datos enviados por el teléfono móvil por medio de la red, esto sirve para garantizar la velocidad de transferencia de datos si está fuera el principal interés para algunos usuarios importantes, mientras que en otros la transferencia puede ser baja dependiendo la prioridad que se le establezca a cada usuario según el operador los quiera segmentar.

1.10.7.4. Rendimiento (*throughput*)

Se le conoce como *throughput* a la cantidad de información que se puede procesar en un período de tiempo establecido. En la transmisión de datos, es la cantidad de datos que puede ser transportada de manera exitosa desde un dispositivo hasta otro en un periodo de tiempo establecido. Estos datos podrían ser transportados por un canal físico como sería un cable de red o un canal lógico, normalmente es medido en bps o bit/s el cual es muy parecido a la manera de medir el ancho de banda.

1.10.7.5. Traspaso (*Handover*)

Al proceso de cambiar de una celda a otra durante una llamada o sesión de datos de un teléfono móvil se le conoce como *Handover*, durante el tiempo de la llamada o la sesión de datos, el teléfono móvil y la radio base realizan constantemente mediciones a los niveles de señal y a partir de esa medición determinan si la radio base necesita enviar al teléfono móvil a otra radio base con mejor nivel de señal que ella para mantener continua la comunicación, en algunas ocasiones es necesario más que un cambio de radio base, como cambio de tecnología RNC o MSC.

Durante el tiempo de la llamada o intercambio de datos el terminal móvil continuamente realiza una medición de la intensidad y calidad de la señal con la celda que se encuentra intercambiando datos, la celda se comunica con el teléfono y con celdas cercanas, si la celda con la que se tiene comunicación detecta que la siguiente celda empieza a adquirir mejores niveles de comunicación, ellas le hacen saber esto a su controlador o RNC ya que es ella quien decide si es necesario hacer el *Handover* y hacia cuál celda envía la llamada o sesión.

1.10.7.6. Normas de la telefonía móvil

En la antigüedad cuando aún no existían las normas de telefonía cada marca operaba con sus estándares y protocolos lo que no hacía posible la interoperabilidad entre dispositivos por lo que se vio en la necesidad de normar todo el proceso de telefonía móvil. Para esto existen diferentes organizaciones a lo largo del mundo para no encontrar de nuevo ese problema y hacer que todos los fabricantes cumplan con ellas para que puedan comunicarse y funcionar de manera correcta.

1.10.7.6.1. 3rd Generation Partnership Project (3GPP)

Esta es la unión de otras siete organizaciones que se dedican a estandarizar las telecomunicaciones, las cuales son, ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TSDSI, TTA, TTC. Esta organización tiene a cargo reportes y especificaciones de normar que rigen las tecnologías 3GPP.

Esta organización se encarga de varias partes de la industria de las telecomunicaciones celulares como, el RAN, la red núcleo, las capacidades de servicio, seguridad, calidad de servicio, codificaciones, y otros.

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)*

1.10.7.6.2. Unión internacional de telecomunicaciones (ITU)

Esta unión es la encargada de regular la asignación del espectro radioeléctrico y las orbitas de los satélites a nivel mundial, para lo que elabora normas técnicas que garantizan la interconexión continua de las redes y tecnologías.

Los siguientes son algunos resultados de estudios efectuados por las comisiones de estudio de radiocomunicaciones sobre:

- La utilización de una amplia gama de servicios inalámbricos, incluyéndolas 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.

1.10.7.6.3. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)

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 hablando específicamente de telecomunicaciones 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.

Aunque la IEEE especifica los estándares para los dispositivos de modulación, 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.

1.10.7.6.4. **Internet Engineering Task Force (IETF)**

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.

1.10.8. **Resumen de diferentes tecnologías de redes móviles**

A continuación, un resumen desde la tecnología 2G hasta 4G+

Tabla I. **Resumen de tecnologías de redes móviles**

	2G	2.5G	3G	3.5G	4G	4G+
Velocidad pico		64-236 Kbps	384 Kbps	21 Mbps	300 Mbps	100Mbps-1Gbps
Estándares	CDMA, GSM	GPRS, EDGE	UMTS, CDMA 2000	HSPA, HSPA+, EVDP	LTE	LTE-A
Servicios	Voz Analógica	Voz digital, SMS, roaming	Datos	(QoS)	VideoHD, VoLTE, ViLTE	Video UHD
Multiplexación	FDMA	TDMA/FDMA/CDMA	TDMA/FDMA/CDMA	CDMA/WCDMA	OFDMA	OFDMA
Switching	CS	CS	CS-Voz, PS-Datos	CS-Voz, PS-Datos	PS-Voz y Datos	PS-Voz y Datos

Fuente: DIAZ, Domingo. *Estudio y simulación de cobertura volte mediante diseño de link budget para red 4g lte de entel en santiago entel s.a.* <https://docplayer.es/88562643-Universidad-de-chile-facultad-de-ciencias-fisicas-y-matematicas-departamento-de-ingenieria-electrica.html>,

Consulta: 10 de octubre de 2021.

2. REDES DE SEGUNDA GENERACIÓN, GSM

2.1. Descripción de la red GSM

Las siglas GSM, significan en inglés *Global System for Mobile communications* y en español, Sistema Global para las Comunicaciones Móviles esta es una de las más importantes tecnologías de redes móviles, ya que fue la primera en transmitir voz y a partir de ella fueron avanzando a pasos agigantados las siguientes tecnologías por venir.

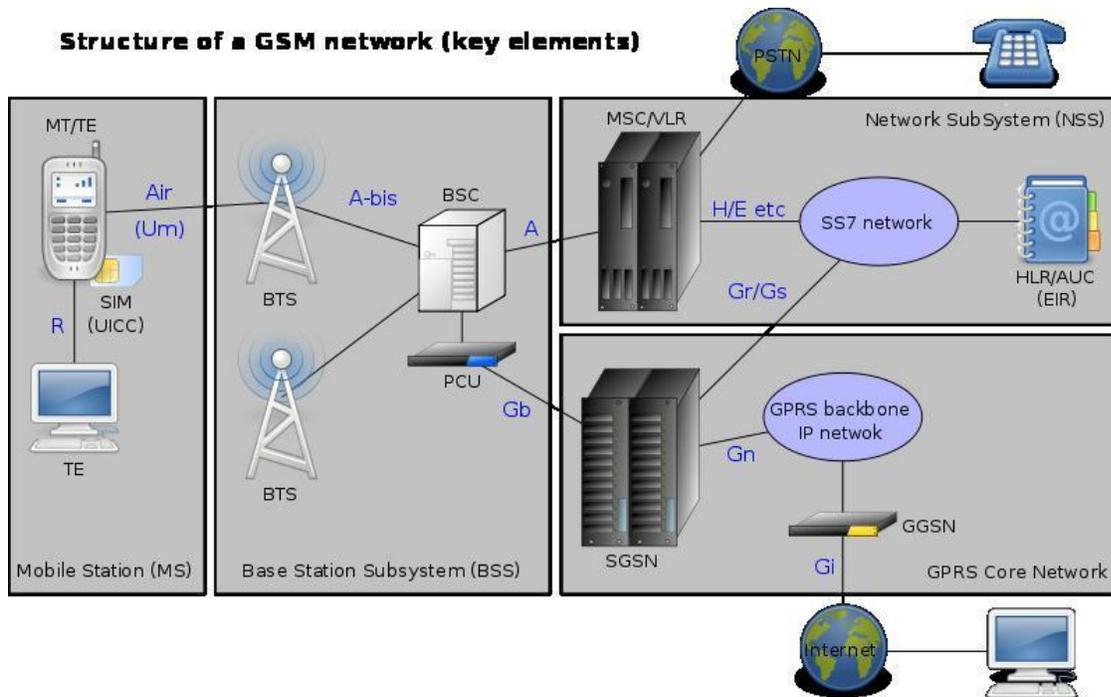
En las siguientes generaciones de GSM se permite la transmisión de datos por medio de canales siempre y cuando hubiera uno libre para hacer la transmisión. Además de este también fue implementada la interoperabilidad lo que significa que se puede usar mundialmente en cualquier lugar que tenga cobertura, la única diferencia es que en el caso donde se utilice el teléfono móvil de manera internacional se deberá pagar por *roaming* o itinerancia.

La red de acceso implementada en la tecnología GSM fue llamada GRAN, en esta se definió el subsistema de radio base, *Base Station Subsystem* por sus siglas en inglés BSS.

En GSM todos los usuarios en una misma celda comparten los canales disponibles, por lo que cuando hay muchos usuarios unidos a una celda es posible que esta sufra de saturación, eso ocurre en zonas donde la densidad de usuarios es muy alta, como lo son estadios, ciudades muy pobladas, iglesias, y otros, en las zonas rurales ya que la densidad es poca, se toma como prioridad

crear celdas de largo alcance para que más usuarios puedan gozar de los servicios a largas distancias.

Figura 33. Esquema general de una red GSM



Fuente: Shamsul Masum. *The structure of a GSM network*.

https://www.researchgate.net/figure/The-structure-of-a-GSM-network-14-GSM-System-has-three-subgroups-15_fig3_317259371, Consulta: 10 de octubre de 2021.

2.1.1. Aplicaciones usadas en GSM

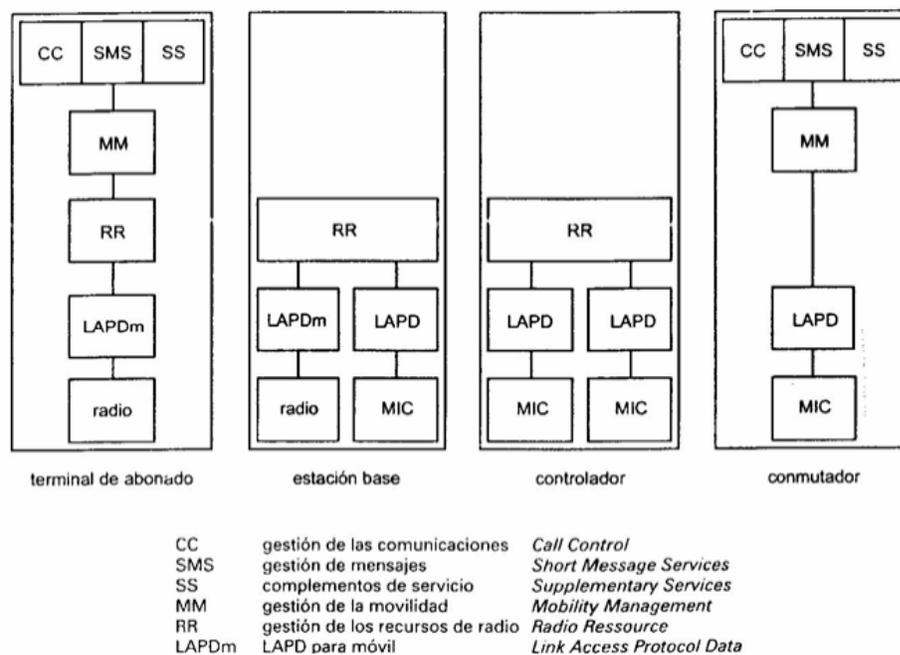
Para esta tecnología la estación base y el controlador son solo los canales entre el móvil y el subsistema de red. La aplicación control de llamada o *CC Call Control* controla el todo el proceso de llamada (establecimiento, supervisión y liberación). En esta tecnología también fue posible implementar la aplicación de servicio de mensajes cortos, *SMS Short Message Services*. La aplicación de

servicios suplementarios, *SS Supplementary Services*, controla los complementos de servicio.

La aplicación de administración de movilidad *MM (Mobility Management)* se encarga de la localización de un terminal con esta se ayudaba a determinar cuál terminal necesitaba un *Handover*.

Vale la pena resaltar que las aplicaciones de servicios como (CC, SMS, SS), son realizadas por las terminales, los BSC y BTS son únicamente encargados de transportarlos a él Core.

Figura 34. **Protocolos en una estación móvil y el subsistema de radio**



Fuente: McGraw Hill. *INFRAESTRUCTURA DE UNA RED GSM*.

http://www.geocities.ws/rosa_virgen_sm/Comunicaciones/Tel_celular/INFRA_RED_GSM.

Consulta: 10 de octubre de 2021.

2.2. Métodos de acceso utilizados en GSM

Como se explicó anteriormente el objetivo principal de las técnicas de acceso es permitir que diferentes usuarios accedan a los recursos de comunicación que brindan las celdas de manera simultánea y GSM también adoptó diferentes técnicas de acceso, para estos es importante considerar que no exista interferencia entre usuarios para mantener de manera adecuada el flujo de datos de cada uno de los usuarios.

2.2.1. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

Esta técnica de acceso consiste en utilizar la frecuencia disponible y dividirla en unidades de tiempo conocidas como *time slots*. De esta manera cada uno de los usuarios que necesiten recursos de radio es ubicado en una unidad de tiempo, durante esta unidad de tiempo él puede transmitir o recibir datos, en este sistema la frecuencia podía utilizar hasta ocho *time slots*.

La información del usuario como la voz, datos o señalización es dividida y transmitida bit por bit, usando uno de los ocho *time slot* asignado. La transmisión en alta frecuencia de cada *time slot* es llamada *burst*. Debido a que el *burst* se da a frecuencias altas, se requiere que la sincronía en TDMA sea muy precisa para evitar superposición de *time slots* adyacentes uno de los problemas encontrados en esta técnica de acceso era cuando se tenían celdas amplias, pues se sufre de retardo en la transmisión.

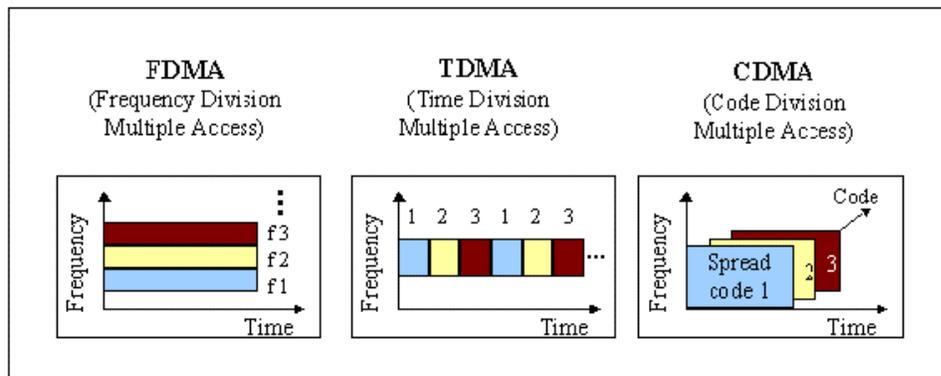
2.2.2. Acceso múltiple por división de código (CDMA)

Con esta técnica de acceso digital es posible compartir el espectro de frecuencia entre diferentes usuarios, esta es una técnica de acceso ensanchado

spread-spectrum que utiliza códigos, los cuales son conocidos como *spreading codes*, para separar a los usuarios por lo que pueden compartir el mismo espectro de frecuencia y tiempo de transmisión ya que la separación también se dará por un código único asignado a cada una de las llamadas o sesiones.

Los *spreading codes* poseen propiedades ortogonales que permiten que la información de usuarios sea recuperada de la forma de onda compuesta que generan.

Figura 35. **Metodo de acceso utilizados**



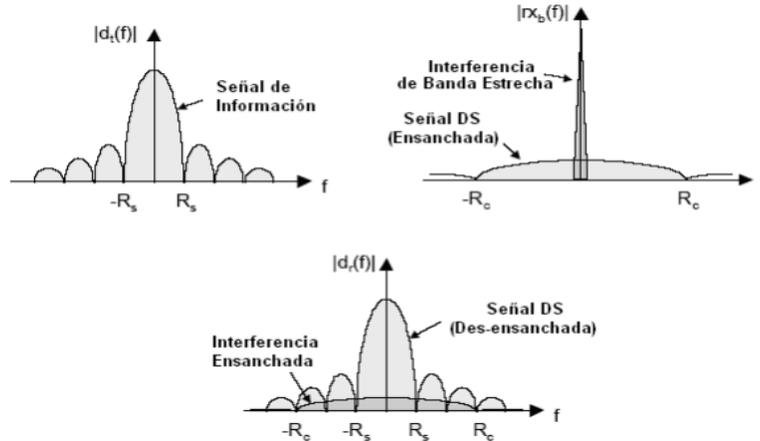
Fuente: GUERRA, Ana. *Telefonía celular(móviles)*. <https://ana-guerra-perez.tripod.com/moviles3g/>. Consulta: 10 de octubre de 2021.

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.

Gracias a la correcta utilización de la correlación cruzada cada usuario puede ser ubicado con un *spreading code* que permite recuperar los datos de manera correcta y sin ninguna interferencia.

Una manera de aumentar la capacidad de usuarios y velocidades de transmisión consiste en implementar VSF, *Variable Spreading Factor*, la cual en lugar de definir *spreading codes* fijos utiliza *spreading factors* variables lo cual resulta en diferentes longitudes de código y permite diferentes velocidades, manteniendo la ortogonalidad entre usuarios.

Figura 36. **Funcionamiento del espectro ensanchado**



Fuente: Unicauca. *Espectro ensanchado en secuencia directa*.

<http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/1992/Anexo%20A.pdf?sequence=2&isAllowed=>. Consulta: 10 de octubre de 2021.

Cada una de las conexiones lógicas o físicas de los BSS tienen un nombre y funcionalidades diferentes, estas son conocidas como interfaz. Estas interfaces utilizan el sistema de señalización de canales comunes No. 7

El sistema de señalización de canales comunes N.7, es un grupo de protocolos de señalización para telefonía utilizado en una gran parte de las redes telefónicas alrededor del mundo. Para el envío de estas señales se utiliza un canal común de propósito general, estos han sido estandarizados por la ITU.

En cada interfaz se tienen diferentes capas para cada funcionalidad:

- Capa 1 es la capa física
- Capa 2 es la capa de *transport*
- Capa 3 es la capa de señalización

2.2.3. Interfaz A-bis

La Interfaz A-bis se emplea en el sistema GSM de telefonía móvil que funciona a la velocidad de 2 Mbit/s, según el estándar G.703 del ITU-T, a través del cual se realiza la comunicación de las estaciones (BTS) con las estaciones controladoras (BSC). El protocolo usado en la capa 2 en A-bis es Link Access Procedures on D channel, LAPD.

El protocolo LAPD tiene diferentes funciones como detección y corrección de errores, así como la delimitación de las tramas. Esto es realizado por medio de la inserción de banderas al inicio y final de una trama.

2.2.4. Interfaz Um

Esta es la interfaz de aire entre el teléfono móvil 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 no son realizadas en el protocolo LAPDm.

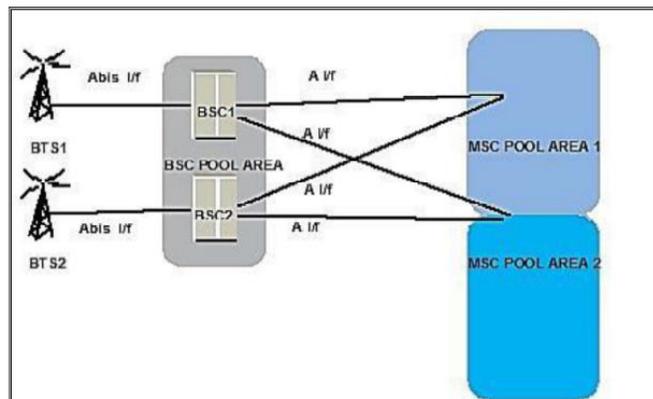
2.2.5. Interfaz A

La Interfaz A conecta al BSS con el MSC, habrá una interfaz A por cada BSC conectada hacia el MSC, normalmente se utiliza la conexión en Pool, que significa que cada BSC tiene conexiones hacia varios MSC.

Un pool de conexiones es un conjunto limitado de conexiones a una base de datos, el cual ayuda a que dichas conexiones puedan ser reutilizadas por diferentes usuarios todo esto administrado por un servidor de aplicaciones, para evitar saturar el servidor de base de datos, la correcta administración de un pool favorece la escalabilidad y mejora constante de una aplicación.

La interfaz A utiliza *Time-Division Multiplexing* (TDM) o IP para transportar los datos del plano del usuario, dependiendo de la tecnología en donde se estén utilizando, así como la voz o datos conmutados por circuitos entre el BSS y la red de Core.

Figura 37. Conexiones de la BSC



Fuente: ARRIGA, Erick. *Todo sobre A-Flex en GSM*. <http://turnonideas.com/wp-content/uploads/2014/08/Allabout-A-flex.jpg>. Consulta: 21 de octubre de 2021.

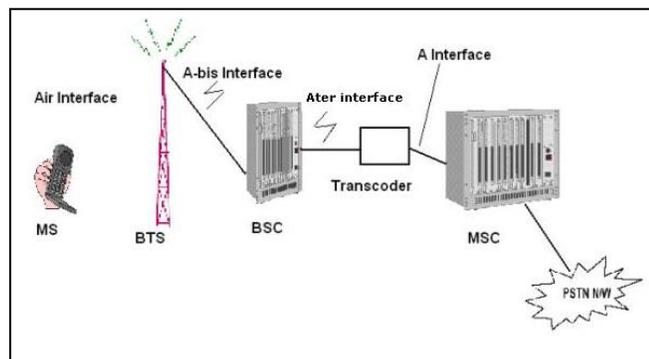
2.2.6. Interfaz A-ter

En la comunicación encontraremos un nodo llamado *Transcoder Controller* TRC el cual brinda una adaptación constante de las capacidades de velocidad al BSS. Este tipo de funcionalidad 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.

Se puede considerar los siguientes para tener un mejor entendimiento del proceso de conexión de todas las interfaces.

- La interfaz Um establece la comunicación con la BTS.
- Se activa la interfaz A-Bis Interface para brindar respuestas a BSC.
- Se genera respuesta a la interfaz A-ter, a través de TRC, a fin de levantar a la interfaz A.
- Finalmente, el MSC tramite el mensaje.

Figura 38. Interfaces A-ter



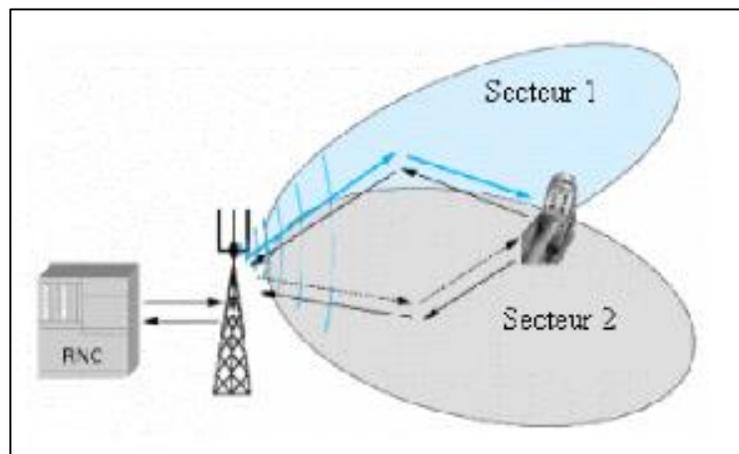
Fuente: HARTO, Isabel. *Interface in GSM Network DIRECCIÓN WEB EXACTA*.
<https://hartomanullang.wordpress.com/2010/06/01/basic-introduction-of-gsm-network-2/>

Consulta: 25 de agosto de 2021.

2.3. Traspaso de elementos (*Handoff/Handover*)

El Traspaso, *Handoff* o *Handover*, se trata de cuando teléfono móvil se desplaza a una nueva celda mientras una llamada o servicio de datos se encuentra compartiendo información con la celda específica, el centro de conmutación, MSC en GSM o el centro de control de estaciones base BSC en GSM transfiere automáticamente la llamada a un nuevo canal o código de comunicación perteneciente a la nueva estación radiobase (*Handoff* o *Handover*).

Figura 39. Traspaso de elementos (*Handover*)



Fuente: HASNAQUI, Omar. *III.9 El Handover*. https://www.memoireonline.com/07/08/1383/m_u-m-t-s28.html, Consulta: 26 de octubre de 2021.

Los *Handoff* / *Handover* deben realizarse deben contar con las características de realizarse exitosamente lo mayor cantidad de veces posible; imperceptiblemente para los demás usuarios. Considerando un umbral del nivel de señal que haga que la calidad de voz aun sea aceptable en el enlace, normalmente el valor utilizado es -90 dBm o -100 dBm en radiobase, se

especifica entonces un nivel de señal un poco superior como el umbral para el cual se inicia el *Handover*.

2.3.1. Tipos de *Handover*

Existen diferentes tipos de *Handover* que se pueden observar en las siguientes:

- *Handover* intra-celda
 - Interferencia de banda angosta es el cambio de frecuencia portadora.
 - Controlado por la estación controlador de radio bases BSC/RNC, controlada a su vez por el MSC(S).

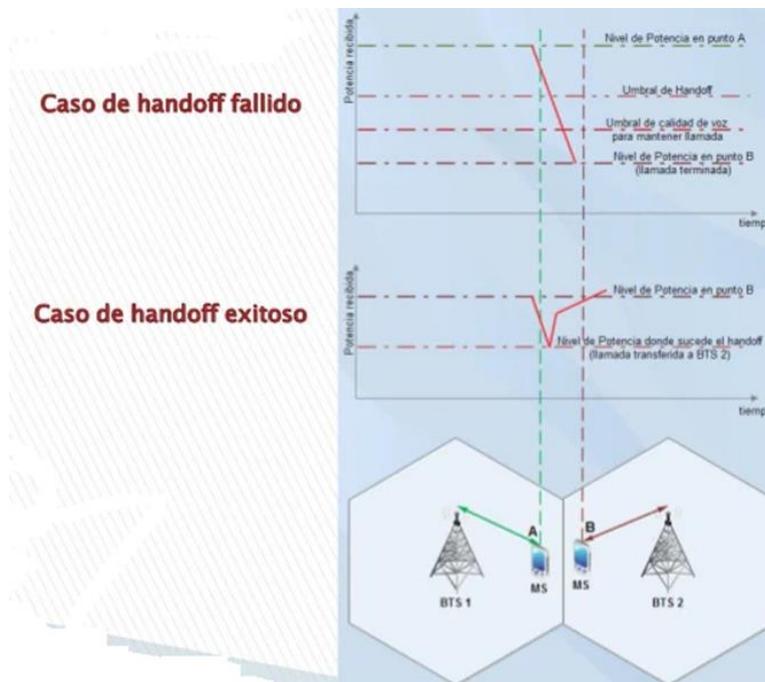
- *Handover* inter-celda, intra-BSC/RNC
 - Escenario típico.
 - La BSC/RNC controla el *Handover*, asigna canal nuevo en la nueva celda, libera canal viejo en la celda vieja.

- *Handover* inter-BSC, intra-MS
 - *Handover* entre celdas controladas por diferentes BSC/RNC
 - Controlado por el MSC(S)

- *Handover* inter-MS
 - *Handover* entre celdas pertenecientes a diferentes MSC(S)

- Controlado por ambos MSC(S)

Figura 40. **Traspaso de elementos (*Handover*)**



Fuente: HASNAQUI, Omar. III.9 El Handover. https://www.memoireonline.com/07/08/1383/m_u-m-t-s28.html, Consulta: 26 de octubre de 2021.

2.3.2. Proceso de *Handover* exitoso

Ya que para elegir la celda destino que pueda continuar brindando los servicios del operador al teléfono de una manera correcta y constante, la terminal móvil y la radio base realizan mediciones de intensidad y calidad de señal.

Debido a que la MS es quien toma la decisión de *Handover* y el teléfono móvil también realiza mediciones de intensidad y calidad de señal, este tipo de

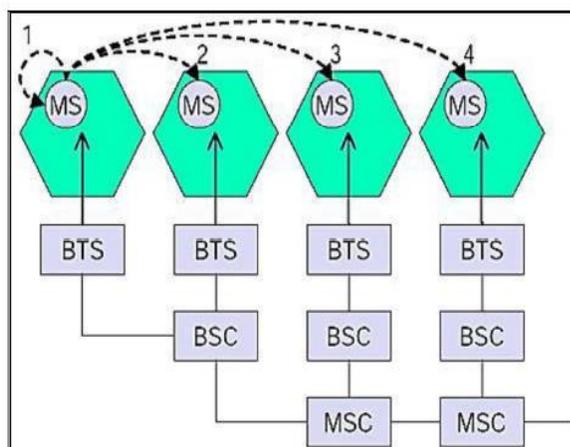
Handover es llamado *Mobile Assisted Handover* (MAHO) ya que es un *Handover* asistido por el móvil.

Las mediciones de la radio base y teléfono móvil son enviadas a la BSC en forma constante reportando las mediciones, basado en los reportes, la BSC decide si es necesario realizar el *Handover* y cuál será la celda destino a la cual se realizará la transferencia.

Cuando una celda vecina es seleccionada como una mejor opción para brindar el servicio a la terminal móvil se realiza el *Handover*.

Vale la pena mencionar que existen algunos casos especiales, como cuando una llamada local se convierte en una internacional, para esto debería existir una compatibilidad entre los sistemas de ambas MSC de los dos países donde se intenta hacer la comunicación.

Figura 41. **Handover en GSM**



Fuente: ARRIGA, Erick. *Todo sobre A-Flex en GSM*. <http://turnonideas.com/wp-content/uploads/2014/08/Allabout-A-flex.jpg>. Consulta: 21 de octubre de 2021.

2.3.3. Tipos que existen en los procesos de *Handover*

Como se mencionó anteriormente el proceso de traspaso o *Handover* es muy importante para que el usuario perciba una alta calidad de servicio, los diferentes tipos de traspaso que se pueden observar son los siguientes:

2.3.3.1. Traspasó 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 a partir de los reportes evalúa que la calidad de la conexión es muy baja en el sector donde se encuentra el usuario, pero no hay una mejor medición de otra celda, debido a eso la BSC busca ofrecer una mejor calidad en otro canal de la misma celda, por lo que únicamente se resintoniza un nuevo canal sin necesidad de cambiar la celda.

2.3.3.2. *Handover* entre celdas de una BSC

Cuando se realiza un *Handover* entre celdas controladas por la misma BSC, la MSC no se ve involucrada. Sin embargo, la MSC es informada cuando se lleva a cabo el *Handover*.

Si el *Handover* involucra diferentes ubicaciones, se llevará a cabo una nueva actualización de ubicación en la MSC una vez finalice la llamada.

2.3.3.3. *Handover* entre celdas de diferente BSC

Cuando se debe realizar un *Handover* entre celdas que son controladas por diferente BSC, la MSC 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*.

2.3.3.4. Handover entre celdas de diferente MSC

El *Handover* que debe llevarse a cabo entre celdas controladas por diferente MSC es un escenario más complejo, en este caso se necesita establecer un canal entre la MSC original y la nueva MSC, este canal se arma utilizando 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 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 nueva MSC.

Al mismo tiempo, la comunicación no debe interrumpirse porque un usuario se desplace (*roaming*, deambular) y salga de la zona de cobertura.

3. REDES DE TERCERA GENERACION, 3G / UMTS

3.1. Descripción de la red UMTS

Las redes UMTS, *Universal Mobile Telecommunications System* como lo indican sus siglas en inglés es una tecnología móvil de la llamada tercera generación. Esta tecnología ha presentado muchas ventajas a comparación de las anteriores como una mayor resistencia a interferencia, la utilización simultánea de conexiones de voz y datos y velocidades de descarga que alcanzan los 2 Mbit/s para usuarios con baja movilidad o los 144 Kbit/s para los que se encuentran moviéndose a gran velocidad.

Por estos beneficios la tecnología UMTS es una de las más utilizadas y desplegadas a lo largo del mundo para el acceso a internet por medio de una banda móvil. Vale la pena mencionar que se han dado mejoras y actualizaciones a esta tecnología como es el caso de HSPA, *High Speed Packet Access*, que permite alcanzar velocidades de hasta 14,4 Mbit/s y su evolución, HSPA+, que ofrece un máximo teórico de 42 Mbit/s.

En la tercera generación se buscó establecer estándares para un sistema móvil para la red completa, con lo que se consideró desde la red de acceso UTRAN para esta tecnología, la red núcleo y la autenticación de usuarios por medio de una SIM card.

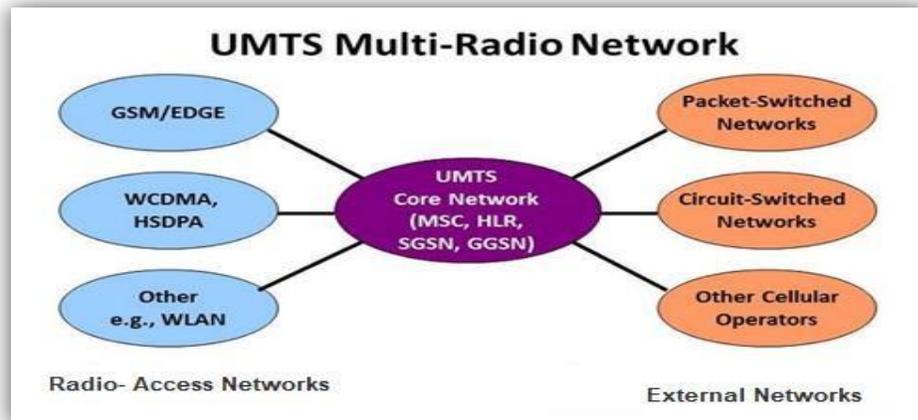
Esta tecnología puede ser utilizada tanto con tecnologías de acceso FDD como TDD.

La operación con métodos de acceso FDD hace uso de diferentes bandas de frecuencia, permitiendo grandes distancias entre el móvil y radio base. En una red pública con amplia cobertura, esto es necesario pues puede ser utilizado en lugares rurales donde la densidad de población no es tan alta y se requiere de una mayor cobertura.

La operación con métodos de acceso TDD puede ser usada solo para pequeñas distancias que en FDD, pero esta permite mayores velocidades de transmisión y mayor flexibilidad para el tráfico asimétrico, como es el tipo de tráfico utilizado en internet.

Una de las amenidades que les brinda a los operadores, UMTS es que pueden usar una red central común que soporte múltiples redes de radio acceso, como GSM, EDGE, W-CDMA, HSPA, y otros. A esto se lo denomina la red multi-radio UMTS, y les da a los operadores un máximo de flexibilidad al brindar distintos servicios en sus áreas de cobertura. Esto ya que en UMTS se buscó basarse en las actuales tecnologías móviles desplegadas y extenderlas, mejorando su transmisión de datos, velocidad de transmisión, y una extensa gama de servicios más.

Figura 42. Red multi-radio UMTS



Fuente: RESEARCH,Rysavy. *UMTS Multi-radio Network*. <https://docplayer.es/96737234-Universidad-ricardo-palma-facultad-de-ingenieria.html>, Consulta: 26 de octubre de 2021.

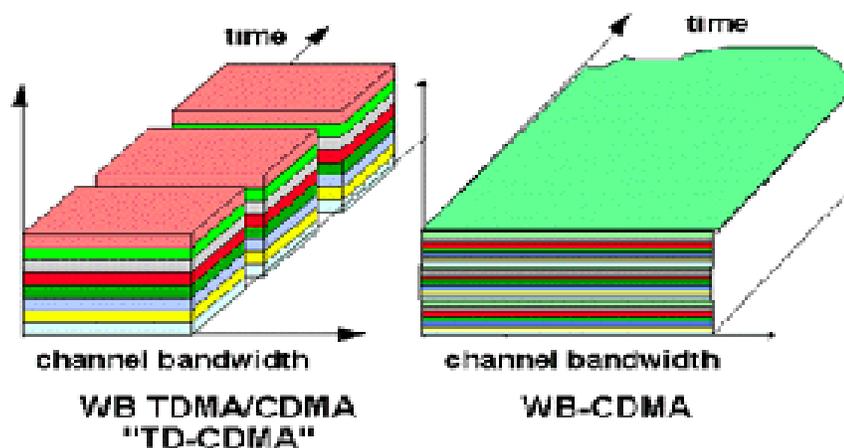
3.2. Métodos de acceso utilizados en UMTS

La frecuencia que usa el UMTS es la que está definida para IMT-2000 de la ITU. Esta institución determina un espectro mínimo de 230 MHz en la banda de los 2GHz. La banda incluye tanto las de comunicaciones terrestres, como las comunicaciones por satélite. El sistema de acceso que usa UMTS es DS-CDMA (*Direct Sequence Code Division Multiple Access*) con un ensanchamiento (*spread*) de la información en un ancho de banda de unos 5 MHz. Por esa razón se le llama habitualmente Wideband CDMA (WCDMA).

En el acceso radio terrestre del UMTS se definieron dos modos diferentes: UTRA FDD (*Frequency División Duplex*) y UTRA TDD (*Time División Duplex*). Así como se vio en la tecnología anterior la posibilidad de trabajar en ambos modos de acceso permite un uso más eficiente del espectro disponible. Estos modos se definen de la siguiente manera:

- FDD: es un método dúplex en el cual las transmisiones del enlace descendente (*Down link*) y del enlace ascendente (uplink) usan dos frecuencias radio separadas.
- TDD: es un método dúplex en el cual las transmisiones del enlace descendente (*Down link*) y del enlace ascendente (uplink) usan la misma frecuencia radio, pero cada una durante un intervalo de tiempo. En este también se incluye el método de acceso DS-SS, por lo que se le llama también TDMA.

Figura 43. **Métodos de acceso en UMTS**



Fuente: WCDMA. Petri P. (2003). *UMTS World*.

<http://www.umtsworld.com/technology/wcdma.htm>. Consulta: 10 de octubre de 2021.

Los *spreading factors* para esta nueva tecnología varían de 4 hasta 256 para el UpLink de FDD, de 4 a 512 para el DownLink FDD, y de 1 a 16 para TDD. Utilizando estas técnicas de acceso se pueden alcanzar las velocidades de modulación, sin multicódigo, oscilando entre 960k símbolos/s y 15 k símbolos/s para FDD, y para TDD entre 3,84 M símbolos/s y 240 k símbolos/s.

Luego del desarrollo de UMTS surge una mejora en la interfaz para la red 3G, es allí donde nace el protocolo de acceso de paquetes de alta velocidad – HSPA, el cual se resumen en serie de protocolos como el HSDPA, High Speed Down link Hackett Access, cuya finalidad es aumentar velocidad de transferencia de datos de bajada, mejorar la calidad de los servicios y mejorar la eficiencia espectral.

Después de HSDPA se desarrolló el protocolo HSUPA, *High Speed Uplink Packet Access*, que mejora la tasa de transferencia de subida de datos, y es considerado como la generación 3,75 G, este nuevo permite hacer uso de una arquitectura totalmente en IP, donde se aumenta la tasa de *UpLink* y *Downlink* en alrededor de un 20 % de la capacidad de tráfico.

3.3. Arquitectura de red UMTS

La arquitectura UMTS se divide en dos dominios:

- Dominio del equipo de usuario (UE, *User Equipment*)
- Dominio de la Infraestructura

3.3.1. Dominio del equipo de usuario

Puede incluir una tarjeta inteligente extraíble que puede usarse en diferentes tipos de terminales.

En el dominio de equipo de usuario se encuentran:

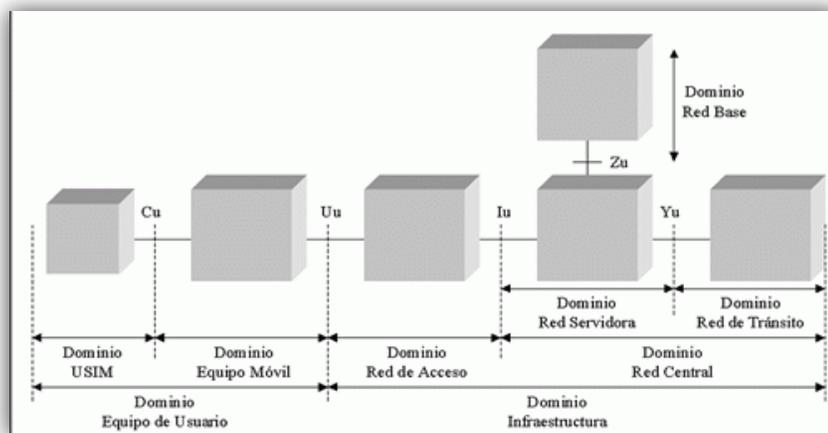
- Dominio de equipo móvil (ME, *Mobile Equipment*).

- Dominio del módulo de identidad de servicios de usuario (USIM, *User Services Identity Module*).

Dominio de equipo móvil, se subdivide en:

- Terminación móvil (MT, *Mobile Termination*) que realiza las funciones relacionadas con la transmisión radio.
- Equipo terminal (TE, *Terminal Equipment*) que contiene las aplicaciones extremo a extremo.
- El USIM contiene datos y procedimientos que la identifican de forma segura y están normalmente incluidos en una tarjeta inteligente.

Figura 44. **Dominios de referencia UMTS**



Fuente: RAMÍREZ de Prado. *Visión arquitectural de la tercera generación de móviles UMTS*.

<https://docplayer.es/96737234-Universidad-ricardo-palma-facultad-de-ingenieria.html>. Consulta

26 de octubre de 2021.

3.3.2. Dominio de la Infraestructura

Se divide en:

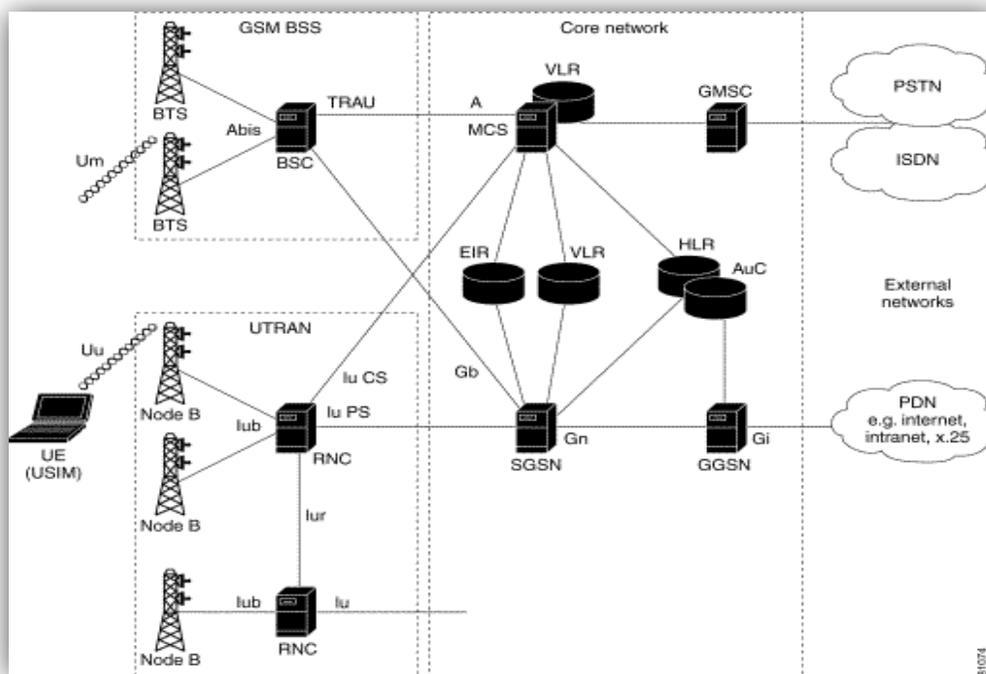
- Dominio de red de acceso (AN, *Access Network*)
- Dominio de red central (CN, *Core Network*)

El dominio de red de acceso AN, específica de UMTS se denomina red de acceso radio terrestre UMTS (UTRAN). El dominio de red central puede subdividirse en:

- Dominio de red servidora (SN, *Serving Network*), es la parte del dominio de red núcleo conectada al dominio de red de acceso, y representa las funciones del dominio de red central que son locales al punto de acceso del usuario y, por tanto, su ubicación cambia cuando el usuario se mueve.
- Dominio de red base (HN, *Home Network*), representa las funciones del dominio de red núcleo que son conducidas a una ubicación permanente independiente de la posición del punto de acceso del usuario; y es responsable de la gestión de información de suscripciones y datos de usuario. El USIM está relacionado con la suscripción dominio de red base.
- Dominio de red de tránsito (TN, *Transit Network*), es la parte del dominio de red central ubicada en el camino de comunicación entre el dominio de red servidora y la parte remota.

El núcleo de red de UMTS, se encuentra basada en la topología de la red GSM/GPRS, pues puede proveer de funciones de conmutación, enrutamiento, transporte y bases de datos para el tráfico de la red, está formada por elementos de conmutación de circuitos, tales como el MSC, el VLR y el GMSC, elementos de conmutación de paquetes, como el SGSN y el GGSN, y elementos que soportan ambos tipos de conmutación, el EIR, el HLR y el AuC, aunque la tendencia es hacia una única red troncal “Todo IP” que incluiría también a la red de acceso.

Figura 45. Núcleo de red en UMTS



Fuente: FERNÁNDEZ, Borja. 3G/UMTS. <https://docplayer.es/96737234-Universidad-ricardo-palma-facultad-de-ingenieria.html>. Consulta 26 de octubre de 2021.

3.4. Características generales

Para mejorar las velocidades de transferencia y capacidad en la red, UMTS modificó el tipo de acceso y los terminales móviles. UMTS consideró muy pocos cambios en la arquitectura de la red, lo que permitió compatibilidad entre las redes GSM y UMTS.

Se clasifica en:

- Terminal móvil (UE: *User Equipment*).
- Red de acceso de radio (UTRAN: *UMTS Terrestrial Radio Access Network*).
- Núcleo de red (CN: *Core Network*).

Gracias a los cambios en el acceso de radio y las siguientes actualizaciones realizadas sobre UMTS los que son conocidos como 3,5 G HSPA y HSPA+, se logró entregar un sistema de banda ancha móvil que permitió un acceso rápido a servicios básicos de internet desde los celulares y computadores portátiles a través del modem USB.

En UMTS también separó completamente el tráfico de datos y de voz en dos dominios. En el núcleo de red se definieron el dominio de conmutación de circuitos (CS) para los servicios de voz y el dominio de conmutación de paquetes (PS) para los servicios de datos. Y el servicio de datos está basado totalmente en protocolo IP, lo que facilitó el sistema de cobro en función del tráfico o descarga.

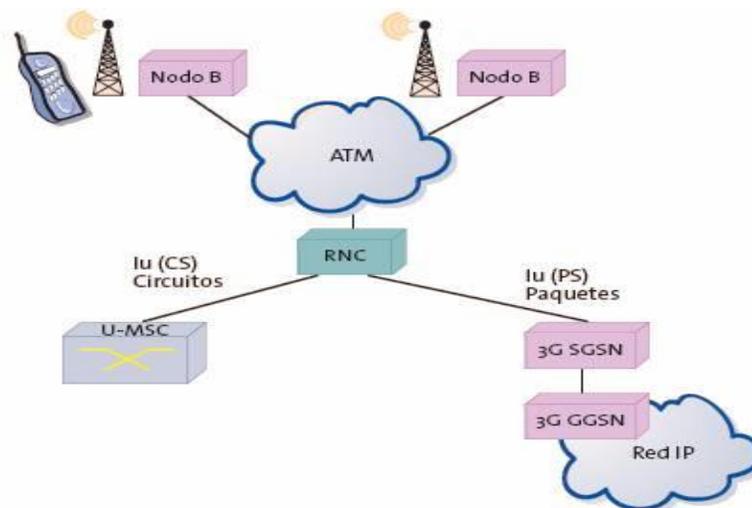
3.4.1. Limitaciones UMTS

- Las redes UMTS presentan varias limitaciones que afectan el buen funcionamiento de los sistemas de banda ancha y de voz. Tales como las que se enuncian.
 - Cobertura de red limitada. Dependiendo del lugar de localización, la velocidad de transferencia de cobertura.
 - Las redes UMTS no logran mantener la calidad de la señal cuando se realizan muchos *Handover*, por ejemplo, cuando se está circulando en un automóvil.
 - Sistema jerárquico, provoca aumentos en los costos de operación y mantenimiento de la red.
 - Entrega sistemas de voz de baja calidad.
 - No permite la flexibilidad en las bandas de frecuencia.
 - Solo puede operar con bandas de 5MHz o múltiplos, por lo que no es capaz de soportar otros tipos de accesos como el de GSM/GPRS.
 - Las redes UMTS funcionan de forma independiente respecto de GSM, pero entre ellas puede haber comunicaciones gracias a los puertos de enlace entre redes.

3.4.2. Consideraciones para transmisión

En UMTS aparecen diferentes elementos de red, los cuales son muy similares a los que se utilizaban en GSM, pero con características mejoradas entre ellos están los nodos BTS por nodos B y los BSC por RNC (*Radio Network Controller*). Esto hace que las interfaces también cambien, desapareciendo la interface A, que es sustituida por la I_u. todas las interfaces que interactúan con el núcleo de la red utilizan ATM como protocolo de transporte.

Figura 46. Estructura UMTS



Fuente: Universidad de Oviedo. (2019), *El Sistema UMTS*.

<http://isa.uniovi.es/domotica/Temas/T3/T3-UMTS.html>. Consulta: 8 de septiembre de 2021.

La tendencia de UMTS es evitar la separación entre las comunicaciones de voz y las de datos, de tal manera que se utilicen la misma estructura en ambos tipos de comunicaciones. En la *release 5* de UMTS, el protocolo IP será el mecanismo de transporte, tanto para voz como para datos, incluso en la UTRAN, sustituyendo a la red ATM.

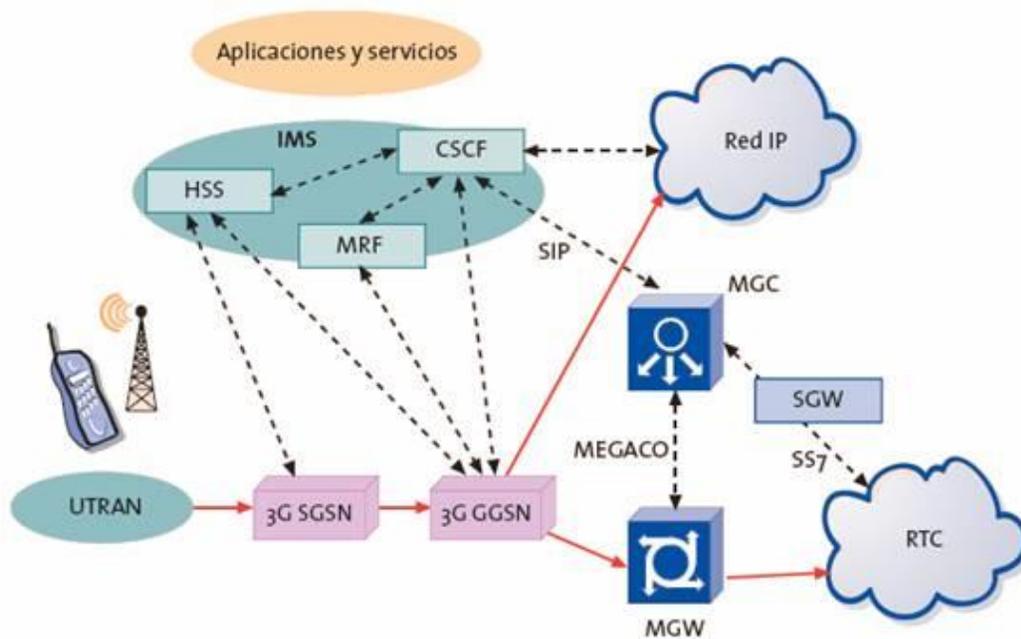
Con la *release 5* se separan los mecanismos de control de los de transmisión de datos, con la aparición del *IP Multimedia Subsystem (IMS)* para la gestión de servicios multimedia utilizando señalización SIP sobre la portadora de paquetes. Dentro del sistema IMS se pueden encontrar las siguientes partes:

- *HSS (Home Subscriber Server)*: contiene los perfiles de suscripción de los usuarios. Es la evolución del HLR con la incorporación de funciones de control IP multimedia.
- *CSCF (Call State Control Function)*: se encarga del control de la sesión y está dividido, a su vez, en varias entidades que se comunican entre sí y con el usuario utilizando el protocolo SIP.
- *I-CSCF (Interrogating CSCF)*: es el punto de entrada y selecciona, con la ayuda del HSS, el SCSCF apropiado.
- *S-CSCF (Serving CSCF)*: recibe las peticiones SIP del usuario y realiza el control de la sesión.
- *P-CSCF (Proxy CSCF)*: en el caso de *roaming*, estaría localizado en la red visitada y seleccionaría el I-CSCF de la red de origen.
- *MRF (Multimedia Resource Function)*: gestiona las funciones de llamada o sesión con varios participantes y conexiones.

Las nuevas características de UMTS no representan una ruptura con las redes de segunda generación. Ya que se mantiene la interoperabilidad con estas redes porque para los operadores de telefonía móvil es muy importante la coexistencia de las diferentes tecnologías, para poder realizar esto se utilizaron

los siguientes nodos los *Media Gateways (MG)*, *Media Gateways Controller* y los *Signalling Gateways (SGW)*, sin embargo, la cantidad de celdas o antenas repetidoras aumentan en número, de tal manera garantizar una mejor cobertura y una mayor eficacia a la hora de su operatividad.

Figura 47. **Estructura UMTS Release 5**



Fuente: Universidad de Oviedo. (2019), *El Sistema UMTS*.

<http://isa.uniovi.es/domotica/Temas/T3/T3-UMTS.html>. Consulta: 8 de septiembre de 2021.

A continuación, se menciona algunas consideraciones técnicas de referente al diseño de una red UMTS:

- Banda de frecuencia: 1 920 MHz -1 980 MHz y 2 110 MHz – 2 170 MHz (Dúplex por división de frecuencia) UL y DL.

- Banda de frecuencia mínima requerida: ~ 2x5 MHz.
- Reutilización de frecuencia: 1.
- Espaciado de portadora: 4,4 MHz - 5,2 MHz.
- Número máximo de canales (de voz) en 2x5MHz: ~ 196 (factor de propagación 256 UL, AMR 7,95 kbps) / ~ 98 (factor de propagación 128 UL, AMR 12,2 kbps).
- Codificación de voz: códecs AMR (4,75 kHz - 12,2 kHz, GSM EFR = 12,2 kHz) y SID (1,8 kHz).
- Codificación de canal: codificación convolucional, código Turbo para datos de alta velocidad. Se necesita duplexor (separación de 190 MHz), se admite conexión asimétrica.
- Aislamiento Tx / Rx: MS: 55dB, BS: 80dB.
- Receptor: Rake.
- Sensibilidad del receptor: Nodo B: -121dBm, Móvil -117dBm a BER de 10⁻³.
- Tipo de datos: paquete y conmutador de circuito.
- Modulación: QPSK.
- Conformación de pulso: raíz coseno elevado, caída = 0,22.

- Velocidad de chip: 3,84 Mcps.
- Ráster de canal: 200 kHz.
- Velocidad máxima de datos de usuario (canal físico): ~ 2,3 Mbps (factor de dispersión 4, códigos paralelos (3 DL / 6 UL), codificación de 1/2 velocidad), pero con interferencia limitada.
- Velocidad máxima de datos del usuario (ofrecida): 384 kbps (año 2002), velocidades más altas (~ 2 Mbps) en un futuro próximo. HSPDA ofrecerá velocidades de datos de hasta 8-10 Mbps (y 20 Mbps para sistemas MIMO).
- Velocidad de bits del canal: 5,76 Mbps.
- Longitud del cuadro: 10 ms (38 400 chips).
- Número de ranuras / marco: 15.
- Número de chips / ranura: 2 560 chips.
- Traspasos: suave, más suave, (inter frecuencia: duro).
- Período de control de energía: intervalo de tiempo = tasa de 1 500 Hz.
- Tamaño del paso de control de potencia: 0,5, 1, 1,5 y 2 dB (variable).
- Rango de control de potencia: UL 80dB, DL 30dB.

- Pico de potencia móvil: Clase de potencia 1: +33 dBm (+ 1dB / -3dB) = 2W; clase 2 +27 dBm, clase 3 +24 dBm, clase 4 +21 dBm.
- Número de códigos únicos de identificación de la estación base: 512 / frecuencia.
- Factores de dispersión de la capa física: 4 ... 256 UL, 4 ... 512 DL.

La complejidad de los sistemas W-CDMA se puede ver desde diferentes ángulos: la complejidad de cada algoritmo, la complejidad del sistema en general y la complejidad computacional de un receptor, pero además de todas estas complejidades al ser estas resueltas, la interfaz W-CDMA, puede brindar muchos otros beneficios como que diferentes usuarios pueden transmitir simultáneamente a diferentes velocidades de datos y las velocidades de datos pueden incluso variar en el tiempo.

3.4.3. Interfaces de red

La arquitectura UMTS se puede dividir en dos dominios: UE, *User Equipment* y IE, *Infrastructure Equipment*. Esta primera división es denominada a los usuarios finales o teléfonos móviles utilizados por de los usuarios finales y el IE es el equipo que brinda el correcto servicio a todos los usuarios en la red

3.4.4. Dominio UE (*User Equipment*)

Es el equipo utilizado por el usuario para acceder a los servicios UMTS. Este dominio engloba una gran variedad de equipos (móviles, fijos, y otros) con diferentes niveles de funcionalidad y puede ser compatible con uno o más interfaces de acceso. En el UE se incluye el ME (*Mobile Equipment*) y uno o más

USIM (*User Services Identity Modules*); el dominio UE se subdivide en dominio ME y dominio USIM.

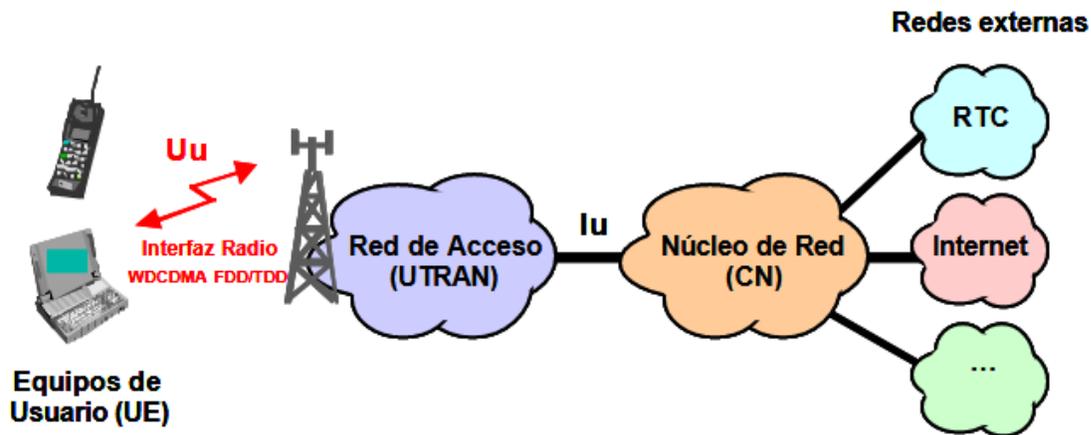
El dominio USIM contiene la funcionalidad utilizada para acceder a los servicios UMTS de una cierta red doméstica. El USIM es una aplicación que puede residir en una tarjeta inteligente removible que puede contener otras aplicaciones esta es normalmente conocida como *SIM card*. También puede no ser removible y estar integrada en el equipo móvil.

El USIM contiene datos y procedimientos que le identifican de forma segura y están normalmente incluidos en una tarjeta inteligente. El ME realiza la funcionalidad de transmisión de radio en el lado del usuario y contiene aplicaciones extremo a extremo.

El dominio ME se subdivide en dos sub-dominios:

- TE (*Terminal Equipment*), que contiene la funcionalidad relativa a las aplicaciones extremo a extremo (por ejemplo, micrófono, altavoz, pantalla de un laptop-computer).
- MT (*Mobile Termination*), que contiene la funcionalidad relativa a la transmisión de radio. El punto de referencia Uu entre UE y IE se realiza por un interfaz de acceso concreto.

Figura 48. **Arquitectura genérica UMTS**



Fuente: GARCÍA, Ana; ÁLVAREZ Manuel; VÁZQUEZ, Enrique; BERROCAL, Julio. *Diseño de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio (2002)*. <https://www.dit.upm.es/~mac/publications/2002/cita02-utran.pdf>. Consulta: 12 de septiembre de 2021.

3.4.4.1. **Dominion IE (*Infrastructure Equipment*)**

El dominio IE es el que proporciona servicios a todos los usuarios finales anidados dentro de su área de cobertura. El dominio IE se subdivide a su vez en el dominio AN (*Access Network*), que está en contacto directo con el UE y el dominio CN (*Core Network*). Esta subdivisión ayuda a dividir la funcionalidad relacionada al acceso de la funcionalidad relacionada con cuestiones que no son de acceso y se encuentra en sintonía con el principio modular adoptado por la UMTS que especifica qué partes de la red deberían permitirse desarrollarse de forma independiente.

El dominio AN brinda las funciones específicas para la técnica de acceso, mientras las funciones del dominio CN se pueden utilizar con flujos de información que utilizan cualquier técnica de acceso.

El dominio AN (*Access Network*) consta de los nodos físicos que gestionan los recursos de las ANs y proporciona al usuario un mecanismo para acceder al dominio CN. El dominio CN consta de los nodos físicos que proporcionan soporte para las características de red y los servicios de telecomunicaciones.

El dominio CN se subdivide en el dominio SN (*Serving Network*), el dominio HN (*Home Network*) y el dominio TN (*Transit Network*). El SN, HN y TN se interpretan como los roles que desempeñan ciertas redes en relación con una cierta llamada. Las redes pueden tener la capacidad de desempeñar más de un rol y para una única llamada no son necesariamente diferentes.

La red SN es la responsable de encaminar llamadas y transportar la información/datos del usuario desde la fuente al destino. Tiene la capacidad de interactuar con la HN para atender los servicios/datos específicos del usuario y con la red TN para propósitos de servicios/datos específicos que no son de usuario. El dominio HN (*Home Network*) representa las funciones de la red CN que son guiadas a una localización permanente sin tener en cuenta la localización del punto de acceso del usuario.

3.4.5. Traspaso de elementos (*Handover*)

Dentro de UMTS es posible definir varios tipos diferentes de traspaso. Con la llegada de la tecnología CDMA, se hicieron posibles nuevas formas para efectuar traspasos más fiables y, como resultado, una de una variedad de formas

diferentes de traspaso está disponible dependiendo de las diferentes circunstancias.

Para la tecnología W-CDMA, existen tres tipos básicos de traspaso. Cada uno de los diferentes tipos de traspaso se utiliza en diferentes ocasiones dependiendo de las condiciones, continuación se proporcionan más detalles de cada tipo de traspaso UMTS.

3.4.5.1. Traspaso forzado o duro:

El traspaso duro como su nombre lo indica hay un cambio duro durante el proceso de traspaso. Para un traspaso forzado, los enlaces de radio se rompen y luego se restablecen. Aunque el traspaso forzado debe parecer sencillo para el usuario, siempre existe la posibilidad de que el usuario advierta una breve interrupción en la conexión.

La metodología básica detrás de un traspaso duro es relativamente sencilla. Hay una serie de etapas básicas de un traspaso duro:

- La red decide que se requiere un traspaso dependiendo de la intensidad de la señal del enlace existente y la intensidad de los canales de transmisión de las células adyacentes.
- El vínculo entre el Nodo B existente y el UE está roto.
- Se establece un nuevo enlace entre el nuevo Nodo B y el UE.

Aunque se trata de una simplificación del proceso, es básicamente lo que sucede. El principal problema es que cualquier dificultad para restablecer el

enlace provocará que el traspaso falle y que se interrumpa la llamada o la conexión.

Los traspasos duros UMTS se pueden utilizar en varios casos:

- Al pasar de una celda a una celda adyacente que puede estar en una frecuencia diferente.
- Al implementar un cambio de modo, por ejemplo: del modo FDD al TDD.
- Al pasar de una celda a otra donde no hay capacidad en el canal existente y se requiere un cambio a una nueva frecuencia.

Uno de los problemas a los que se enfrentan las transferencias forzadas de UMTS también se experimentó en GSM es que cuando los niveles de uso son altos, la capacidad de una celda en la que un UE está tratando de ingresar puede ser insuficiente para admitir un nuevo usuario. Para superar esto, es necesario reservar algo de capacidad para nuevos usuarios.

3.4.5.2. Traspaso suave

El traspaso suave es una forma que fue posible gracias a la introducción de CDMA. El traspaso suave se produce cuando un UE se encuentra en el área de cobertura superpuesta de dos celdas. Los enlaces a las dos estaciones base se pueden establecer simultáneamente y de esta manera el UE puede comunicarse con dos estaciones base. Al tener más de un enlace activo durante el proceso de transferencia, esto proporciona una forma más confiable y sin problemas de realizar la transferencia.

Debido al hecho de que el traspaso suave usa varios enlaces simultáneos, significa que las celdas adyacentes deben estar operando en la misma frecuencia o canal ya que los UE no tienen múltiples transmisores y receptores que serían necesarios si estuvieran en diferentes frecuencias. Cuando el UE y el Nodo B realizan un traspaso suave, el UE recibe señales de los dos Nodos B y las combina usando la capacidad del receptor disponible en el procesamiento de señales del UE.

En el enlace ascendente, la situación es más complicada ya que la combinación de señales no se puede lograr en el Nodo B ya que está involucrado más de un Nodo B. En cambio, la combinación se logra cuadro por cuadro. Las mejores tramas se seleccionan después de cada período de entrelazado. La selección se realiza mediante el uso del algoritmo de control de potencia del bucle exterior que mide la relación señal / ruido (SNR) de las señales de enlace ascendente recibidas. Esta información se utiliza luego para seleccionar el marco de mejor calidad.

Una vez que se ha completado el traspaso suave, los enlaces al antiguo Nodo B se eliminan y el UE continúa comunicándose con el nuevo Nodo B. El traspaso suave utiliza un mayor grado de recursos de red que un enlace normal, o incluso un traspaso duro. Sin embargo, esto se compensa con la mejora de la fiabilidad y el rendimiento del proceso de traspaso. No obstante, entre el 5 % y el 10 % de los trasposos pertenecen a esta categoría.

3.4.5.3. Traspaso entre RAT/entre sistemas o iRAT

En muchos casos, es necesario que la red de acceso por radio UMTS se traspose a la red GSM. Estos trasposos reciben gran variedad de nombres, incluido el traspaso entre RAT y el traspaso entre diferentes formas de tecnología

de acceso por radio, traspaso entre sistemas y traspaso UMTS / GSM. Estos traspasos pueden ser necesarios por una variedad de razones que incluyen:

- Cobertura UMTS limitada.
- La red UMTS está ocupada mientras que la capacidad de reserva está disponible en la red GSM.

La forma más común de traspaso entre sistemas o entre RAT es entre UMTS y GSM. Hay dos tipos diferentes de traspaso entre RAT o traspaso iRAT:

3.4.5.4. Traspaso de UMTS a GSM

- Traspaso en modo comprimido: el UE utiliza los huecos en la transmisión que se generan para analizar la recepción de las estaciones base GSM locales. El UE usa la lista de vecinos brindada por la red UMTS para monitorear y seleccionar una estación base candidata adecuada. Una vez detectada una estación base adecuada, tiene lugar el traspaso, pero sin que se haya producido ninguna sincronización horaria.
- Traspaso ciego: se genera cuando la estación base traspasa el UE pasándole los detalles de la nueva celda al UE sin vincularlo y establecer el tiempo, y otros del móvil para la nueva celda. En este modo, la red selecciona lo que cree que es la estación óptima basada en GSM. El UE localiza primero el canal de comunicación de la nueva celda, obtiene sincronización de tiempo y luego lleva a cabo un traspaso entre celdas no sincronizado.

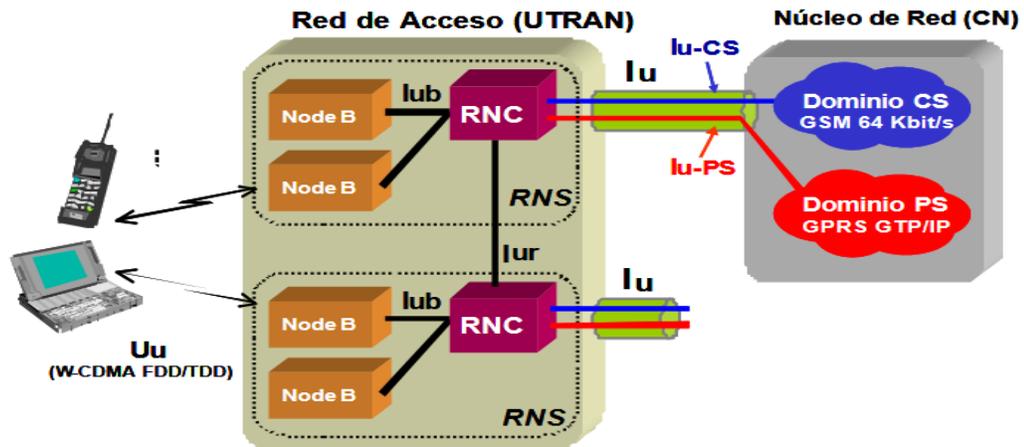
- Traspaso de GSM a UMTS: esta forma de traspaso es compatible con GSM y se estableció una lista de vecinos para permitir que esto ocurra fácilmente. Como la red GSM es normalmente más extensa que la red 3G, este tipo de traspaso normalmente no ocurre cuando el UE abandona un área de cobertura y debe encontrar rápidamente una nueva estación base para mantener el contacto. El traspaso de GSM a UMTS se produce para proporcionar una mejora en el rendimiento y normalmente solo puede tener lugar cuando las condiciones son adecuadas.

3.4.6. Funcionalidades del núcleo en UMTS

Los equipos de usuario acceden a la red a través del interfaz radio Uu, basado en WCDMA. La red de acceso radio (UTRAN) se encarga de transportar el tráfico de usuario como, voz, datos, señalización móvil-red, y otros, hasta el núcleo de red, con el que se comunica a través del interfaz Iu. Dentro del núcleo de red se encuentran los recursos de conmutación y transmisión necesarios para completar el trayecto de la comunicación hacia el abonado remoto, que puede pertenecer a la red UMTS o a una red externa.

El núcleo de red en UMTS se plantea como la evolución del existente en las actuales redes 2G basadas en GSM/GPRS. En la primera fase de normalización (*Release* 99), se propone la reutilización de la infraestructura disponible en dichas redes. La evolución del CN propiamente dicha se deja para fases posteriores (*Release* 4 y *Release* 5). La red de acceso en UMTS, por el contrario, difiere desde el primer momento con respecto a las redes 2G. Con objeto de acomodar de manera flexible y eficiente los distintos tipos de aplicaciones posibles en UMTS, se recurre al empleo de técnicas de conmutación de paquetes.

Figura 49. Arquitectura UTRAN



Fuente GARCÍA, Ana; ÁLVAREZ Manuel; VÁZQUEZ, Enrique; BERROCAL, Julio. *Diseño de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio (2002)*. <https://www.dit.upm.es/~mac/publications/2002/cita02-utran.pdf>. Consulta: 12 de septiembre de 2021.

La red de acceso UMTS consta de uno o más subsistemas RNS (*Radio Network Subsystem*). Cada RNS cubre un conjunto de nodos UMTS, siendo responsable de la gestión de los recursos asociados a ellas. Un RNS está formado por un controlador RNC (*Radio Network Controller*) y un conjunto de estaciones base (Nodos B). Dentro de la red radio se definen dos tipos de interfaces: el interfaz Iub entre cada Nodo B y el RNC que lo controla y el interfaz Iur entre RNC.

Este último interfaz, sin equivalente en las redes 2G, permite la comunicación directa entre RNC para el soporte de traspasos suaves (*Soft-Handover*) entre estaciones base pertenecientes a distintos RNC. La red radio también posee dos interfaces externas: el interfaz radio U, basado en WCDMA, y el interfaz Iu con el núcleo de red. Este último se subdivide en dos interfaces:

Iu-CS hacia el dominio de conmutación de circuitos e Iu-PS hacia el dominio de conmutación de paquetes.

4. REDES DE CUARTA GENERACIÓN, LTE

Las redes móviles con tecnologías de cuarta generación son conocidas como LTE, o por sus siglas en inglés *Long Term Evolution*, es una tecnología de red móvil que los operadores móviles están implementando como la siguiente generación heredera de las tecnologías GSM y CDMA. Esta nueva tecnología puede brindar velocidades muy rápidas, de hasta 100Mbps de Downlink y 50Mbps de UpLink.

Vale la pena resaltar que esta tecnología fue diseñada para ser compatible con versiones anteriores de GSM y HSPA, además LTE incorpora la tecnología *Multiple In Multiple Out* (MIMO), la interfaz aérea de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) en el *DownLink* y FDMA de portadora única en el *UpLink*. Esta combinación proporciona altos niveles de eficiencia espectral y rendimiento de la red, junto con una alta capacidad de red y baja latencia. LTE admitirá anchos de banda de canal de espectro de 1,4 MHz a 20 MHz y puede funcionar tanto en espectro emparejado (modo FDD) como en espectro no emparejado (en modo TDD).

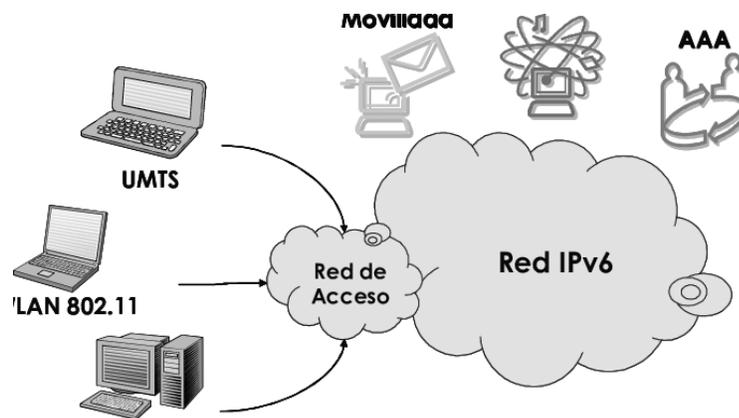
4.1. Características generales

Las principales características de las propuestas de redes móviles 4G es la utilización de tecnologías IP en el núcleo y en las redes de acceso.

Para ello nuevos conceptos deben ser implementados como:

- QoS (calidad de servicio): aunque la tecnología IP como tal no ofrece ninguna manera de medir o garantizar la calidad de servicio, hay algunas industrias que necesitan garantizar este, como lo es la empresa de telefonía móvil, ya que se tienen altos requerimientos para cumplir con la calidad de servicio dado a los clientes.

Figura 50. **Calidad de servicio**

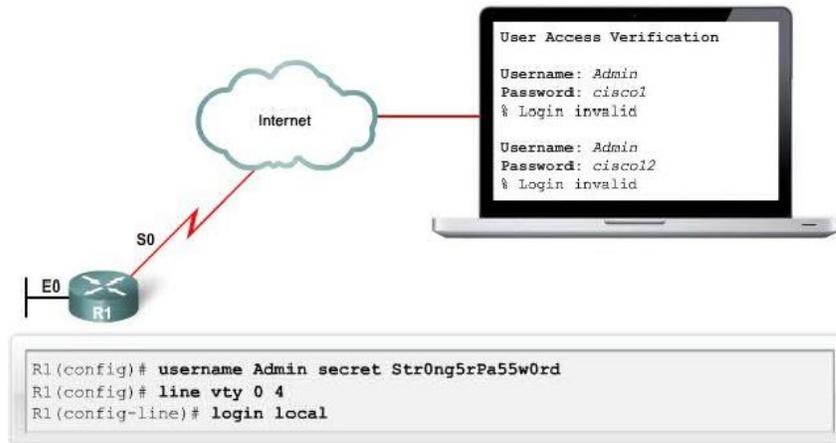


Fuente: GARCÍA, Carlos. *Soporte de QoS en Redes de 4ª Generación*.

<https://www.semanticscholar.org/paper/Soporte-de-QoS-en-Redes-de-4%C2%AA-Generaci%C3%B3n-Garc%C3%ADa-Cuevas/a81f90cde287e1b8643f2e057a21aa12d51633cf>,
Consulta: 26 de octubre de 2021.

- AAA (autorización, autenticación, *Accounting/Contabilización*): los sistemas AAA son los encargados de corroborar la identidad de los usuarios, autorizar los servicios de los cuales van a disponer y contabilizar como utilizan estos mismos. Estos sistemas utilizan las redes IP para transportar la información de señalización necesaria.

Figura 51. **Sistemas AAA**

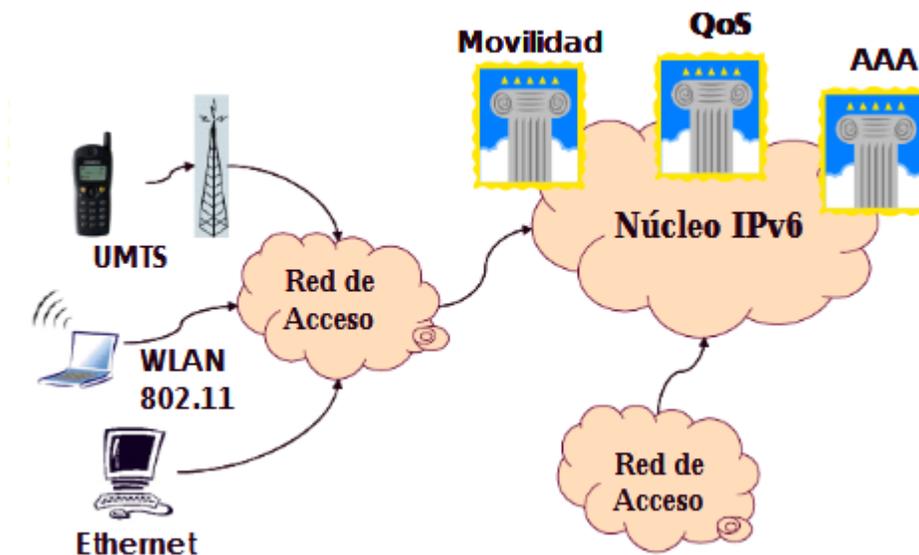


Fuente: DRUCKER, Peter. *Redes distribuidas.*,

<https://redesdistribuidas.wordpress.com/2015/06/03/autenticacion-Fuenteizacion-y-contabilidad-accounting/>, Consulta: 26 de octubre de 2021.

- Movilidad: las redes de 4G deben ser capaces de soportar mecanismos eficientes que permitan la movilidad de usuarios que se conecten a la red mediante diversas redes de acceso existentes como lo son (WCDMA, WLAN, Ethernet, y otros.) además es importante mencionar que esta movilidad debe contar con mecanismos que soporten hacer *Handover* entre subredes de iguales o diferentes tecnologías, teniendo como elemento común el transporte por medio de IP.

Figura 52. **Movilidad en las redes 4G**



Fuente: CUEVAS, Antonio; GARCÍA Carlos; MORENO; José, SOTO Ignacio. *Los pilares de las redes 4G: QoS, AAA y Movilidad*. https://www.researchgate.net/publication/228826104_Los_pilares_de_las_redes_4G_QoS_AAA_y_Movilidad, Consulta: 26 de octubre de 2021.

4.1.1. **Métodos de acceso utilizados en LTE**

En esta tecnología la red de acceso es llamada E-UTRAN, y la red del núcleo o red troncal llamada EPC, estas dos brindan los servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos del usuario y las redes de paquetes externas como otras redes de telecomunicaciones, internet entre otras. La de calidad de servicio de transferencia de paquetes IP puede configurarse en base a las necesidades de los servicios que lo utilicen, cuya señalización se lleva a cabo a través de plataformas de servicios externas y lo cual se puede observar de forma transparente en la red troncal EPC.

Al servicio de transferencia de paquetes IP dado por una red LTE entre el equipo de usuario y una red externa se le llama servicio portador EPS. Así mismo, la parte del servicio de transferencia de paquetes que brinda la red de acceso E-UTRAN, se denomina E-UTRAN *Radio Access Bearer* (ERAB). Es importante no olvidar que para LTE la interconexión de los diferentes equipos físicos donde se ubicarían las funciones tanto de la red troncal EPC como de la red de acceso E-UTRAN, se realiza mediante tecnologías de red basadas en IP.

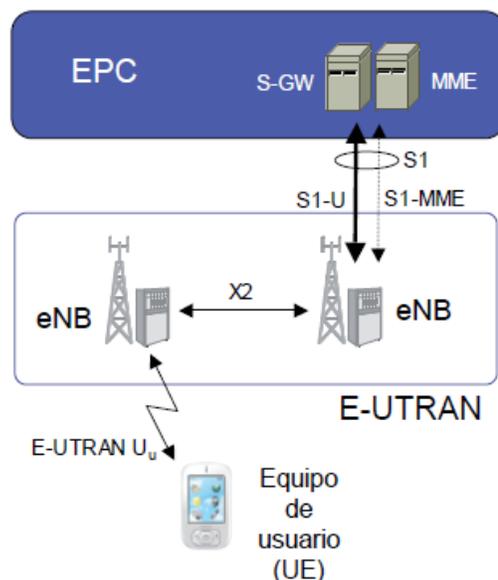
Por lo que, la red física que se utiliza para interconectar los diferentes equipos de una red LTE, a lo que se le denomina red de transporte, es una red IP convencional.

Con lo descrito anteriormente se puede decir que la infraestructura de una red LTE, además de los equipos que implementan las funciones dictadas por el estándar 3GPP, también integra otros elementos de red propios de las redes IP tales como *routers*, servidores DHCP para la configuración automática de las direcciones IP de los equipos de la red LTE y servidores DNS para asociar los nombres de los equipos con sus direcciones IP.

Para LTE la arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red denominada evolved NodeB (eNodeB), diferente a como era en las tecnologías anteriores que tenían la estación base y los equipos de control por aparte. La descripción de la arquitectura de E-UTRAN se detalla en las especificaciones del 3GPP TS 36.300 y TS 36.401.

Una red de acceso E-UTRAN está conformada por diferentes eNodeBs que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC. Un eNodeB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

Figura 53. **Arquitectura genérica de una red LTE**



Fuente: LOPEZ Leticia. *Breve descripción de la arquitectura de red de LTE.*
<http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>. Consulta: 13 de octubre de 2021.

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

El eNodeB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está subdividida en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario. La separación entre plano de control y plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE.

Las nuevas tecnologías de acceso utilizadas en LTE permiten alcanzar mayores niveles de capacidad y eficiencia en el uso de los recursos como el espectro electromagnético, para aprovechar de mejor manera este recurso en esta tecnología se utilizan técnicas de acceso múltiple, como los son OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) y SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*), los cuales se explicarán en los siguientes párrafos.

La técnica de acceso OFDM es tipo de modulación de multi-portadora ya que esta hace uso de un gran número de sub-portadoras para transmitir información de datos y control, por medio del ancho de banda. Esta técnica se vale de las propiedades de la ortogonalidad en las subportadoras y con esto es posible realizar la transmisión simultánea de varios paquetes de datos sin que estos interfieran unos con otros en la recepción.

Cada una de estas subportadoras es modulada mediante modulaciones como QAM Gracias a las propiedades de ortogonalidad de las subportadoras, es posible efectuar la transmisión simultánea de todos los símbolos manteniendo la capacidad de separación de los mismos en recepción. Cada subportadora es modulada individualmente mediante esquemas de modulación convencionales tales como QAM.

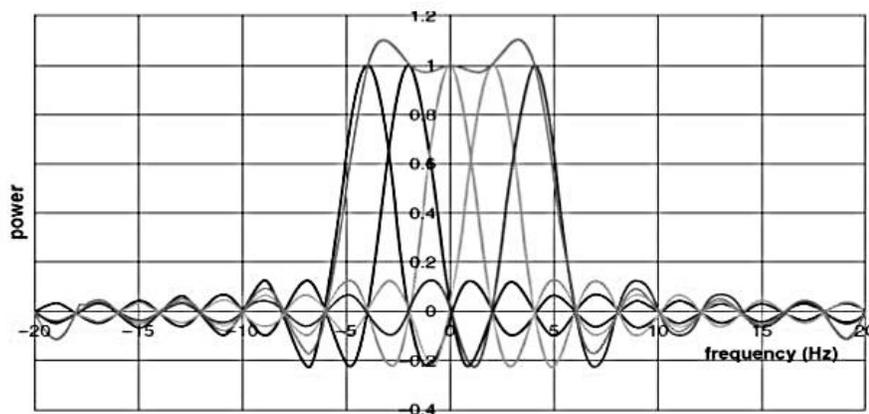
La evolución de OFDM es llamada OFDMA esta es una técnica de acceso utilizada en el *DownLink* de E-UTRAN. La manera en la que funciona es modulación de multi-portadora el acceso múltiple por división de frecuencia.

En esta técnica de acceso se designan subportadoras para todos los usuarios y estas subportadoras pueden ser asignadas dependiendo del servicio que el usuario tenga contratado, con este tipo de gestión se pueden asignar más

subportadoras a un solo usuario lo que aumentaría la calidad de servicio, velocidad de transmisión, cobertura. También gracias a esta técnica de acceso es posible enviar varias transmisiones de datos de múltiples usuarios cada uno en diferente portadora.

Espectro de cinco subportadoras ortogonales moduladas QAM para obtener una portadora OFDM.

Figura 54. **Espectro de 5 subportadoras**



Fuente: CALLE Camilo; JIMÉNEZ Maria. *Estudio y análisis técnico comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE Advanced, XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica.*

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17148/1/2014AJIEE-29.pdf>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

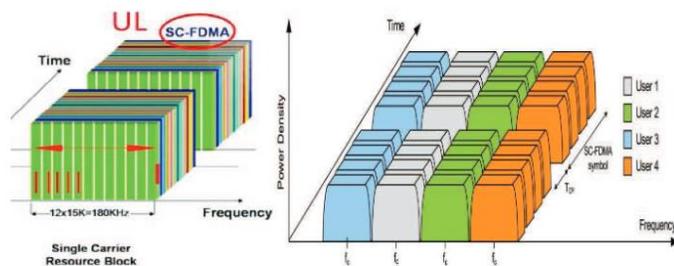
Con la técnica de acceso SC-FDMA se puede transmitir paquetes de datos de UpLink de un usuario específico en un conjunto de subportadoras de manera simultánea, para identificar las subportadoras, ya que el paquete de datos se divide en una cantidad N de subportadoras.

Este paquete también es dividido tal que ocupe el mismo ancho de banda en las N subportadoras utilizadas, además de eso la duración del paquete transmitido debe ser igual en cada subportadora.

Utilizar este tipo de modulación en el *UpLink*, es muy útil para reducir el PAPR (*Peak to Average Power Ratio*), el cual es un factor muy importante ya que mide la relación de potencia instantánea, transmitirá sobre la potencia media, por lo que es un factor que indica si se debe mejorar o incrementar la ganancia de los amplificadores de potencia.

Como se puede intuir debido a los párrafos previos, esta nueva tecnología de redes móviles puede manejar múltiples transmisiones de *UpLink* y múltiples de *DownLink* a esta funcionalidad se le es mejor conocida como MIMO, aunque esta se utiliza para referente a medios de transmisión, antenas, cableados y no a los transmisores y receptores.

Figura 55. **Asignación de recursos de diferentes usuarios en OFDMA**

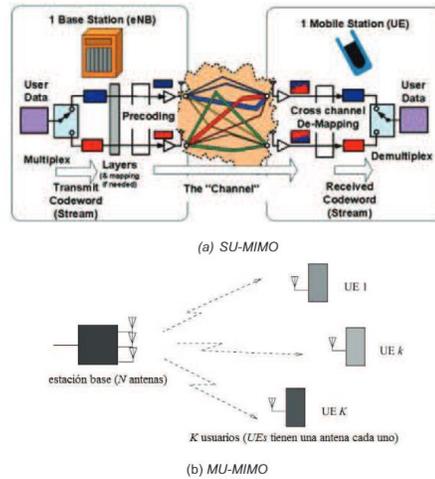


Fuente: CALLE Camilo; JIMÉNEZ Maria. *Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE Advanced, XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica.*

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17148/1/2014AJIEE-29.pdf>. Consulta: 15 de

octubre de 2021.

Figura 56. Esquema MIMO en el *downlink* de LTE

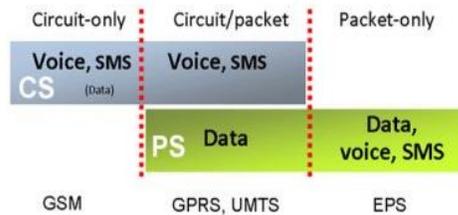


Fuente: CALLE Camilo; JIMÉNEZ Maria. *Estudio y análisis técnico comparativo entre las tecnologías LTE y LTE Advanced*, XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17148/1/2014AJIEE-29.pdf>. Consulta: 15 de octubre de 2021.

4.1.2. Interfaces de red

LTE sigue la misma arquitectura de red que los anteriores sistemas estandarizados por el 3GPP, en donde se considera desde la UE hasta la infraestructura de red que se divide de forma lógica en una infraestructura de red troncal (*Core Network*, CN) y una de red de acceso (*Access Network*, AN).

Figura 57. **Dominios de circuitos y paquetes**

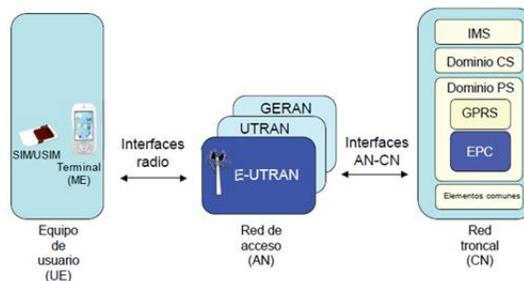


Fuente: FIRMIN, Frédéric. *The Evolved Packet Core*.

https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core_

Consulta: 16 de octubre de 2021.

Figura 58. **Breve descripción de la arquitectura de red LTE**



Fuente: LOPEZ Leticia. *Breve descripción de la arquitectura de red de LTE*.

<http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>. Consulta: 13 de octubre de 2021.

Consulta: 13 de octubre de 2021.

4.1.2.1. **E- UTRAN (Access Network, AN)**

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

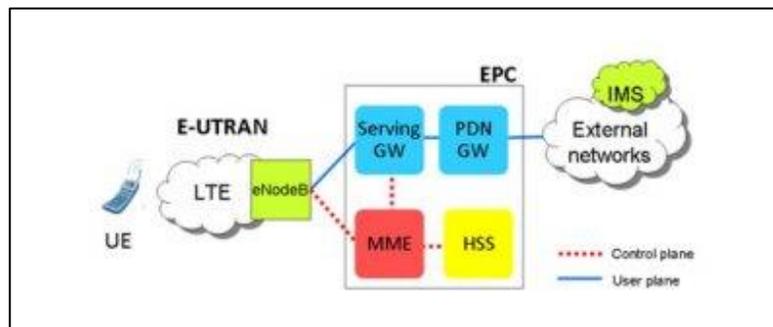
El plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz como lo son los paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U. Por otro lado, el plano de control se refiere a la serie de protocolos necesarios para sustentar las funciones y procedimientos para gestionar la operación de dicha interfaz o de la entidad a la cual le requerimos un servicio. Esta separación entre plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNodeB con dos nodos diferentes de la red núcleo.

Mediante la interfaz S1-MME, el eNodeB se comunica con una parte de la EPC encargada únicamente de las funciones relacionadas con el plano de control, dicha parte de la EPC se denomina *Mobility Management Entity*, MME. Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNodeB se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario dicha entidad de la EPC se denomina *Serving Gateway*, S-GW.

Esta separación entre entidades de red dedicadas a trabajar con el plano de control o el plano de usuario es una característica importante de la red LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios. Adicionalmente, los eNodeBs pueden conectarse entre sí por medio de otra interfaz llamada X2.

A través de la interfaz X2, los eNodeB se intercambian tanto mensajes de señalización para así obtener una gestión más eficiente del uso de los recursos radio, como información para reducir interferencias entre eNodeBs, tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNodeB a otro durante un proceso de *Handover*.

Figura 59. **Arquitectura EPS básica con E-UTRAN Access**



Fuente: FIRMIN, Frédéric. *The Evolved Packet Core*.

https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core_

Consulta: 16 de octubre de 2021.

4.1.2.1.1. **MME (Mobility Management Entity)**

La MME es un el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los terminales a través de E-UTRAN ya que todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada. Para la elección de una MME se realiza en el proceso de registro y depende de criterios como la ubicación geográfica del terminal para determinar cuál MME contiene al eNodeB donde la terminal se está conectando.

La MME monitorea constantemente los datos del usuario y gestiona cualquier acción que este usuario realice, esta misma es la encargada de atender la movilidad, si algún usuario sale de la cobertura de un eNodeB o un MME este es el encargado de gestionar el *Handover*. Las principales funciones de la entidad MME son las siguientes:

- Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. Esto lo logra realizar gracias a los datos obtenidos desde el HSS, la entidad MME se encarga de llevar a cabo el control de acceso a la red mediante la identificación, autenticación y autorización de los usuarios que se conectan a través de E-UTRAN.

4.1.2.1.2. **Serving Gateway (S-GW)**

Esta entidad actúa de como canal del plano de usuario entre E-UTRAN y la red núcleo EPC. Así como sucede con la entidad MME, un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. La asignación de la pasarela S-GW también depende de criterios geográficos, como de balanceo de cargas. Entre las principales funciones del S-GW podemos destacar:

- Proporciona un punto de anclaje en la red troncal EPC

Respecto de la movilidad del terminal entre eNodeBs. De esta forma, en un proceso de *Handover* entre dos eNodeBs, el cambio del plano de usuario puede únicamente derivar en un cambio del servicio portador S1 entre los eNodeBs implicados y el S-GW, manteniéndose sin cambios el resto del plano de usuario (camino entre S-GW y P-GW).

La funcionalidad de punto de anclaje también se aplica a la gestión de movilidad con las otras redes de acceso 3GPP (UTRAN y GERAN). De esta forma, equipos que se conecten a la red LTE a través de UTRAN o GERAN, disponen también de un S-GW asociado en la red troncal EPC por el que fluye su plano de usuario. Esta configuración, junto con otras posibilidades de interconexión con otras redes que ofrece LTE.

- Encaminamiento de los datos de usuario.

Como todo el tráfico de un usuario fluye a través de una S-GW, esta contiene la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida hacia la P-GW que corresponda y el tráfico de bajada hacia el eNodeB a través del cual se encuentra conectado el equipo de usuario. Es importante destacar que, aunque un usuario puede tener múltiples conexiones establecidas con diferentes pasarelas P-GW de forma simultánea, todo el tráfico atraviesa una única S-GW.

4.1.2.1.3. PDN Gateway (P-GW)

Es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas (denominadas como *Packet Data Network*, PDN). A través de la entidad P-GW, un usuario conectado al sistema LTE resulta visible en la red externa. Los paquetes IP generados por el usuario se inyectan en la red externa a través de esta pasarela y, viceversa, todo el tráfico IP dirigido a un terminal LTE proveniente de la red externa va a ser encaminado hasta el P-GW. Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE.

Entre las principales funciones de la pasarela P-GW se destacan:

- Aplicación de las reglas de uso de la red y control de tarificación a los servicios portadores que tenga establecidos el terminal.
- La asignación de la dirección IP de un terminal utilizado en una determinada red externa se realiza desde la pasarela P-GW correspondiente.

- La pasarela P-GW actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes no 3GPP.

4.1.2.1.4. HSS (*Home Subscriber Server*)

El HSS es la base de datos principal del sistema 3GPP que almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en el HSS abarca tanto información relativa a la suscripción del usuario como información necesaria para la propia operativa de la red. La base de datos HSS es consultada, y modificada, desde las diferentes entidades de red encargadas de proporcionar los servicios de conectividad o servicios finales.

HSS contiene tanto información permanente que sólo puede ser cambiada mediante procesos administrativos, así como información temporal que cambia a partir de la propia operación del sistema. Así, entre la información almacenada en el HSS se puede destacar: identificadores universales del usuario, identificadores de servicio; información de seguridad y cifrado.

La entidad HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas inicialmente en redes GSM y que se denominan HLR (*Home Location Register*) y AuC (*Authentication Center*), a las que se añadieron funciones adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE.

4.1.2.1.5. Interfaz MME S-GW (S11)

Esta interfaz permite controlar la operativa del plano de usuario en la red troncal EPC desde la entidad de red MME. Así, los procedimientos soportados

en esta interfaz permiten la creación/eliminación/modificación/cambio de los servicios portadores que los terminales tienen establecidos a través de la red troncal LTE. En este sentido, dado que la entidad MME es la entidad de control, la interfaz S11 permite establecer el nexo del plano de control con las funciones del plano de usuario de la red núcleo LTE.

Las acciones por realizar sobre la interfaz S11 tienen su origen en los diferentes eventos relacionados con la señalización entre el terminal y la red núcleo, así como en eventos originados desde la propia red EPC.

La interfaz S11 también da soporte al proceso de reubicación de la S-GW asociada a un terminal mediante la transferencia de contextos entre la SGW antigua y la nueva. Asimismo, durante la ejecución de un procedimiento de *Handover* que implique una reubicación de S-GW, el nodo MME controla los mecanismos de transferencia de paquetes entre las dos posibles pasarelas involucradas.

4.1.2.1.6. Interfaz MME MME (S10)

S10 se define entre dos entidades MME. Su principal función es el soporte del mecanismo de reubicación de la entidad MME. De esta manera, cuando la entidad MME que controla a un determinado equipo de usuario debe cambiarse, a través de la interfaz S10 se realiza la transferencia del de dicho usuario entre MMEs. En este caso, el terminal en una entidad MME abarca toda la información relacionada con la gestión de los servicios portadores y la gestión de movilidad, junto con otra información de seguridad, características del terminal, parámetros de suscripción del usuario obtenidos desde el HSS, y otros.

4.1.2.1.7. Interfaz P-GW - redes externas (SGi)

A través de la interfaz SGi se realiza la interconexión de la pasarela P-GW de la red LTE con redes externas IP. La red externa puede ser tanto una red pública como cualquier otra red privada.

SGi soporta la interconexión tanto a redes IPv4 como IPv6. Desde la perspectiva de la red externa, la pasarela P-GW es vista como un *router* IP convencional. Sobre esta base, existen dos modelos básicos de interconexión de la red LTE con la red externa: acceso transparente y acceso no transparente.

Bajo el modelo de interconexión transparente, la dirección IP asignada al terminal es válida en la propia interfaz SGi con la red externa, de forma que el terminal es visible en la red externa a la que proporciona acceso la pasarela P-GW a través de dicha dirección. En cambio, en el modelo no transparente, la red LTE ofrece un acceso a una red externa remota de forma que el espacio de direcciones utilizado por los terminales pertenece al espacio de direcciones de la red externa remota.

La conexión entre la red LTE y la red remota admite diferentes soluciones tales como el establecimiento de un túnel IP entre la pasarela P-GW y el servidor de acceso remoto. En el modelo no transparente, puede ser necesario que la pasarela P-GW participe en funciones de autenticación del usuario y asignación de direcciones dinámicas pertenecientes a la red remota.

4.1.2.1.8. Interfaces P-GW - S-GW (S5 y S8)

Las interfaces S5 y S8 proporcionan el soporte para la transferencia de paquetes de usuario entre las pasarelas S-GW y P-GW. La interfaz S5 se utiliza en situaciones donde el PGW y el SGW pertenecen a la misma red mientras que la interfaz S8 es la utilizada en caso de escenarios de itinerancia, donde el S-GW pertenezca a la red visitada y el P-GW a la red matriz.

Ambas interfaces S5 y S8 admiten dos implementaciones diferentes: una basada en el protocolo GTP y otra basada en el protocolo PMIPv6. La implementación basada en GTP proporciona funciones de creación, eliminación, modificación y cambio del servicio portador del plano de usuario entre S-GW y P-GW de los usuarios conectados a la red LTE.

En el caso de la implementación basada en PMIPv6, no se soporta ninguna gestión de servicios portadores entre P-GW y S-GW de forma que, estrictamente el servicio portador EPS de la red LTE se extiende desde el equipo de usuario hasta el S-GW. Eso es debido a que el protocolo PMIPv6 está concebido para ofrecer exclusivamente un servicio de movilidad entre el S-GW y el P-GW y no dispone de los mecanismos necesarios para señalar parámetros de QoS.

Por tanto, las interfaces S5 y S8, en el caso de la variante basada en PMIPv6, básicamente ofrecen un servicio de conectividad entre las pasarelas implicadas de forma que todos los flujos de datos son llevados a través del mismo túnel sin distinción de servicios portadores.

4.1.2.1.9. Interfaz HSS MME (S6a)

Esta interfaz permite la transferencia de información entre la base de datos HSS y la entidad del plano de control MME de la red troncal EPC. A través de la interfaz S6a se da soporte a diferentes funciones:

- Mantenimiento de información de gestión de la localización. La base de datos HSS mantiene unos campos que contienen la identificación del nodo MME que controla a cada usuario registrado en la red. Esta información la actualiza el nodo MME correspondiente a través de la interfaz S6a. Esta información permite que cuando un terminal se conecta a un MME nuevo, dicho MME pueda recuperar información relativa al nodo MME que previamente dio servicio al terminal de cara a realizar la reubicación pertinente.
- Autorización de acceso a la red LTE, la base de datos HSS almacena los datos de suscripción de los usuarios que condicionan el acceso a los servicios que ofrece la red. El perfil de suscripción de un usuario se transfiere desde el HSS al nodo MME, que es la entidad encargada de ejecutar las comprobaciones pertinentes.

La interfaz también soporta escenarios de itinerancia donde una entidad MME de la red de un operador puede acceder a la base de datos HSS de otro operador. La interfaz S6a se basa en el protocolo Diameter.

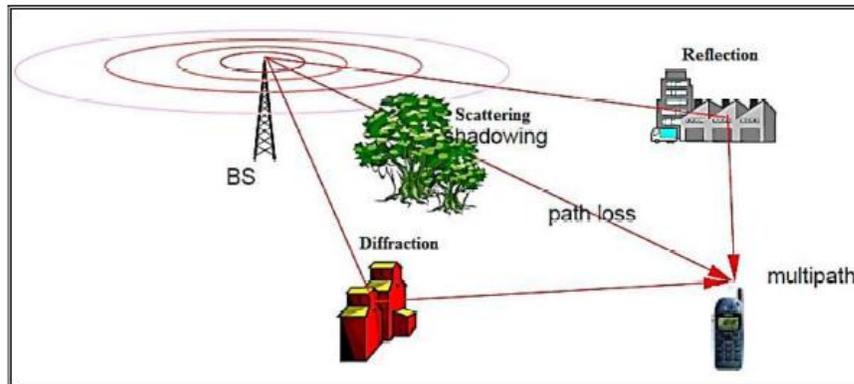
4.1.3. Consideraciones para transmisión

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 60. **Problemas para la transmisión**



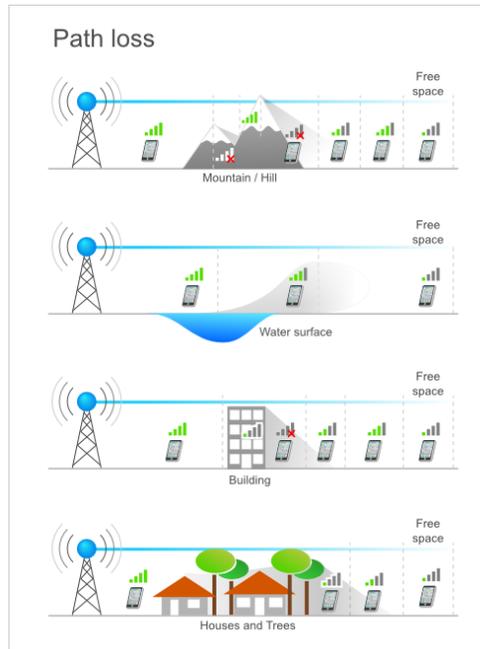
Fuente ARRIGA, Erick. *Todo sobre A-Flex en GSM*. <http://turnonideas.com/wp-content/uploads/2014/08/Allabout-A-flex.jpg>. Consulta: 21 de octubre de 2021.

4.1.3.1. **Pérdida de trayectoria (*Path Loss*)**

Este tipo de pérdida ocurre cuando un teléfono móvil se aleja de una radio base, por esto la señal recibida va siendo cada vez más pequeña, si esta distancia aumenta considerablemente incluso se podría llegar a perder el servicio de telefonía.

La forma de arreglarlo es realizando un *Handover* de una radio base lejana a una más cercana al teléfono en movimiento.

Figura 61. **Pérdida de trayectoria (*Path Loss*)**



Fuente: YateBTS. *Propagation, Concepts*.

https://wiki.yatebts.com/index.php/Radio_Propagation_Concepts. Consulta: 16 octubre 2021.

4.1.3.2. **Ensombrecer (*Shadowing*)**

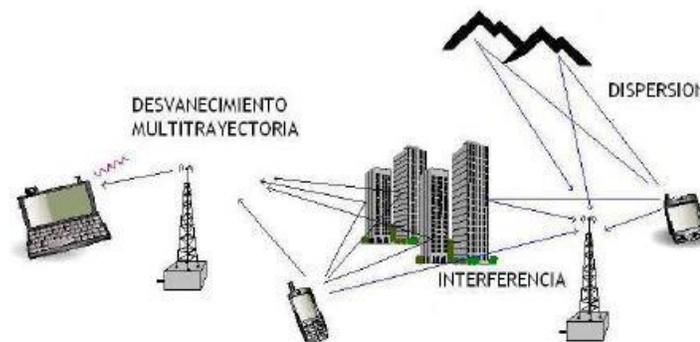
Este tipo de pérdida se origina cuando hay obstáculos en la línea vista entre la radio base y la terminal móvil, los obstáculos, aunque no interfieran completamente crean un efecto de sombra disminuyendo la potencia de la señal recibida.

Este efecto se puede detectar a un más si la terminal móvil se encuentra en movimiento pues la cantidad de obstáculos que producen sombra aumenta considerablemente porque se está cambiando constantemente en el terreno.

4.1.3.3. Desvanecimiento multitrayecto (*Multipath Fading*)

Este tipo de pérdidas ocurre cuando hay más de una trayectoria de transmisión hacia la terminal móvil o la radio base, esto es necesario en casos donde hay edificios o colinas entre la radio base y el teléfono móvil, ya que estos causan que la señal rebote en ellos haciendo la trayectoria más larga en lugar de una trayectoria directa por lo que la señal es debilitada por esta razón.

Figura 62. Desvanecimiento multitrayecto (*Multipath Fading*)



Fuente: Wordpress. *Telefonia Celular*.

https://tododetelefoniamovil.files.wordpress.com/2014/12/mwsnap-2014-12-12-12_02_34.jpg

Consulta: 26 de octubre de 2021.

4.1.3.4. Interferencia co-canal

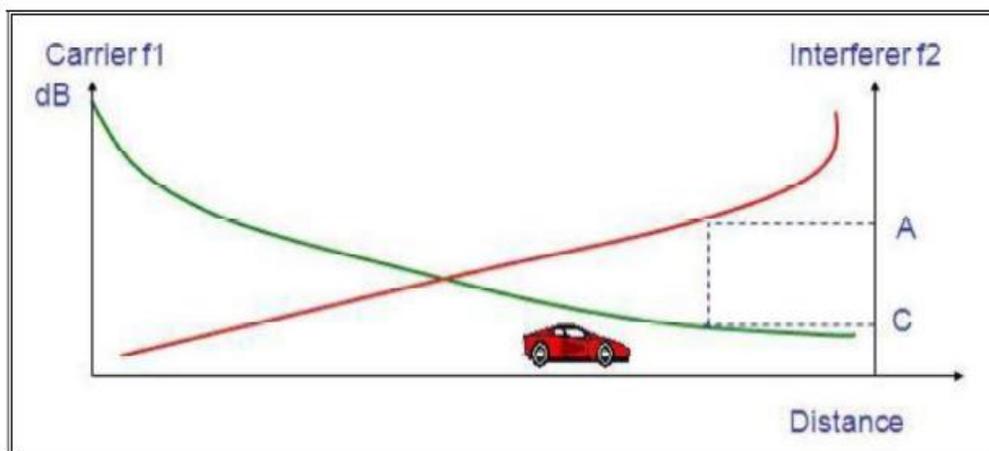
Esta es una de las interferencias que más se generan debido a que esta es creada por el proceso celular, para lo que se necesita saber que una celda co-canal, es la celda dentro de un área que utiliza el mismo set de frecuencia que otra. Esto es lo que puede generar una interferencia co-canal debido a que las dos diferentes celdas operan con las mismas frecuencias.

4.1.3.5. Interferencia de canales adyacentes

Este tipo de interferencia es la que se genera de por el filtrado imperfecto en la recepción, lo que hace que, aunque nuestra terminal móvil reciba datos de la frecuencia adyacente a la que él se encuentra.

Como se mencionó en el párrafo anterior este tipo de interferencia es debido a que los filtros del ancho de banda de los canales no son ideales, por lo que las portadoras se pueden afectar unas a otras. Esto se genera que cierta cantidad de energía de una frecuencia adyacente, puede ingresar a una celda y causar interferencia, esta interferencia puede ser 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 63. Interferencia C/A



Fuente: Teletopix. *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-channelinterference.jpg>, Consulta: 1 de octubre de 2021.

4.1.4. Traspaso de elementos (*Handover*)

Así como ha sido abordado en las tecnologías anteriores se sabe que los suscriptores pueden hacer uso de su servicio mientras se desplazan a lo largo de un territorio, por lo que es necesario un proceso para cuando este usuario salga del rango de cobertura de la radio base que tiene comunicación con él, a este proceso se le conoce como *Handover* o traspaso. Esto asegura que su usuario sea atendido sin problemas sin importar a qué celda esté conectado.

Tabla II. **Procedimientos relacionados con el traspaso**

Procedure	Direction or Related Entities	Description
Measurement Configuration	eNB → UE	Specifies measurements to be performed by UE
Measurement Report	UE → eNB	Indicates measurement results
Handover Decision	Source eNB	Makes decisions on target cells and handover types (X2 or S1 handover)
Handover Preparation	Varies depending on a handover type	Prepares forwarding path
Handover Execution		Forwards data
Handover Completion		Switches data path

Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover*. <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

UE dispone de una antena que puede buscar múltiples canales de frecuencia en múltiples bandas, por lo que después de verificar muchas celdas vecinas, accede con la que tiene la mayor intensidad de señal, a menos que no se permita el acceso debido a alguna restricción de servicio. Luego, cuando la intensidad de la señal recibida de la celda de servicio actual del UE se debilita

debido al viaje, sombreado o cualquier otra interferencia y la señal de una celda vecina se vuelve fuerte, se inicia un traspaso. Esto permite que el UE acceda a la celda vecina y establezca allí una nueva conexión

Cuando el UE establece una nueva conexión con el eNB, el eNB informa al UE bajo qué escenario se debe informar de la intensidad de la señal recibida, por medio de un mensaje de configuración. El UE realiza el seguimiento de la intensidad de la señal recibida tanto de sus células de servicio como de las vecinas. Cuando ocurre uno de los eventos especificados por el eNB, el UE informa la intensidad de la señal recibida al eNB a través de un mensaje de Informe de medición.

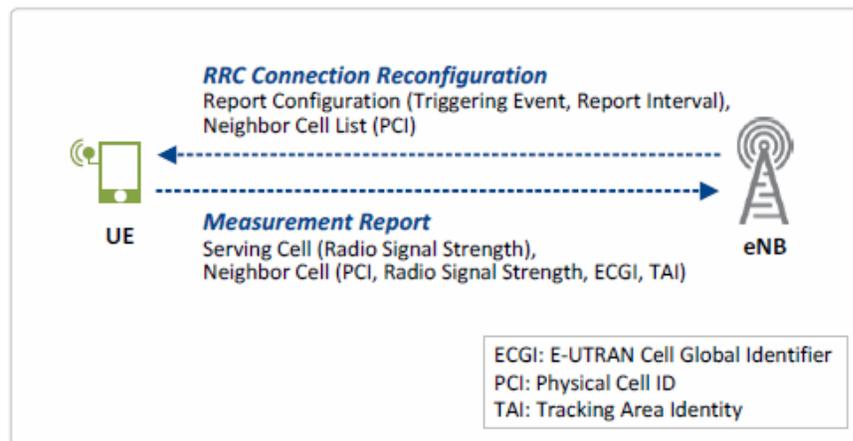
El eNB, al recibir el mensaje, decide si iniciar un traspaso o no revisando la información de intensidad reportada y el estado de sobrecarga de las celdas vecinas. Una vez decidido, realiza un traspaso a una celda objetivo recién seleccionada.

La información incluida en el mensaje de medición es la siguiente:

- Objeto de medición: en este se incluye la información de las celdas donde el UE realizara la medición.
- Configuración de informes: especifica los eventos de activación que requieren que el UE envíe un mensaje de informe de medición.
- ID de medición: ID que identifica los objetos de medición.
- Configuración de cantidad: indica los valores por medir por UE.

- Brecha de medición: indica en qué intervalo el UE debe medir las celdas vecinas.

Figura 64. Informe de medición



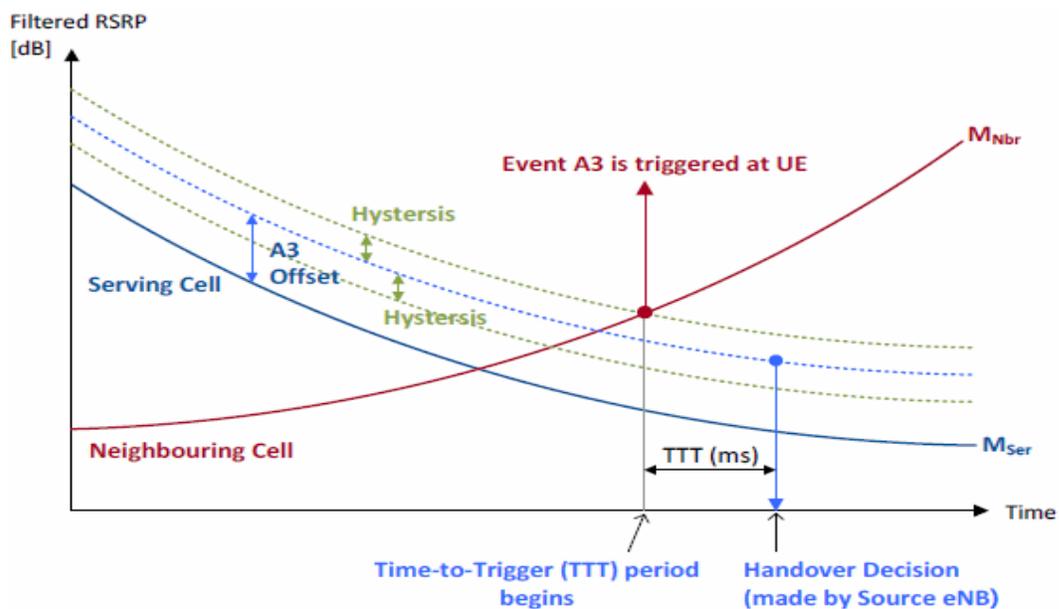
Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover*. <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

- Activación del informe de medición: UE mide la intensidad de la señal de su celda de servicio y las celdas vecinas. Luego, informa los resultados a eNB, periódicamente o cuando se activa un evento de medición cuando se cumple uno de los criterios de informe establecidos por la configuración de medición. Los criterios de informe para el informe E-UTRA incluyen los eventos A1, A2, A3, A4 y A5 mientras que los del informe de medición entre RAT incluyen los eventos B1 y B2. El evento A3 se usa comúnmente para desencadenar traspasos.

- Evento A3: cuando la intensidad de la señal de una celda vecina se vuelve mayor que la de la celda de servicio del UE, y la diferencia es mayor que el valor del desplazamiento A3, el evento A3 se activa y el UE informa los resultados de la medición al eNB. El eNB decide activar un traspaso si A3 se activa y los criterios de activación A3 duran más que el tiempo especificado como período de tiempo de activación (TTT).

Figura 65. **Evento de medición A3**



Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover.* [https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover.](https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover)

Consulta: 16 de octubre de 2021.

Tabla III. **Definición de símbolos en la medición E-UTRA**

Symbol	Definition
Mn	Measurement result of the neighbor cell
Ms	Measurement result of the serving cell
Hys	Hysteresis parameter for Event A3
Off	Offset parameter of Event A3
Ofn	Frequency specific offset of the frequency of the neighbor cell
Ocn	Cell specific offset of the neighbor cell
Ofs	Frequency specific offset of the serving frequency
Ocs	Cell specific offset of the serving cell

Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover*. <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

4.1.4.1. **Decisión de traspaso**

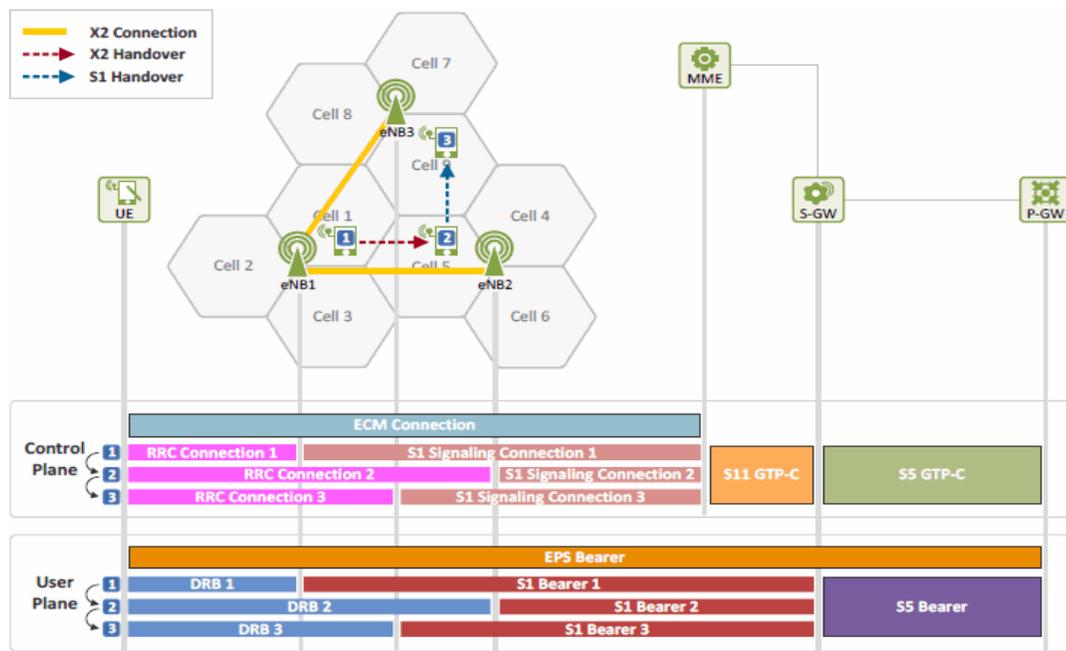
Cuando se informa del Evento A3, es porque el eNB necesita hacer el traspaso del UE que está reportando, en este punto este debe decidir qué tipo de traspaso es el indicado para llegar a la celda objetivo donde se tiene mejor intensidad en la señal. Los traspasos se pueden clasificar de muchas diferentes maneras, como las que se observan a continuación:

- Categorización 1 de traspaso: en esta categoría existen diferentes tipos de traspaso como lo son: traspasos intra-LTE, inter-LTE e inter-RAT; la categorización dependerá de las entidades a la que el UE se encuentre conectada y cuál de ellas es donde necesite hacer el cambio, las categorías pueden ser las siguientes.
 - Traspaso intra-MME / S-GW: ni el MME de servicio ni el SGW se cambian después del traspaso.

- Traspaso entre MME: se cambia el MME de servicio, pero S-GW permanece sin cambios después del traspaso.
- Traspaso entre S-GW: se cambia el servicio S-GW, pero MME permanece sin cambios después del traspaso.
- Traspaso entre MME / S-GW: ambos MME y S-GW se cambian después del traspaso.
- Traspaso entre RAT: traspaso entre redes que utilizan diferentes tecnologías de acceso por radio E-UTRAN a UTRAN, UTRAN a E-UTRAN.
- Categorización de traspaso 2: esta categoría varía dependiendo de si alguna entidad dentro del EPC está involucrada en la preparación y ejecución de un traspaso entre un eNB de origen y un eNB de destino, un traspaso de LTE puede ser un traspaso X2, o un traspaso S1.
 - Entrega X2: la interfaz X2 conecta dos eNB. Si hay una conexión X2 entre el eNB al que pertenece el UE y el eNB al que pertenece la celda objetivo, Y la conexión X2 está disponible para hacer un traspaso. Si el traspaso entre eNB es necesario los dos eNB se comunican entre sí para controlar el traspaso, sin la intervención de MME.
 - Entrega de S1: para esta categoría de traspaso hacemos uso de la interfaz S1 conecta a un eNB y al EPC. Para este tipo de traspaso pueden existir cualquiera de las siguientes: no existe conexión X2 entre un eNB de origen y un eNB de destino, si hay conexión X2,

pero la no está permitida para el traspaso por alguna restricción establecida, falla la preparación del traspaso entre una celda de servicio y una celda de destino por lo cual el traspaso ya no se puede ejecutar, si pasa cualquiera de los anteriores se inicia el traspaso de S1.

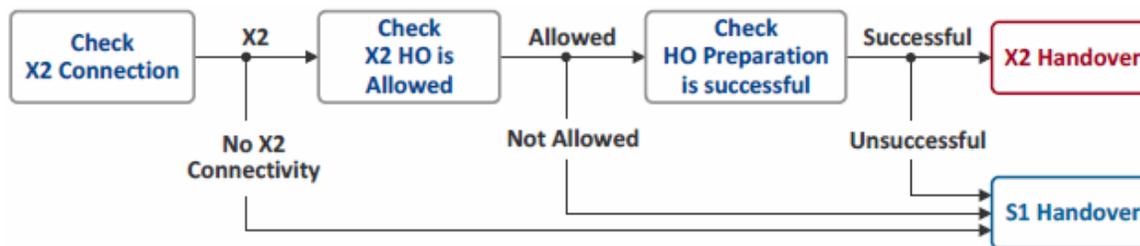
Figura 66. **Traspaso X2 y S1**



Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover.* <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

Figura 67. Decisión sobre el tipo de traspaso



Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover*. <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

4.1.4.2. Procedimiento de traspaso

Basándose en la configuración de medición recibida, el UE notifica los resultados de la medición al eNB. Una vez que el eNB decide, se inicia un traspaso. El procedimiento de traspaso consta de tres fases, preparación, ejecución y finalización, de la siguiente manera:

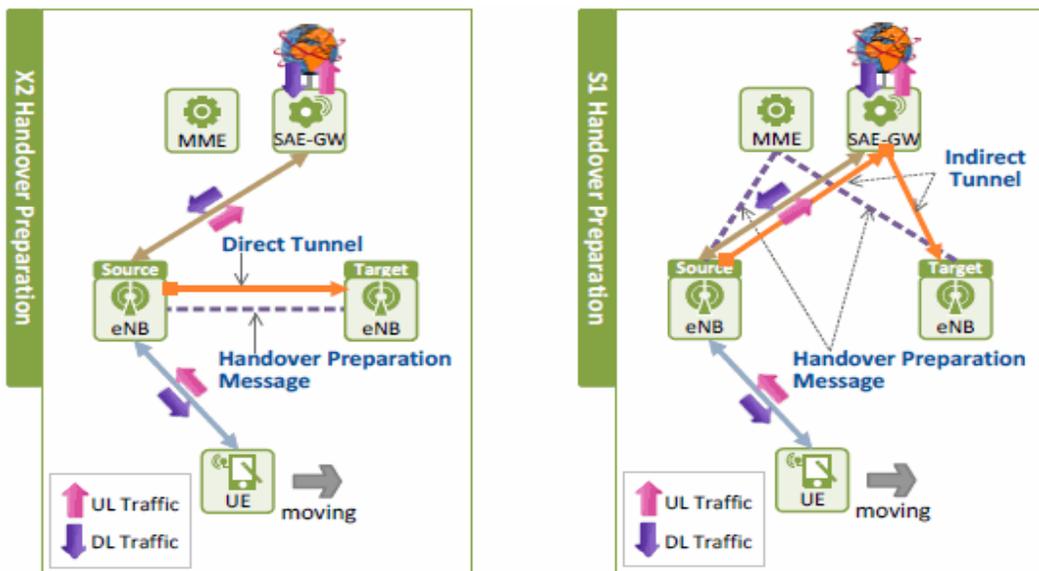
4.1.4.2.1. Fase de preparación de la transferencia

Durante esta fase, un eNB de origen y un eNB de destino se preparan para un traspaso. En caso de traspaso X2, los dos se comunican directamente entre sí a través de la señalización X2 y realizan un traspaso sin la intervención de MME. Por otro lado, en caso de traspaso de S1, MME se involucra a través de la señalización de S1.

El eNB de origen envía el contexto de UE del usuario al eNB de destino para comprobar si el eNB de destino es capaz de proporcionar una calidad de servicio satisfactoria. Si es así, el eNB objetivo establece un portador de transporte para el reenvío de paquetes. Luego, asigna el valor C-RNTI que el UE necesita usar cuando accede al eNB, y reenvía el mismo al eNB de origen.

Esto completa la fase de preparación. En este momento, el portador de reenvío de paquetes DL es un túnel directo que conecta los dos eNB en caso de traspaso X2, o un túnel indirecto que conecta las tres entidades, es decir, el eNB de origen, S-GW y el eNB de destino, en caso de traspaso S1.

Figura 68. Fase de preparación de entrega



Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover.* <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

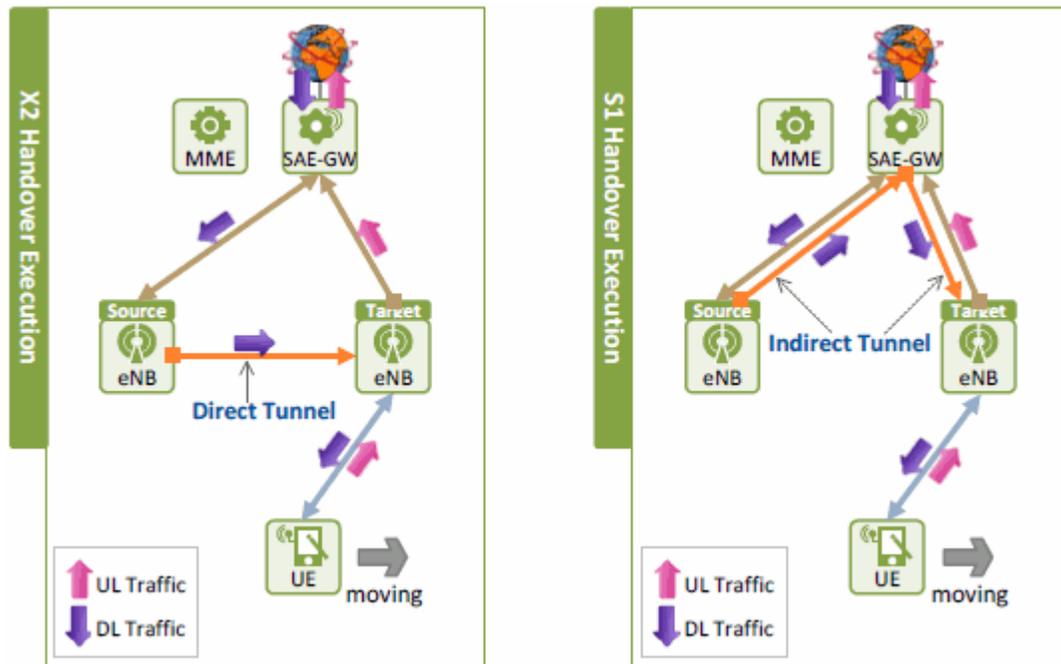
4.1.4.2.2. Fase de ejecución del traspaso

Durante esta fase se realiza un traspaso. El UE desconecta el enlace de radio del eNB de origen y lo conecta al eNB de destino, accediendo a una nueva celda. Una vez que se asignan los recursos necesarios para el reenvío de paquetes entre los dos eNB, y los nuevos recursos para el UE se asignan en el eNB objetivo durante la fase de preparación, los dos eNB están listos para un traspaso. Entonces, el eNB de origen ordena al UE que realice un traspaso enviando un comando mensaje de traspaso.

Durante la fase de ejecución del traspaso, el UE usa el C-RNTI que fue asignado por el eNB objetivo durante la fase de preparación del traspaso. Esto permite que el UE acceda más rápidamente al eNB objetivo. Una vez que llegan al eNB de origen, los paquetes DL durante el traspaso se reenvían al eNB de destino a través del portador de reenvío, y se almacenan allí hasta que el UE tiene acceso completo al eNB de destino.

Esto asegura que no se pierda ningún paquete en el camino. Los paquetes UL que provienen del UE no se reenvían hasta que se accede al UE al eNB objetivo con éxito. Una vez que el UE completa su acceso por radio al eNB objetivo, los paquetes UL pueden reenviarse inmediatamente a S-GW a través del eNB objetivo. La figura 6 muestra la ruta de entrega de tráfico DL durante la fase de ejecución de traspaso, y la ruta de entrega de tráfico UL a través del eNB objetivo después de la fase de ejecución de traspaso.

Figura 69. Fase de ejecución de traspaso



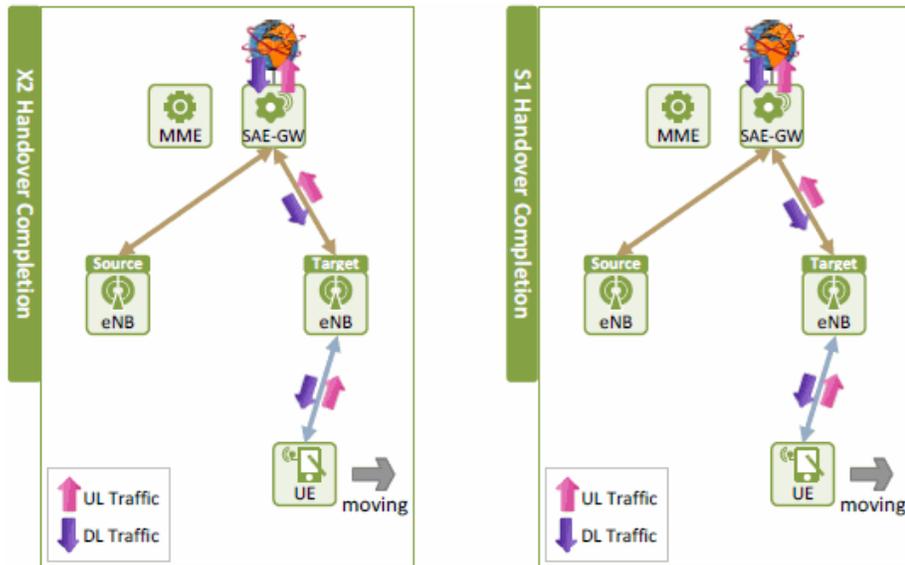
Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover.* <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

4.1.4.2.3. Fase de la finalización del traspaso

Una vez que el UE completa su acceso de radio al eNB objetivo con éxito, la ruta del portador del UE está ahora conectada al eNB objetivo, en lugar del eNB fuente. Una vez que se conmuta la ruta, se libera el portador de reenvío utilizado para reenviar paquetes DL durante la fase de ejecución del traspaso.

Figura 70. Fase de finalización de traspaso



Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover*. <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

4.1.4.2.4. Tiempo de interrupción del traspaso

Durante la fase de preparación del traspaso, las entidades de red asignan recursos por adelantado para garantizar que no se pierda ningún paquete DL mientras se ejecuta un traspaso. Sin embargo, en los traspasos reales, es inevitable un tiempo de interrupción del traspaso. Durante este tiempo, es decir, después de que el UE desconecta su acceso de radio del eNB de origen, y antes de que vuelva a conectarse al eNB de destino por completo, los paquetes no se pueden entregar entre el UE y las células.

Si esta interrupción dura mucho tiempo, los servicios sin interrupciones no pueden ser compatibles y los usuarios tienen que sufrir una mala calidad del servicio. Un tiempo de interrupción de la transferencia incluye los siguientes tiempos:

Figura 71. **Tiempos requeridos para la ejecución de una interrupción**

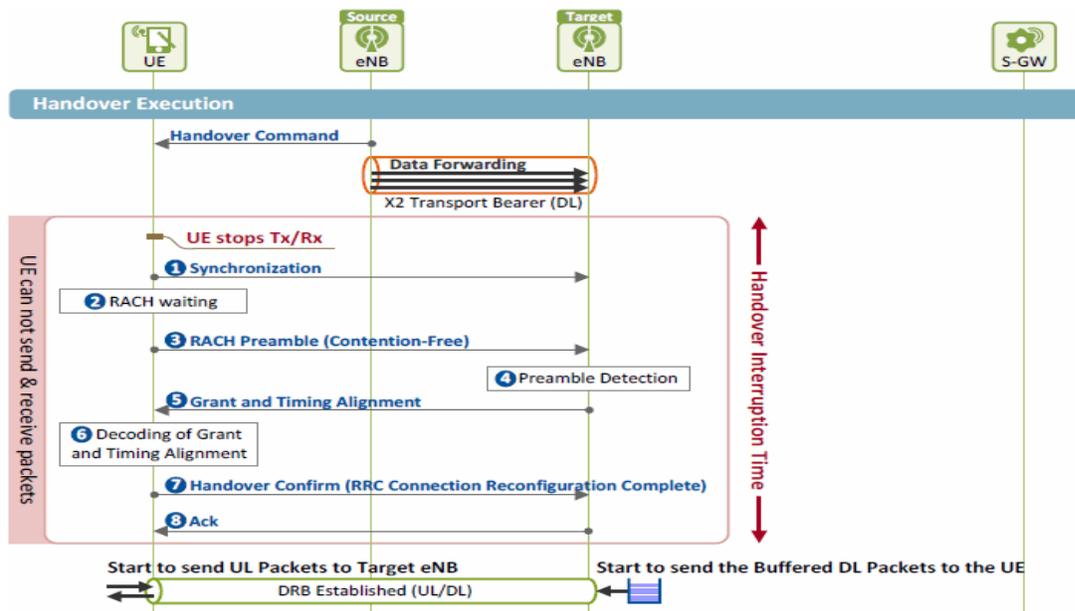
- 1 time required for DL synchronization to the target eNB
- 2 RACH waiting time
- 3 time required for sending dedicated RACH preamble to request UL resources
- 4 time required for detecting preamble from the target eNB and processing the same
- 5 time required for preparing a RACH Response message
- 6 time required for decoding the RACH Response message
- 7 time required for informing the UE has completed a handover to the target eNB
- 8 time required for obtaining the target eNB's confirmation on the completed handover

Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover*. <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

En la siguiente imagen podrá observar las acciones durante la interrupción relacionadas con los tiempos anteriormente descritos.

Figura 72. **Proceso de interrupción relacionada a los tiempos**



Fuente: NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover.* <https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>.

Consulta: 16 de octubre de 2021.

4.1.5. LTE Avanzado

LTE Advance es una mejora a la tecnología LTE el cual cuyo fin principal es brindar un mejor servicio a un mayor número de usuarios conectados de forma simultánea. Este es conocido como 4G+ el cual se dio a conocer por la 3GPP en el Release 10. Esta mejora de tecnología puede brindar:

- Una mayor eficiencia espectral, alcanza hasta 30 bps/HZ.
- Ancho de banda variable, de 20 MHz hasta 100 MHz, permitiendo hasta 5 portadoras de 20 MHz.

- Adopta el uso de antenas con mejor tecnología que puede dar hasta 8x8 MIMO en DownLink y 4x4 MIMO en UpLink.

Con los cambios descritos antes se pueden llegar a tener velocidades de hasta subida de 1,5 Gbps y de hasta 3 Gbps en bajada.

Una de las mejoras en la adopción de esta tecnología lo es que permite adoptar topologías de red avanzada, pues no se cierra únicamente en el despliegue de macro-celdas, sino que también se pueden usar nodos de baja potencia para ambientes más pequeños estos son conocidos como pico-celdas, femto-celdas y nodos repetidores, con esto se logra mejorar la calidad de servicio pues la cobertura que se puede brindar con estos otros tipos es mayor.

En LTE-A se pueden utilizar varias bandas de frecuencia y antenas que operan de manera simultánea para transmitir y recibir señales. Esto se llama agregación de operadores o *carrier aggregation* y reduce ampliamente la congestión mientras aumenta el ancho de banda y la velocidad de la conexión.

Tanto los dispositivos LTE como LTE-A tienen una amplia elección de antenas y conectores como lo son antenas omnidireccionales, direccionales y sectoriales. Las antenas preferidas son antenas de bandas múltiples y antenas MIMO para LTE-A, esto por la variación de bandas de frecuencias LTE que existen en todas las regiones

5. GUÍA DE ESTUDIO Y EJERCICIO PROPUESTO

Se propone una guía de aprendizaje para los estudiantes de ingeniería electrónica, telecomunicaciones y entre otras funciones que se puede desempeñar, mediante la cual se obtenga conocimientos básico-intermedio-avanzados de todos los temas relacionados a tecnologías de Telefonía Móvil y aquellas relacionadas a ellas. Se abordarán temas tales como interfaces de acceso, arquitecturas y servicios relacionados a la telefonía móvil orientada en cualquier lugar donde se pueda desempeñar.

Cabe a destacar que este instrumento de estudio desarrolla las diferentes tecnologías existentes tales como el sistema global para las comunicaciones móviles (GSM), Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) o mejor conocida en el mercado como tecnología 3G, Evolución a largo plazo (*Long Term Evolution* / LTE, los cuales permiten al estudiante adquirir conocimientos relacionados con la industria de telecomunicaciones móviles, de tal manera mejorar su conocimiento a la hora de desempeñarse en el campo laboral y facilitar sus actividades, aportes y mejoras dentro de su desarrollo profesional.

5.1. Temas planteados

En esta guía se desarrollan los temas necesarios para que todo estudiante de ingeniería pueda documentarse sobre el mundo de la telefonía móvil. Mediante este documento se logrará profundizar sobre lo que conforma la tecnología GSM. UMTS, LTE y todo lo relacionado a su funcionamiento, arquitectura, métodos de acceso, entre otros. Se explica la metodología en que se deben estudiar los temas y tiempos estimados de aprendizaje para cada tema.

A continuación, se mencionan los temas de estudios, metodologías y tiempos de aprendizaje relacionados al capítulo II desarrollado en esta investigación:

Tabla IV. **Tecnología GSM o de segunda generación**

TEMA POR DISCUTIR	NÚMERO DE SESIONES	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES
Descripción de la red GSM	2	CLASE MAGISTRAL O AUTODIDACTA: La misma debe impartirse por medio de un profesional del área, el cual pueda desarrollar los temas de una manera adecuada y aclarar dudas a todos los estudiantes. Se deben dar ejemplos relacionados a cada punto del tema y llevarlos al día a día.	Brindar conocimientos básicos del funcionamiento de una red GSM y los métodos de acceso utilizados en la misma, para esto es importante observar que el estudiante tenga un correcto entendimiento de los métodos de acceso y topología de una red GSM, los cuales se explican en el capítulo II de la tesis presente. Los alumnos deben ser evaluados luego de ser discutida toda la documentación los puntos principales es conocer la topología de la red GSM y entender la diferencia entre los métodos de acceso TDMA y CDMA.
Protocolo del GSM			
Métodos de acceso utilizados en GSM			
Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	2		
Acceso múltiple por división de código (CDMA)			

Fuente: elaboración propia.

Esta unidad debe ser abordada de la manera descrita en la tabla anterior, es de vital importancia que se desarrolle cada tema como se menciona en la

tabla, la misma puede garantizar que el aprendizaje pueda desarrollarse en dos clases. El estudiante tendrá la asignación de documentarse por diferentes métodos de investigación (internet, libros, tesis e investigaciones del tema), de tal manera profundizar su aprendizaje y retener todo lo discutido en la clase magistral, el mismo podrá expresar sus dudas las cuales deben ser aclaradas por el profesional que dicte la clase magistral.

Tabla V. **Tecnología UMTS o de tercera generación**

TEMA DISCUTIR	POR	NÚMERO DE SESIONES	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES
3G / UMTS		2	CLASE MAGISTRAL O AUTODIDACTA: La misma debe impartirse por medio de un profesional del área, el cual pueda desarrollar los temas de una manera adecuada y aclarar dudas a todos los estudiantes. Se deben dar ejemplos relacionados a cada punto del tema y llevarlos al día a día.	Es importante que el estudiante comprenda que en esta tecnología se puede observar o subdividir en dos dominios, dominio móvil y dominio de infraestructura. Se describen ambos dominios y se indica la función de cada parte para comprender le evolución y cambios a comparación de la tecnología anterior, así como la nueva topología de la red UMTS. Los alumnos deben ser evaluados luego de ser discutido toda la documentación, los puntos importantes por evaluar es entender las diferencias entre cada tecnología y la comprensión de los dos dominios de esta tecnología.
Arquitectura de red UMTS				
Dominio del equipo de usuario				
Dominio de la Infraestructura				
Características generales		2		
Limitaciones UMTS				

Fuente: elaboración propia.

Esta unidad debe ser abordada de la manera descrita en la tabla anterior, es de vital importancia que se desarrolle cada tema como se menciona en la tabla, la misma puede garantizar que el aprendizaje pueda desarrollarse en 3 clases. El estudiante tendrá la asignación de documentarse por diferentes métodos de investigación (internet, libros, tesis e investigaciones del tema), de tal manera profundizar su aprendizaje y retener todo lo discutido en a clase magistral, el mismo podrá expresar sus dudas las cuales deben ser aclaradas por el profesional que dicte la clase magistral.

Tabla VI. **Tecnología LTE o de cuarta generación**

Tema por discutir	Número de sesiones	Metodología	Observaciones
Cuarta generación LTE	2	CLASE MAGISTRAL O AUTODIDACTA: La misma debe impartirse por medio de un profesional del área, el cual pueda desarrollar los temas de una manera adecuada y aclarar dudas a todos los estudiantes. Se deben dar ejemplos relacionados con cada punto del tema y llevarlos al día a día.	Es importante hacer de conocimiento del estudiante los diversos beneficios que se encuentran adoptando esta nueva tecnología, así como se adopta la utilización de tecnologías IP en el núcleo y red de acceso, además que beneficios podemos encontrar adoptando la tecnología IP en nuestra ya que con ella se pudo hacer más medible y manejable la red móvil. Se debe tomar en cuenta el conocimiento de cada estudiante referente al tema.
Consideraciones para transmisión	2		
Pérdida de trayectoria (<i>Path Loss</i>)			
Ensombrecer (<i>Shadowing</i>)			
Desvanecimiento Multitrayecto (<i>Multipath Fading</i>)			
Desvanecimiento de Rayleigh (<i>Rayleigh Fading</i>)			
Interferencia co-canal	2		
Canales adyacentes			

Fuente: elaboración propia.

Esta unidad debe ser abordada de la manera descrita en la tabla anterior, es de vital importancia que se desarrolle cada tema como se menciona en la tabla, la misma puede garantizar que el aprendizaje pueda desarrollarse en 3 clases. El estudiante tendrá la asignación de documentarse por diferentes métodos de investigación (internet, libros, tesis e investigaciones del tema), de tal manera poder profundizar su aprendizaje y retener todo lo discutido en a clase magistral, el mismo podrá expresar sus dudas las cuales deben ser aclaradas por el profesional que dicte la clase magistral.

Tabla VII. **Interfaces de red GSM/UMTS/LTE**

TEMA DISCUTIR	A	NÚMERO DE SESIONES	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES
Interfaces de red		2	CLASE MAGISTRAL O AUTODIDACTA: La misma debe impartirse por medio de un profesional del área, el cual pueda desarrollar los temas de una manera adecuada y aclarar dudas a todos los estudiantes. Se deben dar ejemplos relacionados a cada punto del tema y llevarlos al día a día.	Se debe tomar en cuenta el conocimiento de cada estudiante referente al tema. Los alumnos deben ser evaluados luego de ser discutido toda la documentación.
Interfaz A-bis				
Interfaz Um				
Interfaz A				
Interfaz A-ter				

Fuente: elaboración propia.

Esta unidad debe ser abordada de la manera descrita en la tabla anterior, es de vital importancia que se desarrolle cada tema como se menciona en la tabla, la misma puede garantizar que el aprendizaje pueda desarrollarse en 1 clase. El estudiante tendrá la asignación de documentarse por diferentes métodos de investigación (internet, libros, tesis e investigaciones del tema), de tal manera poder profundizar su aprendizaje y retener todo lo discutido en a clase magistral, el mismo podrá expresar sus dudas las cuales deben ser aclaradas por el profesional que dicte la clase magistral.

Tabla VIII. **Traspaso de elementos (*Handover*) en GSM/UMTS/LTE**

TEMA POR DISCUTIR	NÚMERO DE SESIONES	METODOLOGÍA	OBSERVACIONES
Traspaso de elementos (<i>Handover</i>)	2	CLASE MAGISTRAL O AUTODIDACTA: La misma debe impartirse por medio de un profesional del área, el cual pueda desarrollar los temas de una manera adecuada y aclarar dudas a todos los estudiantes. Se deben dar ejemplos relacionados a cada punto del tema y llevarlos al día a día.	Se debe tomar en cuenta el conocimiento de cada estudiante referente al tema. Los alumnos deben ser evaluados luego de ser discutido toda la documentación.
Tipos de Handoff			
Caso de handoff fallido			
Caso de handoff exitoso.			
Tipos que existen en los procesos de <i>Handover</i>			

Fuente: elaboración propia.

Esta unidad debe ser abordada de la manera descrita en la tabla anterior, es de vital importancia que se desarrolle cada tema como se menciona en la tabla, la misma puede garantizar que el aprendizaje pueda desarrollarse en 1 clase. El estudiante tendrá la asignación de documentarse por diferentes métodos de investigación (internet, libros, tesis e investigaciones del tema), de tal manera profundizar su aprendizaje y retener todo lo discutido en a clase magistral, el mismo podrá expresar sus dudas las cuales deben ser aclaradas por el profesional que dicte la clase magistral.

5.2. Tiempo estimado para el aprendizaje con su guía o bibliografía

En el desarrollo de esta investigación se ha determinado un tiempo estimado de aprendizaje de 20 sesiones de aproximadamente 1 horas académicas cada una, siguiendo lo antes planteado y con el requerimiento de un tutor, con perfil de ingeniero desarrollado en el campo laboral de telecomunicaciones, el cual pueda impartir estas 5 unidades antes mencionadas. Se requiere de un aula de clases, dispositivos audiovisuales, internet en el aula y un laboratorio de comunicaciones el cual deba estar equipado con los equipos necesarios para evaluaciones de señales electromagnéticas y componentes de medición.

La información se compacta desde el capítulo II de este trabajo de grado, realizando una arquitectura de 5 unidades, con todos los temas por tratar, con metodología básica, intermedia y avanzada de cada tema de estudio. Se recomienda realizar actividades ejemplares de cada unidad donde se pueda demostrar la operatividad de cada tecnología, como el envío de mensajes de texto, imágenes, tiempos de transmisión, entre otras.

5.3. Ejercicio propuesto para los temas planteados y aprendidos

A continuación, se describe una práctica de laboratorio donde se puede emplear el 90 % de lo aprendido en esta guía, para esta práctica es necesario disponer de algunos componentes, por lo cual queda a discreción del lector realizar la misma o únicamente leerla y comprenderla para el mejor asimilación y entendimiento de los temas tratados en el documento, la misma debe ser realizada bajo la supervisión de un tutor académico, de profesión ingeniero relacionado al campo de las telecomunicaciones. Se describe las herramientas necesarias y el paso a paso de cómo realizar esta práctica.

5.3.1. Recepción de señales lte (4g) en gnuradio

Para la implementación de un sistema receptor de señales LTE (4G), se utilizaron los siguientes componentes a nivel de hardware y software.

5.3.1.1. Componentes de hardware

- Radio definido por software Ettus Research USRP N210.
- Dos antenas VERT900 de la empresa Ettus Research con capacidad de detección dualband en los rangos de 824 a 960 MHz y 1710 a 1990 MHz con una ganancia de 3 dBi.
- Computadora de al menos las siguientes características, memoria RAM de 4 GB y procesador Intel(R) Core(TM) i5-3317U CPU 1.7GHZ.
- Cable Gigabit Ethernet.

5.3.1.2. Componentes de software

- Sistema operativo Ubuntu 14.04 LTS instalado en ordenador

- GNURadio v.3.7.6

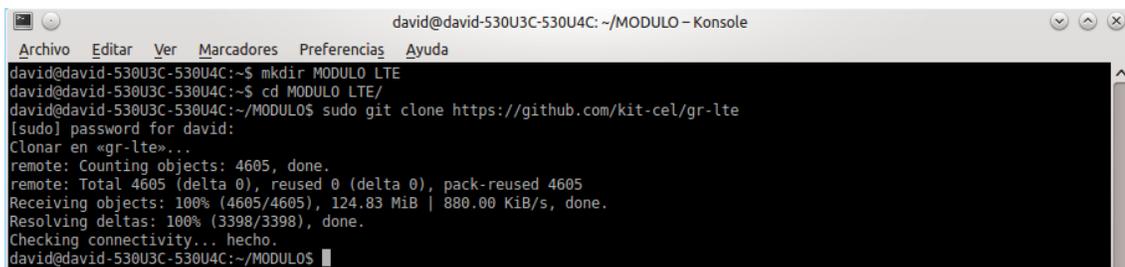
A continuación, se observa el proceso de descarga y clonación del módulo lte sobre una consola de distribución Linux.

5.3.1.3. Proceso de descarga bloques LTE

En la implementación del sistema de diagrama de bloques para la recepción de señales LTE, fue necesario realizar un proceso de descarga de librerías y bloques adicionales. En la descarga del módulo lte, que se encuentra disponible en el enlace <https://github.com/kit-cel/gr-lte>, fue posible recopilar todos los bloques necesarios para el desarrollo del flujograma en GNURadio.

En la figura, se observa el proceso de descarga del paquete lte, al igual que, los comandos utilizados. La clonación de este paquete no contiene dependencias de directorio, es suficiente con digitar el comando con los permisos de administrador.

Figura 73. Clonación del paquete LTE en Linux



```
david@david-530U3C-530U4C: ~/MODULO - Konsole
Archivo Editar Ver Marcadores Preferencias Ayuda
david@david-530U3C-530U4C:~$ mkdir MODULO LTE
david@david-530U3C-530U4C:~$ cd MODULO LTE/
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO$ sudo git clone https://github.com/kit-cel/gr-lte
[sudo] password for david:
Clonar en «gr-lte»...
remote: Counting objects: 4605, done.
remote: Total 4605 (delta 0), reused 0 (delta 0), pack-reused 4605
Receiving objects: 100% (4605/4605), 124.83 MiB | 880.00 KiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (3398/3398), done.
Checking connectivity... hecho.
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO$
```

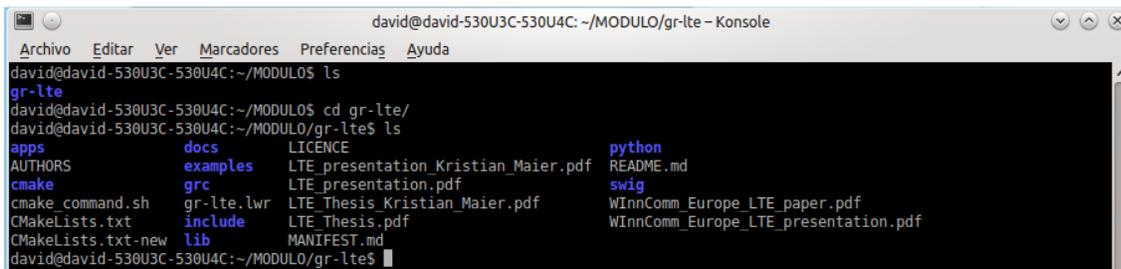
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

Luego de la finalización del proceso de clonación, se ingresó al directorio gr-lte para comprobar la correcta descarga de los archivos. Así, en la figura, se observa los archivos que componen todo el paquete LTE.

Figura 74. Archivos de descarga del paquete LTE



```
david@david-530U3C-530U4C: ~/MODULO/gr-lte - Konsole
Archivo  Editar  Ver  Marcadores  Preferencias  Ayuda
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO$ ls
gr-lte
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO$ cd gr-lte/
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte$ ls
apps          docs          LICENCE      python
AUTHORS      examples     LTE_presentation_Kristian_Maier.pdf  README.md
cmake        grc          LTE_presentation.pdf                swig
cmake_command.sh  gr-lte.lwr  LTE_Thesis_Kristian_Maier.pdf      WinnComm_Europe_LTE_paper.pdf
CMakeLists.txt  include     LTE_Thesis.pdf                     WinnComm_Europe_LTE_presentation.pdf
CMakeLists.txt-new  lib        MANIFEST.md
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte$
```

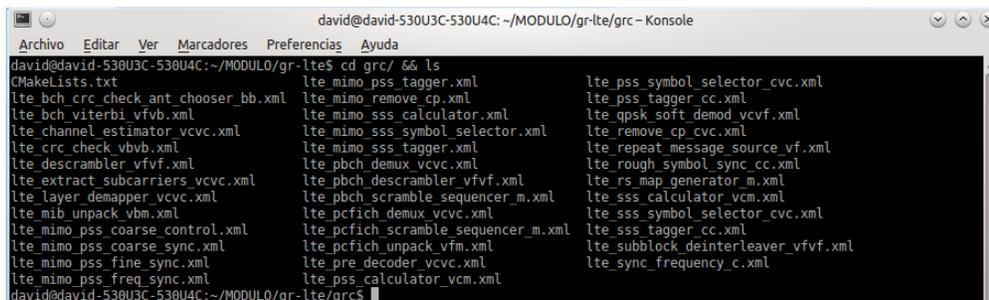
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

Los principales archivos por trabajar para el desarrollo del flujograma, fueron ubicados en los directorios /grc/ y /examples/. Todos los componentes de estos directorios se observan en la figura 49 y figura 50. De esta manera, se comprobó la descarga satisfactoria de los bloques que hacen parte del sistema de recepción de señales LTE.

Figura 75. Ubicación de cabecera para los bloques LTE



```
david@david-530U3C-530U4C: ~/MODULO/gr-lte/grc - Konsole
Archivo Editar Ver Marcadores Preferencias Ayuda
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte$ cd grc/ && ls
CMakeLists.txt          lte_mimo_pss_tagger.xml          lte_pss_symbol_selector_cvc.xml
lte_bch_crc_check_ant_chooser_bb.xml  lte_mimo_remove_cp.xml          lte_pss_tagger_cc.xml
lte_bch_viterbi_vfvp.xml  lte_mimo_sss_calculator.xml     lte_qpsk_soft_demod_vcvf.xml
lte_channel_estimator_vcvp.xml          lte_mimo_sss_symbol_selector.xml  lte_remove_cp_cvc.xml
lte_crc_check_vbvb.xml    lte_mimo_sss_tagger.xml          lte_repeat_message_source_vf.xml
lte_descrambler_vfvp.xml  lte_pbch_demux_vcvp.xml          lte_rough_symbol_sync_cc.xml
lte_extract_subcarriers_vcvp.xml        lte_pbch_descrambler_vfvp.xml     lte_rs_map_generator_m.xml
lte_layer_demapper_vcvp.xml             lte_pbch_scramble_sequencer_m.xml  lte_sss_calculator_vcm.xml
lte_mib_unpack_vbm.xml    lte_pc_fich_demux_vcvp.xml       lte_sss_symbol_selector_cvc.xml
lte_mimo_pss_coarse_control.xml          lte_pc_fich_scramble_sequencer_m.xml  lte_sss_tagger_cc.xml
lte_mimo_pss_coarse_sync.xml             lte_pc_fich_unpack_vfm.xml         lte_subblock_deinterleaver_vfvp.xml
lte_mimo_pss_fine_sync.xml               lte_pre_decoder_vcvp.xml           lte_sync_frequency_c.xml
lte_mimo_pss_freq_sync.xml               lte_pss_calculator_vcm.xml
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte/grc$
```

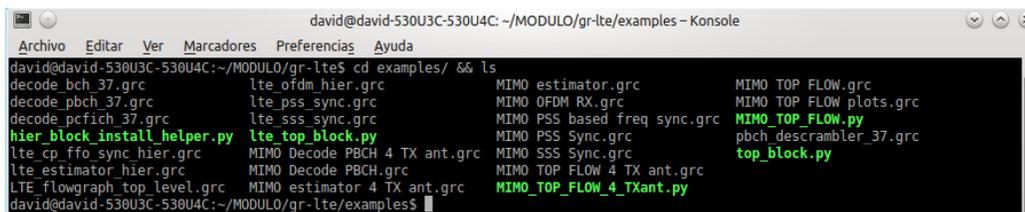
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando radio definido por software para sistemas de telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

Es importante mencionar que los archivos que se observan en la figura 50, son componentes fundamentales para la composición total del flujograma, ya que en estos archivos se alojan bloques de procesamiento únicos que no fueron desarrollados como bloques independientes en la barra de búsqueda de GNURadio.

Figura 76. Ubicación de los archivos de ejemplo de bloques LTE



```
david@david-530U3C-530U4C: ~/MODULO/gr-lte/examples - Konsole
Archivo Editar Ver Marcadores Preferencias Ayuda
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte$ cd examples/ && ls
decode_bch_37.grc          lte_ofdm_hier.grc                MIMO_estimator.grc          MIMO_TOP_FLOW.grc
decode_pbch_37.grc        lte_pss_sync.grc                 MIMO_OFDM_RX.grc           MIMO_TOP_FLOW_plots.grc
decode_pc_fich_37.grc     lte_sss_sync.grc                 MIMO_PSS_based_freq_sync.grc  MIMO_TOP_FLOW.py
hier_block_install_helper.py  lte_top_block.py                 MIMO_PSS_Sync.grc          pbch_descrambler_37.grc
lte_cp_ffo_sync_hier.grc    MIMO_Decode_PBCH_4_TX_ant.grc    MIMO_SSS_Sync.grc          top_block.py
lte_estimator_hier.grc     MIMO_Decode_PBCH.grc             MIMO_TOP_FLOW_4_TX_ant.grc
LTE_flowgraph_top_level.grc  MIMO_estimator_4_TX_ant.grc     MIMO_TOP_FLOW_4_TXant.py
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte/examples$
```

Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

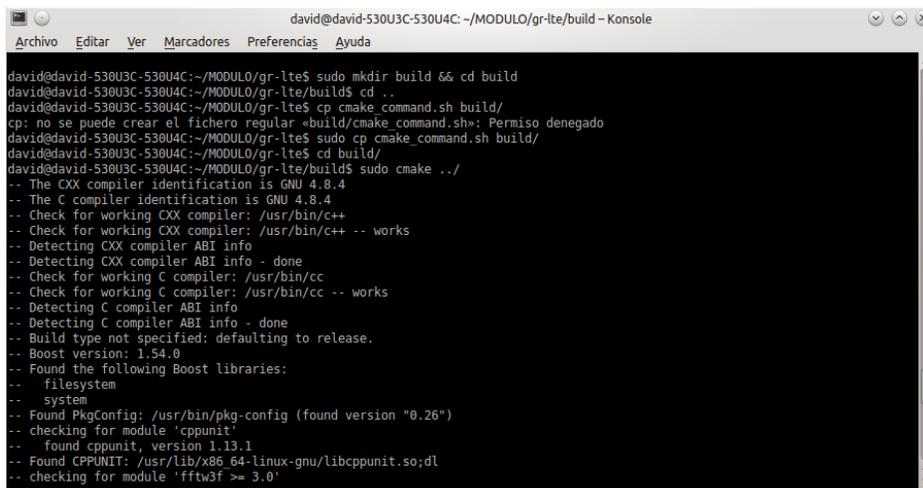
5.3.1.4. Proceso de instalación bloques LTE

Una vez realizado el proceso de descarga del paquete lte, se procedió con la instalación de todos los bloques. Con el fin de incorporar dichos bloques a la barra de búsqueda de GNURadio.

Para la compilación y ejecución de los bloques incorporados en el paquete LTE, se utilizó la herramienta *make* en la consola de Linux. En la figura, se observa la compilación de los bloques con el comando (sudo cmake ../).

Para utilizar la herramienta make, fue necesario crear el directorio /build/ e ingresar a este, para desde allí continuar con la compilación y, copiar el archivo ejecutable cmake_command.sh.

Figura 77. **Compilación de los bloques LTE en consola Linux**



```
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte/build$ sudo mkdir build && cd build
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte/build$ cd ..
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte$ cp cmake_command.sh build/
cp: no se puede crear el fichero regular «build/cmake_command.sh»: Permiso denegado
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte$ sudo cp cmake_command.sh build/
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte$ cd build/
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte/build$ sudo cmake ../
-- The CXX compiler identification is GNU 4.8.4
-- The C compiler identification is GNU 4.8.4
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/c++
-- Check for working CXX compiler: /usr/bin/c++ -- works
-- Detecting CXX compiler ABI info
-- Detecting CXX compiler ABI info - done
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc
-- Check for working C compiler: /usr/bin/cc -- works
-- Detecting C compiler ABI info
-- Detecting C compiler ABI info - done
-- Build type not specified: defaulting to release.
-- Boost version: 1.54.0
-- Found the following Boost libraries:
--   filesystem
--   system
-- Found PkgConfig: /usr/bin/pkg-config (found version "0.26")
-- checking for module 'cppunit'
--   found cppunit, version 1.13.1
-- Found CPPUNIT: /usr/lib/x86_64-linux-gnu/libcppunit.so;dl
-- checking for module 'fftw3f >= 3.0'
```

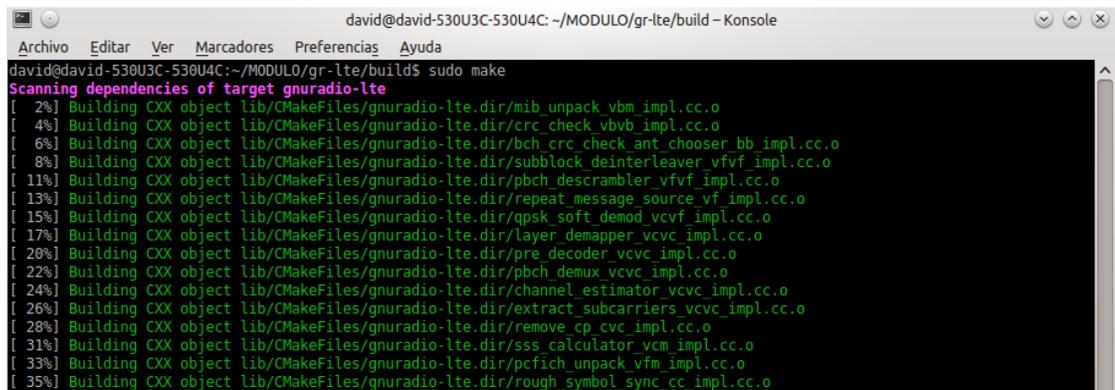
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

Posterior a la compilación exitosa, se continuó con la ejecución del archivo Cmake. Se observa el comando utilizado y la ejecución continua, este proceso puede tardar varios minutos por la verificación de los archivos de cabecera de cada bloque.

Figura 78. Ejecución de los bloques LTE en consola Linux



```
david@david-530U3C-530U4C: ~/MODULO/gr-lte/build - Konsole
Archivo Editar Ver Marcadores Preferencias Ayuda
david@david-530U3C-530U4C:~/MODULO/gr-lte/build$ sudo make
Scanning dependencies of target gnuradio-lte
[ 2%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/mib_unpack_vbm_impl.cc.o
[ 4%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/crc_check_vbvb_impl.cc.o
[ 6%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/bch_crc_check_ant_chooser_bb_impl.cc.o
[ 8%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/subblock_deinterleaver_vfvf_impl.cc.o
[11%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/pbch_descrambler_vfvf_impl.cc.o
[13%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/repeat_message_source_vf_impl.cc.o
[15%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/qpsk_soft_demod_vcvc_impl.cc.o
[17%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/layer_demapper_vcvc_impl.cc.o
[20%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/pre_decoder_vcvc_impl.cc.o
[22%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/pbch_demux_vcvc_impl.cc.o
[24%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/channel_estimator_vcvc_impl.cc.o
[26%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/extract_subcarriers_vcvc_impl.cc.o
[28%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/remove_cp_cvc_impl.cc.o
[31%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/sss_calculator_vcm_impl.cc.o
[33%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/pcfich_unpack_vfm_impl.cc.o
[35%] Building CXX object lib/CMakeFiles/gnuradio-lte.dir/rough_symbol_sync_cc_impl.cc.o
```

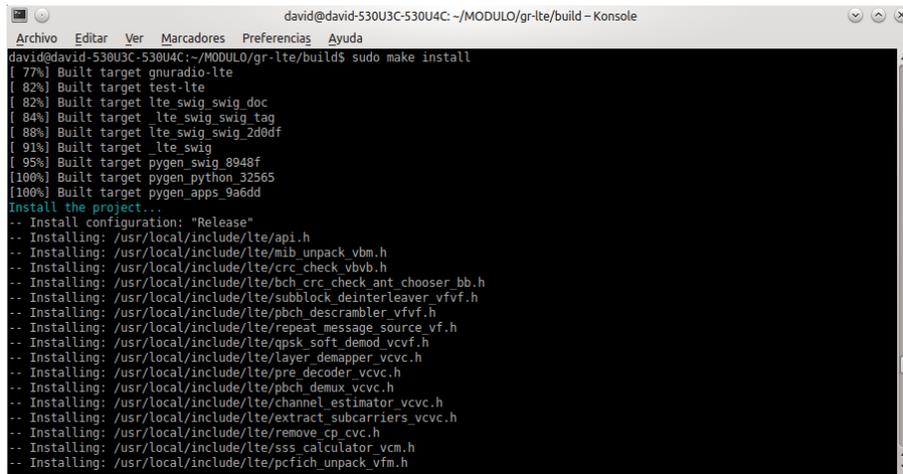
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

Finalmente se procedió con la instalación de los bloques LTE sobre el software GNURadio. Para este proceso basta con digitar el comando sudo make install sobre el directorio /build/. En la figura, se observa la ejecución del comando descrito anteriormente sobre la consola Linux.

Figura 79. **Instalación de los bloques LTE en consola Linux**



```
david@david-530U3C-530U4C: ~/MODULO/gr-lte/build$ sudo make install
[ 77%] Built target gnuradio-lte
[ 82%] Built target fest-lte
[ 82%] Built target lte_swig_swig_doc
[ 84%] Built target lte_swig_swig_tag
[ 88%] Built target lte_swig_swig_2d0df
[ 91%] Built target lte_swig
[ 95%] Built target pygen_swig_8948f
[100%] Built target pygen_python_32565
[100%] Built target pygen_apps_9a6dd
Install the project...
-- Install configuration: "Release"
-- Installing: /usr/local/include/lte/api.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/mib_unpack_vbm.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/crc_check_vbvb.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/bch_crc_check_ant_chooser_bb.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/subblock_deinterleaver_vfvf.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/pbch_descrambler_vfvf.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/repeat_message_source_vf.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/gpsk_soft_demod_vcvc.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/layer_demapper_vcvc.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/pre_decoder_vcvc.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/pbch_demux_vcvc.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/channel_estimator_vcvc.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/extract_subcarriers_vcvc.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/remove_cp_vcvc.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/sss_calculator_vcm.h
-- Installing: /usr/local/include/lte/pcfich_unpack_vfm.h
```

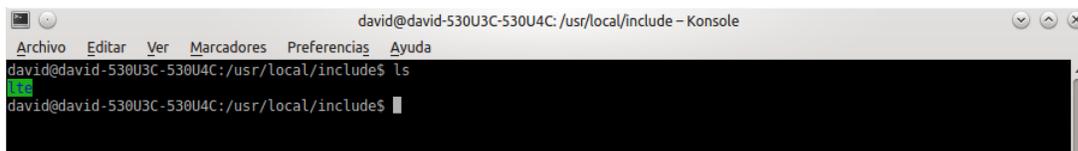
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

Para comprobar que todos los bloques fueron instalados correctamente, se ingresó al directorio /usr/local/include/. Allí se sitúa el módulo LTE que contiene todos los bloques de GNURadio, como se observa en la figura.

Figura 80. **Ubicación del módulo LTE**



```
david@david-530U3C-530U4C: /usr/local/include$ ls
david@david-530U3C-530U4C: /usr/local/include$
```

Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

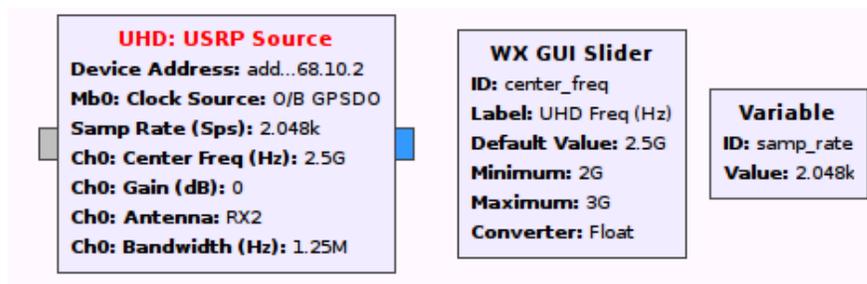
5.3.1.5. Desarrollo de flujograma en GNURadio

En este apartado se describe el desarrollo del flujograma según su función en conjuntos de bloques y bloques dependientes. Además, de registrar la utilidad de cada bloque. Es importante mencionar que el diagrama de bloques principal se observa en la figura 6, a continuación, se presenta entonces las derivaciones correspondientes de cada bloque según sea el caso.

- Bloque de conexión del hardware USRP N210 con GNURadio

Para establecer la conexión hardware – software, se utilizó el bloque UHD: USRP Source. Así, con las configuraciones adecuadas el dispositivo USRP N210 obtuvo compatibilidad con el software GNURadio. A continuación, en la figura, se observa el bloque en mención y dos bloques dependientes de este.

Figura 81. Bloque de conexión USRP N210 con GNURadio



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

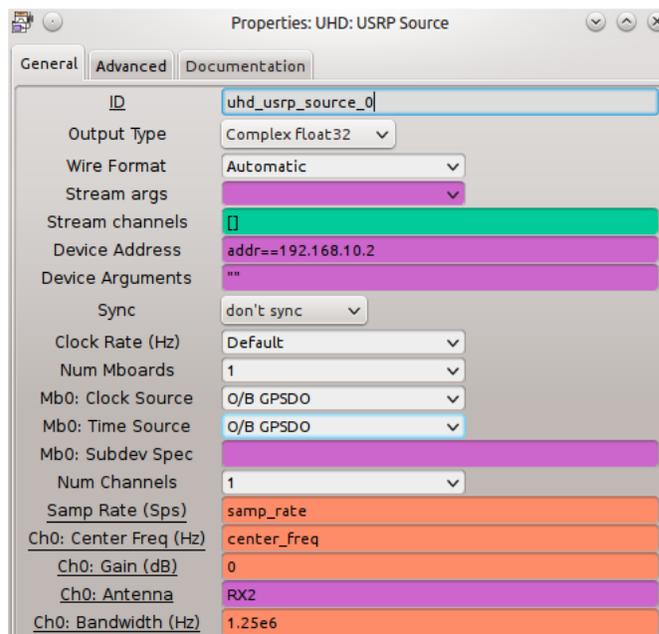
[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

Los parámetros de configuración del bloque UHD: USRP Source se observan en la figura. Donde fue posible cambiar la dirección IP del hardware a conectar, como la tasa de muestreo, ancho de banda de trabajo y demás parámetros.

El bloque WX GUI Slider se utilizó como parámetro secundario del bloque UHD: USRP Source. Realizó la configuración de la frecuencia central de operación, y guardas de frecuencia mínima y máxima para la banda de trabajo del USRP N210. Estas configuraciones se observan en la figura.

Figura 82. **Configuración bloque UHD-USRP Source**

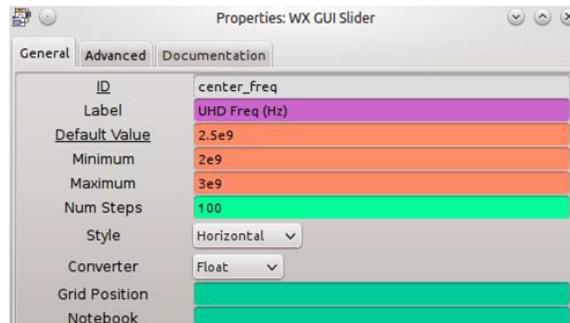


Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

Figura 83. **Configuración de bloque WX GUI Slider**



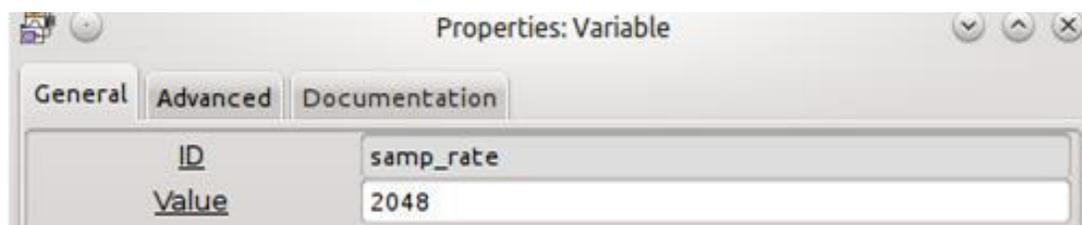
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

Por último, en la configuración del bloque UHD_ USRP N210 se utilizó una variable de parametrización. La configuración de la variable `samp_rate` se puede observar en la figura siguiente.

Figura 84. **Configuración variable samp rate**



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

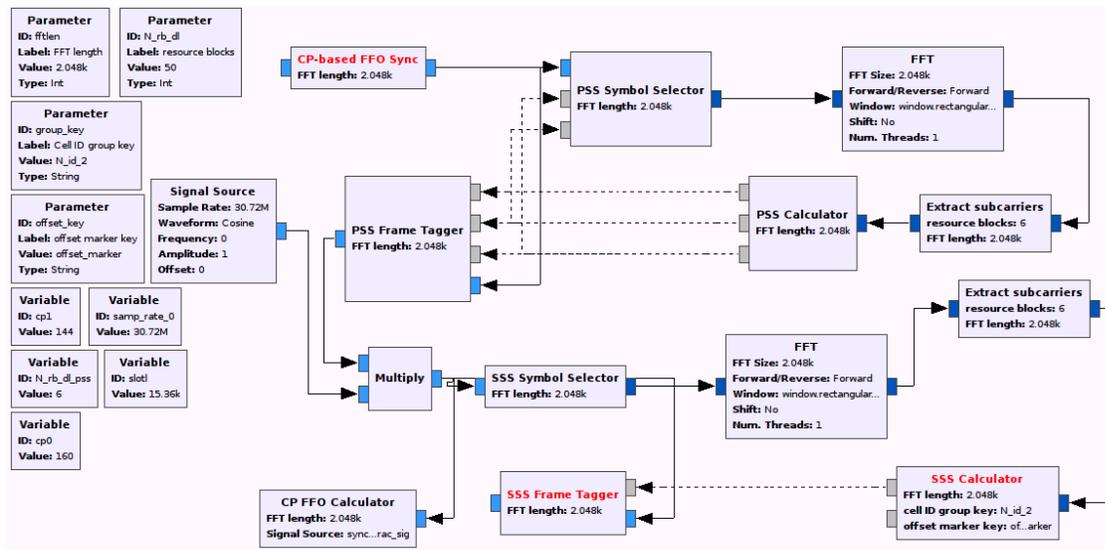
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

5.3.1.6. Diagrama de bloques de sincronización

En la figura se observa el diagrama de bloques correspondiente a la sincronización de la señal recibida. Además de variables y parámetros de configuración que hacen parte de los bloques allí descritos.

Figura 85. Diagrama de bloques de sincronización



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>

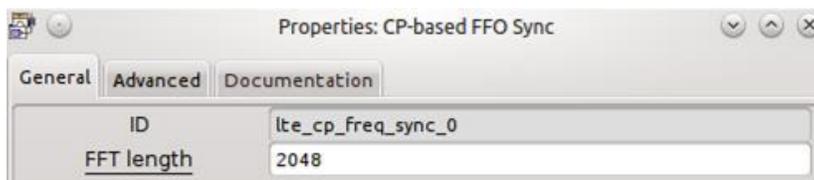
Consulta:16 de agosto de 2021.

Los bloques que conforman la capa de sincronización y su respectiva descripción son:

- **CP-based FFO Sync:** este bloque tiene la funcionalidad de sincronización del prefijo cíclico para diferenciarla con los símbolos de principio y fin de

la frecuencia receptora seleccionada. La configuración de este bloque puede ser observada en la figura.

Figura 86. **Configuración bloque CP-based FFO Sync**



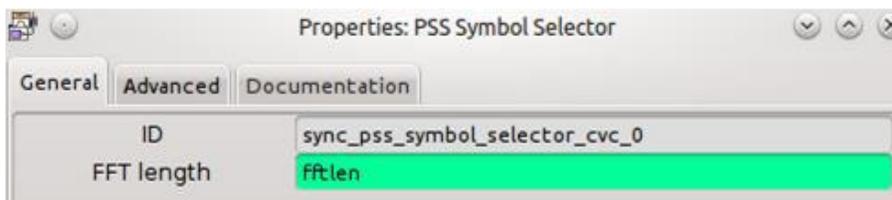
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- **PSS Symbol Selector:** este bloque permitió seleccionar el símbolo de inicio extraído del CP, su configuración su puede observar en la figura.

Figura 87. **Configuración bloque PSS Symbol Selector**



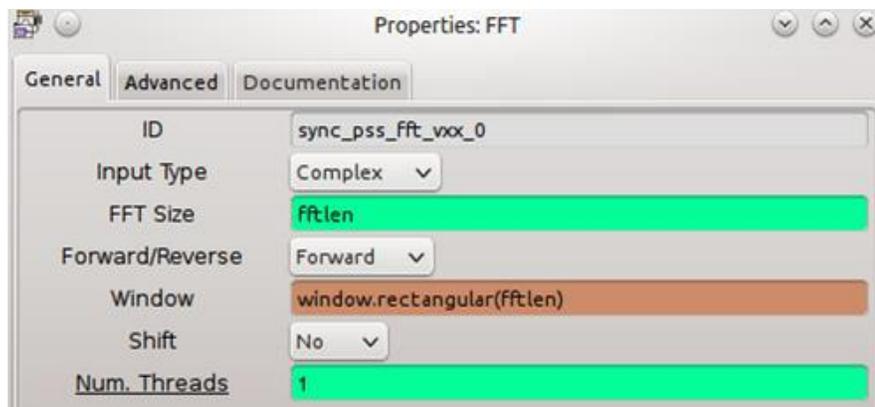
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- FFT: se realizó la transformada rápida de Fourier para cambiar el dominio de los componentes de tiempo a frecuencia y así, extraer los símbolos CP en función del tiempo. La configuración de este bloque se observa en la figura.

Figura 88. **Configuración FFT**



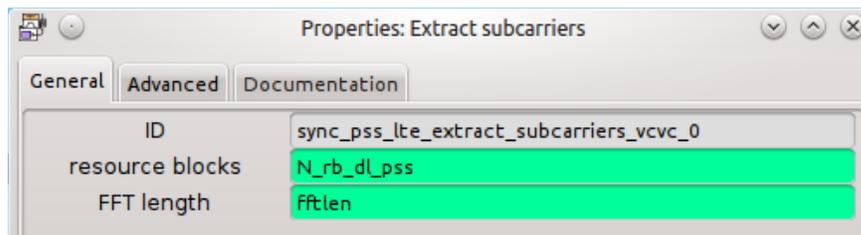
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Extract subcarriers*: este bloque permitió la selección de la cantidad de *resources blocks* (6) y de esta manera, determinar el ancho de banda y las 74 subportadoras a trabajar que para el caso observado en la figura 63, es de 72 subportadoras.

Figura 89. **Configuración de bloque *Extract subcarriers***



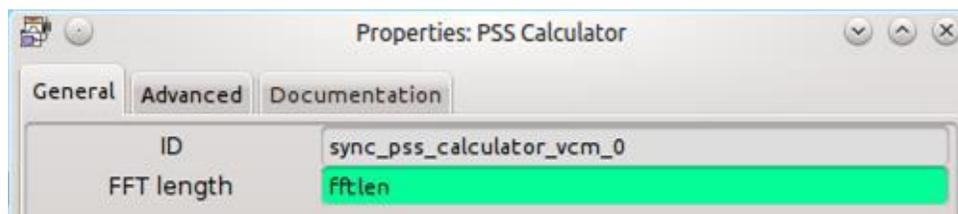
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

- **PSS Calculator:** utilizando el cálculo *resource blocks* contra subportadoras, este bloque permitió diferenciar por secuencia de símbolos la cantidad y organizarlos en tres distintas fuentes para evitar la interferencia inter simbólica. Además, tiene la función de retroalimentar el conjunto de bloques para la sincronización PSS. La configuración de este bloque se observa en la figura.

Figura 90. **Configuración bloque PSS Calculator**



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

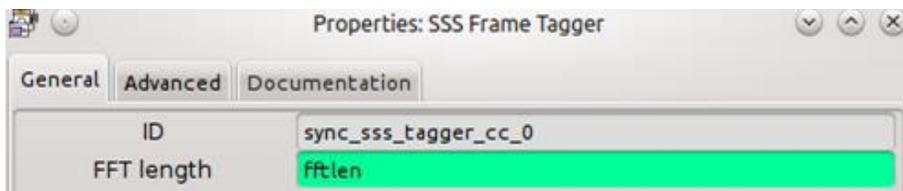
[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *SSS Frame Tagger*: una vez los símbolos primarios son procesados, se implementaron los bloques para la detección de los símbolos secundarios. Utilizando una fuente de señal compleja para sincronizar la señal recibida, se realizó nuevamente la transformada rápida de Fourier y la extracción de las subportadoras, esta vez para la selección del símbolo secundario. Este proceso tuvo cabida ya que el bloque multiplicador entregó una salida en frecuencia.

Un *buffer* de entrega permitió guardar los símbolos primarios extraídos en los procedimientos anteriores y generar el proceso una vez más para los símbolos secundarios, como se observa en la figura 59, el bloque *SSS Frame Tagger* tiene conexión con la entrada de todo el conjunto de bloques que forman la sincronización PSS. La configuración del bloque descrito anteriormente se observa a continuación en la figura.

Figura 91. **Configuración de SSS Frame Tagger**



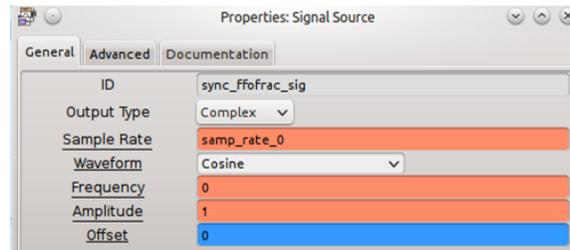
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Signal Source*: se implementó este bloque para la sincronización de la señal recibida, con el fin de extraer el símbolo secundario. La configuración puede observarse en la figura.

Figura 92. **Configuración de bloque *Signal Source***



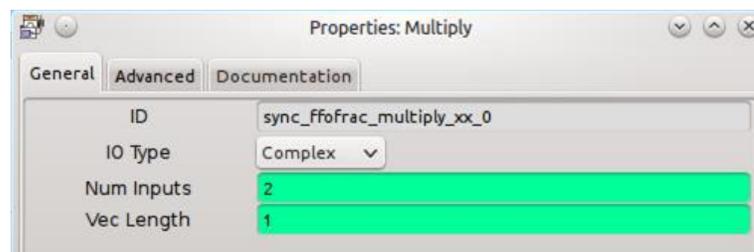
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Multiply*: este bloque permite multiplicar las dos señales de entrada y una única señal de salida, su configuración se observa en la figura.

Figura 93. **Configuración de bloque *Multiply***



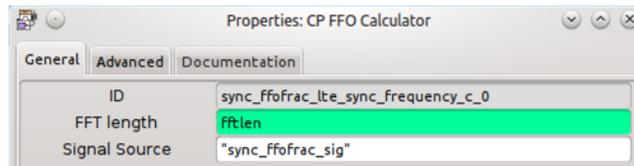
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *CP FFO Calculator*: este bloque permite la visualización del CP y no contiene salidas. Su configuración se observa en la figura.

Figura 94. **Configuración de bloques CP FFO Calculator**



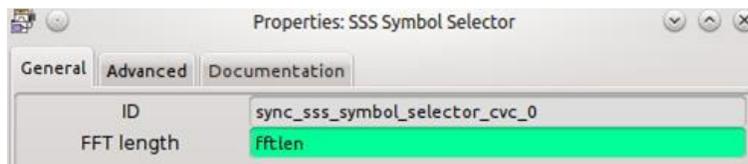
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- **SSS Symbol Selector:** este bloque permitió seleccionar el símbolo de inicio secundario extraído del CP, la configuración se observa en la figura.

Figura 95. **Configuración de bloque SSS Symbol Selector**



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

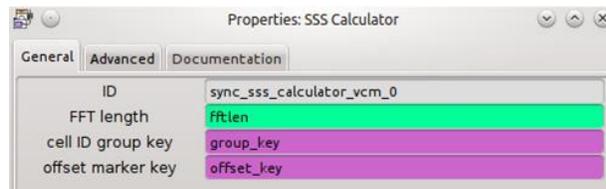
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- **SSS Calculator:** la extracción del NID, es de suma importancia para los procesos de demultiplexación y decodificación de la señal recibida. Esta es una de las funciones del bloque *SSS Calculator*, además de entregar los símbolos secundarios al bloque *SSS Frame Tagger*. No posee

retroalimentación porque no existen terceros símbolos para extraer. Su configuración se observa en la figura.

Figura 96. **Configuración de bloque SSS Calculator**



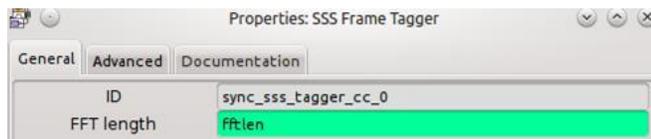
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *SSS Frame Tagger*: el último de los bloques comprendidos en la etapa de sincronización tiene la función de entregar a los bloques de recepción de señal OFDM los símbolos extraídos en forma continua y no en trama. Además, de la señal recibida. La configuración del bloque *SSS Frame Tagger* se observa en la figura.

Figura 97. **Configuración de bloque SSS Frame Tagger**



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

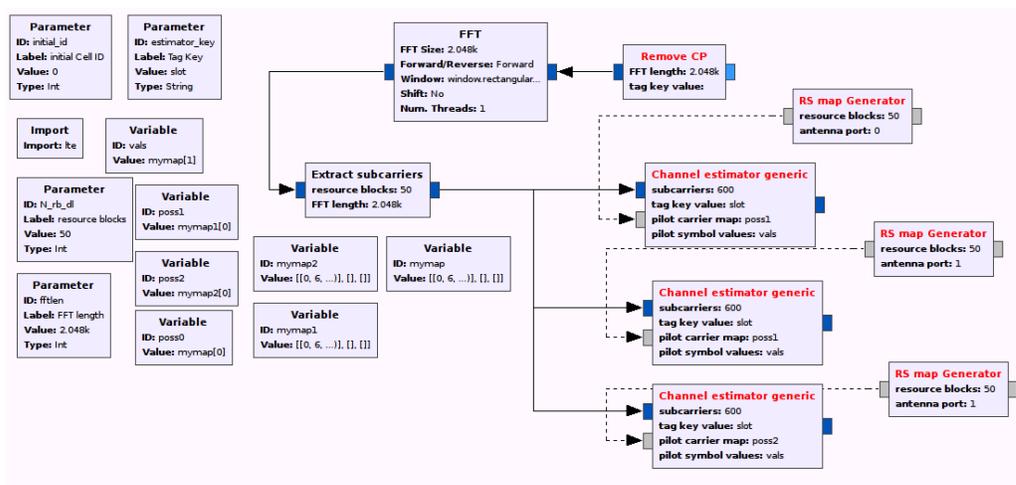
[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

5.3.1.7. Diagrama de bloques para la recepción OFDM

En la figura, se observa el diagrama de bloques que corresponde a la etapa de recepción de la señal OFDM que se realizó luego de la correcta sincronización del sistema.

Figura 98. Diagrama de bloques recepción OFDM



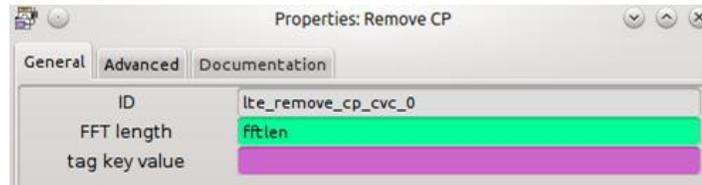
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.>

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- **Remove CP:** este bloque remueve el prefijo cíclico de la señal recibida, ya que no es necesaria cuando el proceso de sincronización termina. La configuración de este bloque se puede observar en la figura.

Figura 99. **Configuración de bloque *Remove CP***



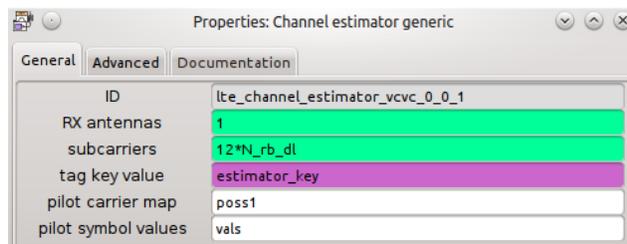
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Channel estimator generic*: es necesario realizar una estimación del canal inalámbrico para conocer variables que afectan la comunicación (*Channel Identification Quality*) y entregar la señal sin alteraciones a los procesos de demultiplexación y decodificación. Lo anterior define la función principal de este bloque y su configuración se observa en la figura.

Figura 100. **Configuración de bloque *Channel estimator generic***



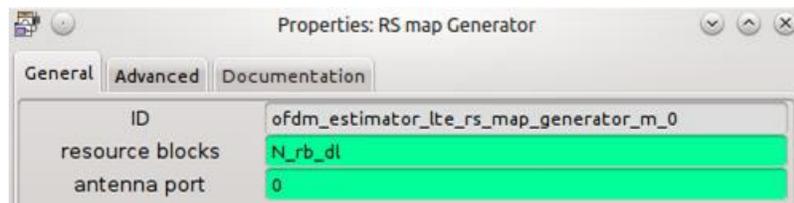
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *RS map Generator*: este bloque posee comunicación con el NID que corresponde a la identificación de la estación base transmisora, por lo que realizó un mapeo del canal según la cantidad de *resource blocks* asignados y, por último, ser entregados al bloque de estimación de canal. Su configuración es observada en la figura.

Figura 101. **Configuración de bloques *RS map Generator***



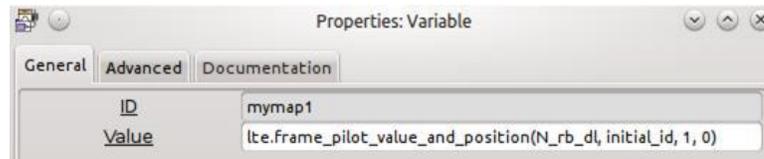
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- Variable importación LTE: esta variable posee fue caso atípico, ya que depende de la importación del módulo LTE, sin embargo, fue fácil conocer su funcionamiento ya que entrega un vector de cuatro posiciones correspondientes a las variables N_rb_dl, initial_id, 1, 0. La configuración de este bloque se observa en la figura.

Figura 102. Configuración de variable importación LTE



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

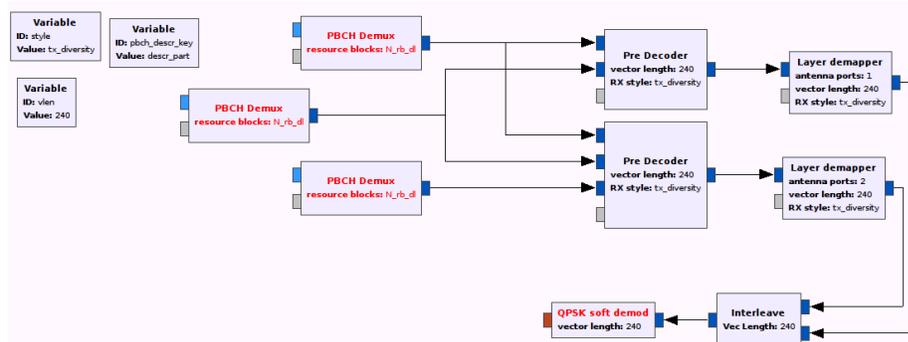
[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

5.3.1.8. Diagrama de flujo demultiplexación y decodificación PBCH

Se observa en la figura, el diagrama de bloques que corresponde a la etapa de demultiplexación y decodificación de la señal recibida.

Figura 103. Diagrama de bloques de demultiplexación y decodificación PBCH



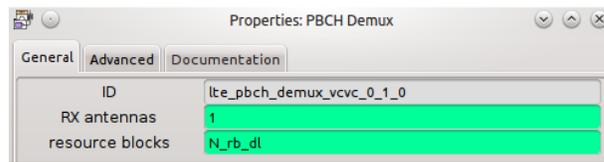
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

- PBCH Demux: este bloque realizó la demultiplexación del canal físico de difusión, que es transmitido junto con el MIB por el eNodeB. La configuración del bloque se observa en la figura.

Figura 104. **Configuración de bloque PBCH Demux**



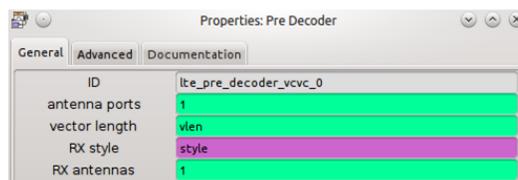
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- Pre Decoder: la decodificación del canal PBCH comprendió una etapa previa de simultaneidad con la señal recibida y se realiza en dos fases para tener posterior redundancia en la demodulación QPSK. La configuración de este bloque se observa en la figura.

Figura 105. **Configuración de bloque Pre Decoder**



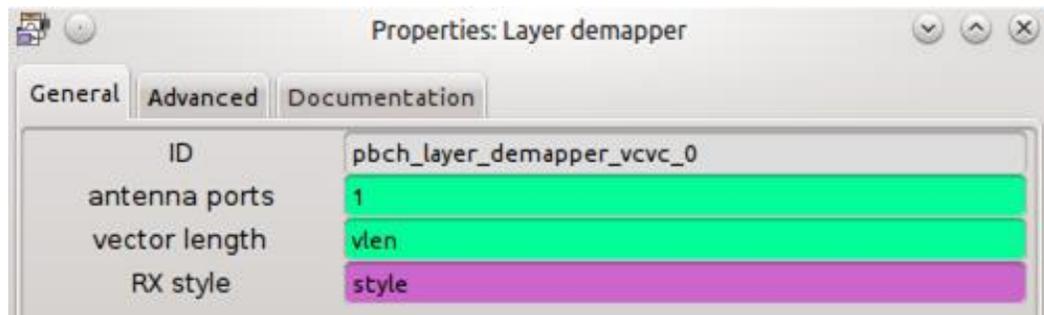
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Layer demapper*: este bloque retiró las etiquetas de los símbolos que fueron extraídos en etapas anteriores. La configuración se puede observar en la figura.

Figura 106. Configuración de bloque *Layer demapper*



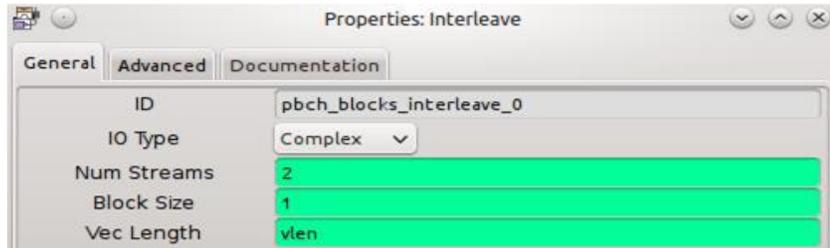
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular*.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Interleave*: este bloque posee la funcionalidad de un código de línea, ir intercambiando los valores de cada entrada y confinarlas en la única salida que posee el bloque. De esta manera, el primer valor de la primera entrada y el segundo de la segunda serán los dos primeros valores de la salida. La configuración del bloque se puede observar en la figura.

Figura 107. **Configuración de bloque *interleave***



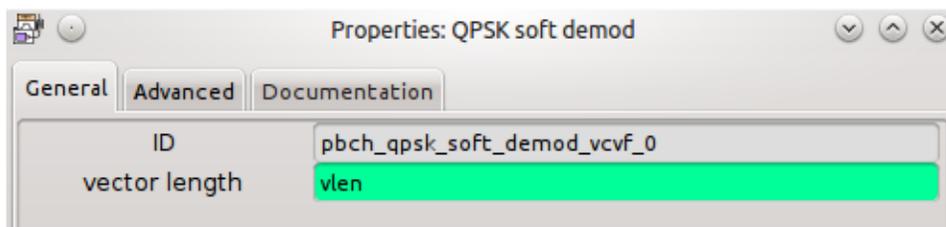
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- QPSK *soft demod*: las señales transmitidas mediante el sistema de acceso al medio OFDM tienen modulaciones en QPSK o QAM y este bloque se encarga de demodular la señal recibida para que, terminado esta etapa se extraiga la carga útil de la señal. La configuración de este importante módulo se observa en la figura.

Figura 108. **Configuración de bloque QPSK *soft demod***



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

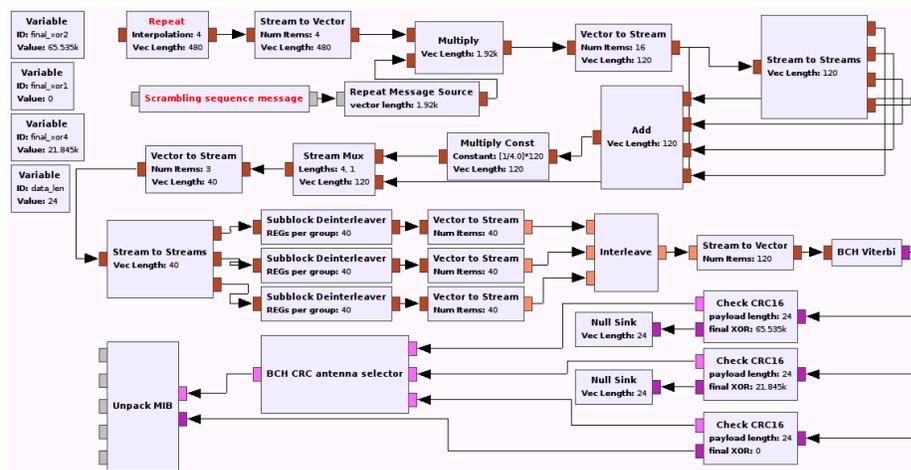
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

5.3.1.9. Diagrama de flujo de decodificación BCH y MIB

En la siguiente figura se observa el diagrama de bloques que corresponde a la etapa de decodificación BCH y entrega del MIB de la señal recibida.

Figura 109. Diagrama de flujo de decodificación BCH y MIB



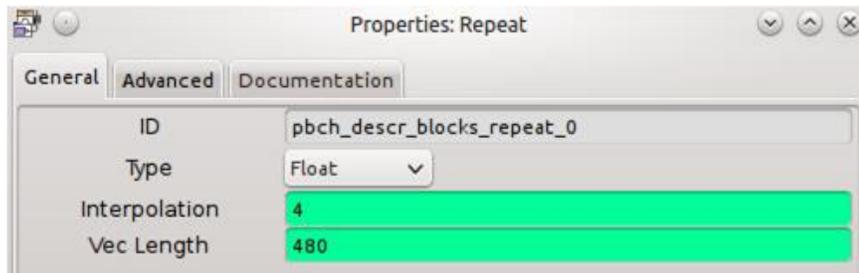
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Repeat*: este bloque realiza una interpolación por un factor entero a la señal para reducir los efectos de muestreo. La configuración se observa en la figura.

Figura 110. **Configuración de bloque Repeat**



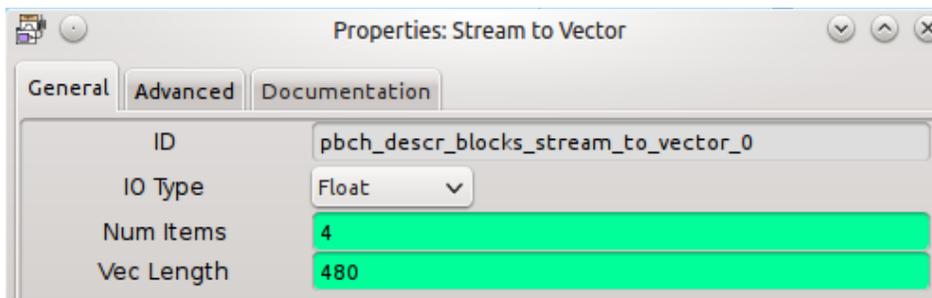
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Stream to Vector*: este bloque realizó una conversión de un flujo de valores a un vector. Se observa su configuración en la figura.

Figura 111. **Configuración de bloque Stream to Vector**



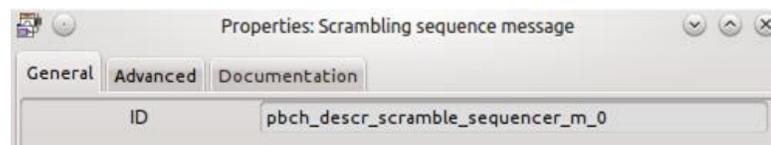
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Scrambling sequence Message*: este bloque utiliza el NID para multiplicar posteriormente este dato con la señal y realizar el proceso de *descrambling*. La configuración del bloque se puede observar en la figura.

Figura 112. **Configuración de bloque *Scrambling Sequence message***



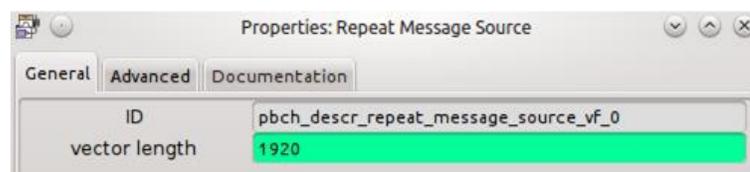
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Repeat Message Source*: se realiza una continuación del dato NID esta vez descrito como mensaje. La configuración del bloque se observa en la figura.

Figura 113. **Configuración bloque *Repeat Message Source***



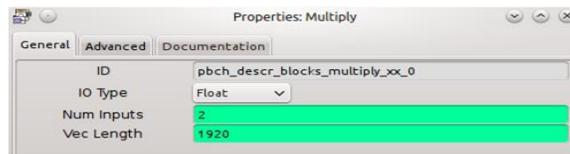
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Multiply*: este bloque como se describió anteriormente, une las dos señales bajo un solo parámetro de salida. Su configuración puede ser vista en la figura.

Figura 114. **Configuración bloque *Multiply***



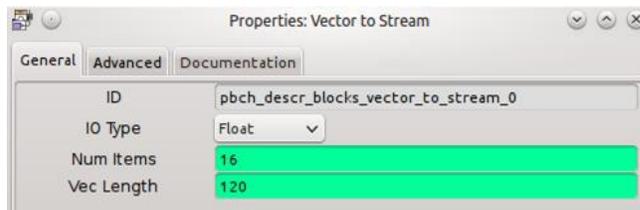
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Vector to Stream*: este bloque permite organizar y distribuir los valores provenientes de un vector en flujos de datos. La configuración de este bloque se observa en la figura.

Figura 115. **Configuración bloque *Vector to Stream***



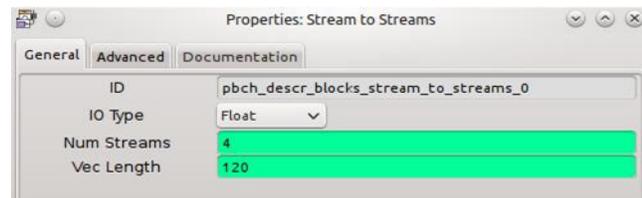
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Stream to Stream*: la cadena de valores se divide para tener varias salidas, sin afectar la misma. La configuración de este bloque se observa en la figura.

Figura 116. **Configuración bloque *Stream to Stream***



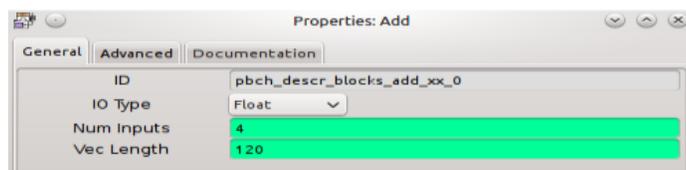
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Add*: este bloque tiene la funcionalidad de caracterizar los datos entregados por el bloque anterior para unirlos sobre una misma salida. La configuración de este bloque se observa en figura.

Figura 117. **Configuración bloque *Add***



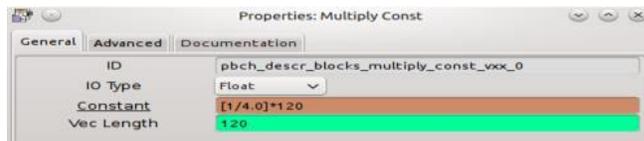
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Multiply Const*: este bloque simplemente multiplica el valor ingresado a este por una constante, el valor que fue multiplicado se puede observar en la figura.

Figura 118. **Configuración bloque *Multiply Const***



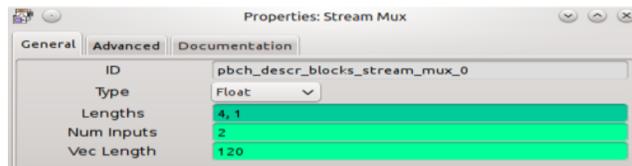
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Stream Mux*: este bloque se utilizó para darle flujo a la cadena de valores mediante un multiplexor. La configuración puede observarse en la figura.

Figura 119. **Configuración *Stream Mux***



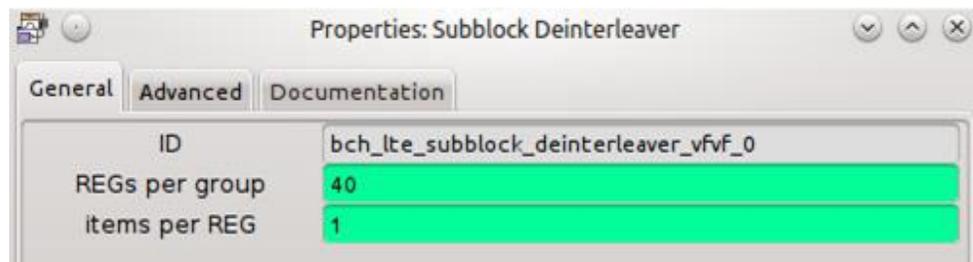
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Subblock deinterleaver*: los bloques anteriores a este son procesos de transformación y adecuación de señal. En el diagrama de bloques para la decodificación del canal BCH se realizará un *Interleave* para intercalar los datos de los valores de sus entradas, como se describió para el *Interleave* del diagrama para la recepción OFDM. En esta ocasión se trabajó un subproceso anterior, ya que ingresan flujos de datos al código de línea. La configuración del bloque se observa en la figura.

Figura 120. **Configuración bloque *Subblock deinterleaver***



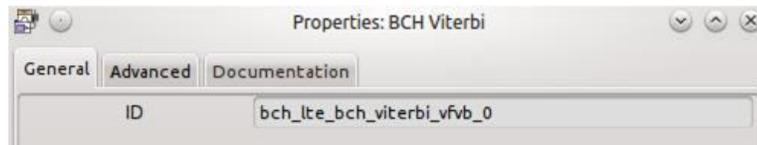
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- BCH Viterbi: se realizó a la señal el procesado del algoritmo Viterbi para terminar todos los procesos de envoltura y obtener la señal más pura. El bloque con su respectiva configuración se observa en figura.

Figura 121. **Configuración bloque BCH Viterbi**



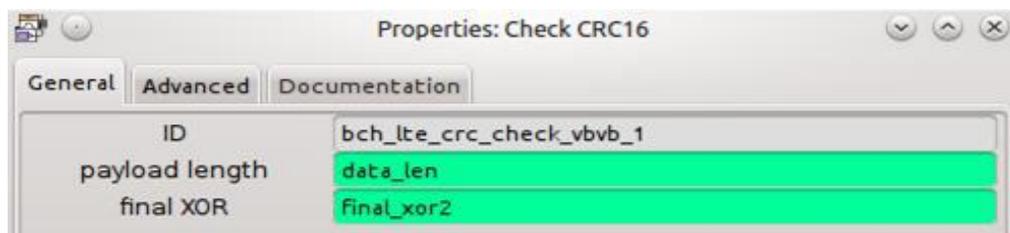
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *Check CRC16*: para realizar un proceso de verificación se utilizó el bloque *Check CRC16*, así los datos del proceso de *descrambling* son comprobados en conjunto con el siguiente bloque. La configuración de este bloque se observa en la figura.

Figura 122. **Configuración bloque *Check CRC16***



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

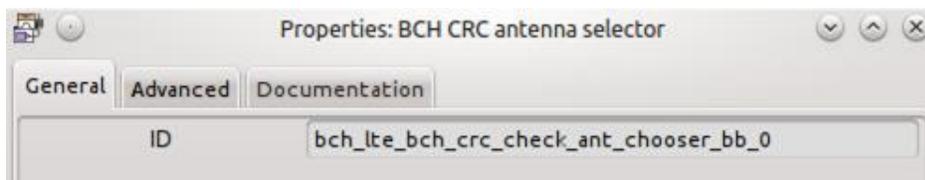
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se>.

Consulta:16 de agosto de 2021.

- *BCH CRC antenna selector*: este bloque se utilizó para terminar con el proceso de *descrambling*, que se puede realizar conociendo la

identificación de la estación base transmisora. La configuración del bloque se observa en la figura.

Figura 123. **Configuración bloque CRC *antenna selector***



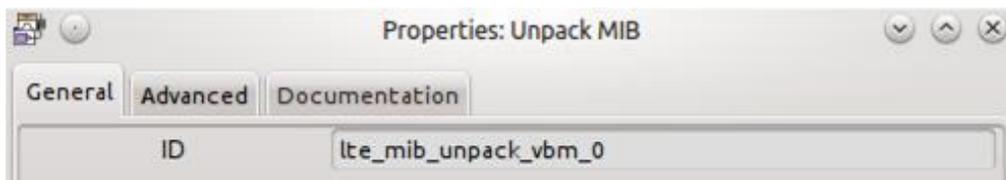
Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

- *Unpack MIB*: este bloque permite visualizar la información que se transporta en la carga útil de la señal. La configuración del bloque se observa en la figura.

Figura 124. **Configuración bloque *Unpack MIB***



Fuente: ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular.*

[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se.](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)

Consulta: 16 de agosto de 2021.

En la recepción de señales LTE de cuarta generación, la práctica de laboratorio se trabajó mediante la jerarquización de bloques, y se observó que fue funcional para completar cada una de las etapas de sustracción de cabeceras y demás códigos que hacen parte de la señal pura transmitida por un eNodeB. Además de visualizar los componentes que son incorporados en una señal 4G de forma práctica.

La documentación de guías de práctica fue un proceso encaminado al ambiente académico, donde se resaltó la importancia de las competencias que hacen parte del programa de ingeniería de telecomunicaciones. Además, fue un espacio para complementar detalladamente los procesos que hicieron parte de las prácticas de laboratorio, en la búsqueda de futuros estudiantes que las desarrollen.

CONCLUSIONES

1. Con el presente trabajo el estudiante de Ingeniería en Electrónica de la Universidad de San Carlos aumentará su conocimiento de redes móviles.
2. Es importante que el estudiante sepa la historia y evolución de las redes móviles para comprender de mejor manera cómo funcionan las comunicaciones en la actualidad.
3. Los conceptos básicos tratados a lo largo del trabajo ayudaran al lector a tener una mejor comprensión de las redes móviles y a aumentar su posibilidad de adquirir un trabajo en esa área.
4. La guía de estudios y práctica planteada en el último capítulo, ayudará a identificar los puntos importantes y a poder arreglar el tiempo mínimo necesario para comprender los conceptos tratados en este documento.
5. Las empresas de telecomunicaciones han estado en contante cambio a lo largo del tiempo siempre buscando aprovechar de manera más eficiente el espectro y medios disponibles para la comunicación.

RECOMENDACIONES

1. Promover que a los estudiantes que les apasione el mundo de las telecomunicaciones tengan conceptos básicos de cómo opera esta industria, con ello podrán optar a un trabajo con mayor facilidad y saber qué área es de mayor interés para cada uno.
2. Comprender la historia y funcionamiento de cada una de las tecnologías de telecomunicaciones existentes es importante para comprender los beneficios, similitudes y diferencias que se pueden adquirir en cada una. Con ello se tendrá una mejor comprensión de porque se ha ido migrando a nuevas tecnologías constantemente.
3. Remarcar que los temas tratados en este documento solo son conceptos básicos, por lo que al encontrar cual es el área de interés de cada uno, se motiva a buscar mayor documentación, ya sea en los estándares publicados por la 3GPP, ITU, y otros. Como en cualquier fuente confiable de información.
4. Actualizar los conocimientos, ya que es una industria donde se invierte mucho en investigación y desarrollo por lo que es de alta prioridad estar a la vanguardia.
5. Calcular el tiempo necesario para leer y comprender la guía y práctica planteada, ya que con los conocimientos a lo largo de ella, incluso en la práctica, el entendimiento de las tecnologías de redes móviles que operan en el país será mucho más comprensible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alamy. *Telégrafo óptico imágenes de stock (238)*. [en línea]. <<https://www.alamy.es/imagenes/tel%C3%A9grafo-%C3%B3ptico.html/>>. [consulta: 25 de agosto del 2021].
2. Alcatel Mobile. *Solutions, Policy and Regulatory Requirements for Future Mobile Networks*. [en línea]. <<https://slideplayer.com/slide/726203/>>. [consulta: 10 de octubre del 2021].
3. Amaterazú Hernández Cardosa. *Reutilización frecuencia*. [en línea]. <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_c_a/capitulo1.pdf>. [consulta: 22 de octubre de 2021].
4. ANGULO, David. *Desarrollo de prácticas de laboratorio aplicando Radio definido por software para sistemas De telefonía móvil celular*. [en línea]. <[https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf? se](https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2764/Angulodavid2015.pdf?se)>. [consulta: 16 de agosto de 2021].
5. AprendeGuatemala.com. *Historia del teléfono en Guatemala*. [en línea]. <<https://aprende.guatemala.com/cultura-guatemalteca/general/historia-telefono-guatemala/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
6. ARRIAGA MENESES, Fernando. *Descripción del Funcionamiento de una red de telefonía móvil LTE*. [en línea]. <<http://www.repositorio.usac.edu.gt/3257/1/Erick%20Fernando%20Arriaga%20Meneses.pdf>>. [consulta: 26 de octubre de 2021].

7. ARRIGA, Erick. Todo sobre A-Flex en GSM. [en línea]. <<http://turnonideas.com/wp-content/uploads/2014/08/Allabout-A-flex.jpg>>. [consulta: 21 de octubre de 2021].
8. BBC MUNDO. *El hombre que inventó el teléfono celular*. [en línea]. <https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/04/100426_inventor_telefono_celular_pl>. [Consulta: 25 de agosto de 2021].
9. Blueadmiral. *Horizontal Layering*. [en línea]. <<http://blueadmiral.com/Communications/comms/horizo32.jpg>>. [consulta: 2 de octubre de 2021].
10. CALLE Camilo; JIMÉNEZ Maria. *Estudio y Análisis Técnico Comparativo entre las Tecnologías LTE y LTE Advanced, XXV Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica*. [en línea]. <<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17148/1/2014AJIEE-29.pdf>>. [consulta: 15 de octubre de 2021].
11. CUEVAS, Antonio; GARCÍA Carlos; MORENO; José, SOTO Ignacio. *Los pilares de las redes 4G: QoS, AAA y Movilidad*. [en línea]. <https://www.researchgate.net/publication/228826104_Los_pilares_de_las_redes_4G_QoS_AAA_y_Movilidad>. [consulta: 26 de octubre de 2021].
12. DIAZ, Domingo. *Estudio y simulación de cobertura volte mediante diseño de link budget para red 4g lte de entel en santiago entel s.a*. [en línea]. <<https://docplayer.es/88562643-Universidad-de-chile-facultad-de-ciencias-fisicas-y-matematicas-departamento-de-ingenieria-electrica.html>>. [consulta: 10 de octubre del 2021].

13. DRUCKER, Peter. *Redes Distribuidas.*, [en línea]. <<https://redesdistribuidas.wordpress.com/2015/06/03/autenticacion-Fuenteizacion-y-contabilidad-accounting/>>. [consulta: 26 de octubre de 2021].
14. Ericsson. *Al aire libre miembro de RBS de la familia RBS 6000.* [en línea]. <http://rbs6102.com/wp-content/uploads/2013/09/rbs6102_overview.jpg>. [consulta: 22 de octubre de 2021].
15. FERNÁNDEZ, Borja. *3G/UMTS.* [en línea]. <<https://docplayer.es/96737234-Universidad-ricardo-palma-facultad-de-ingenieria.html>>. [consulta 26 de octubre de 2021].
16. FIRMIN, Frédéric. *The Evolved Packet Core.* [en línea]. <<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>>. [consulta:16 de octubre de 2021].
17. FORERO JIMÉNEZ Wilson. *Vacíos regulatorios en el área de Core de la telefonía móvil.* [en línea]. <<https://docplayer.es/58242286-Vacios-regulatorios-en-el-area-de-core-de-la-telefonía-movil-wilson-forero-jimenez-universidad-santo-tomas.html>>. [consulta: 10 de octubre del 2021].
18. GARCÍA, Ana; ÁLVAREZ Manuel; VÁZQUEZ, Enrique; BERROCAL, Julio. *Diseño de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio (2002).* [en línea]. <<https://www.dit.upm.es/~mac/publications/2002/cita02-utran.pdf>>. [consulta:12 de septiembre de 2021].

19. GARCÍA, Carlos. *Soporte de QoS en redes de 4ª generación*. [en línea]. <<https://www.semanticscholar.org/paper/Soporte-de-QoS-en-Redes-de-4%C2%AA-Generaci%C3%B3n-Garc%C3%ADa-Cuevas/a81f90cde287e1b8643f2e057a21aa12d51633cf>>. [consulta: 26 de octubre de 2021].

20. GIANLUCA, Andrés. *Código Morse*. [en línea]. <<https://www.timetoast.com/timelines/codigo-morse-2ba32ab0-0b44-4692-b94f-5fb469b1f444/>>. [Cconsulta: 25 de agosto del 2021].

21. GRAYSON, Mark, *IP design for mobile networks*. EE.UU.: Cisco Press, 2009. 552 p.

22. _____. *IP design for mobile networks*. [en línea]. <http://pws.npru.ac.th/sarththong/data/files/IP_Design_for_Mobile_Networks.pdf>. [consulta: 25 de agosto de 2021].

23. GUERRA, Ana. *Telefonía celular (móviles)*. [en línea]. <<https://ana-guerra-perez.tripod.com/moviles3g/>>. [consulta: 10 de octubre del 2021].

24. GUERRERO, Zeyany. *Telégrafo eléctrico*. [en línea]. <<http://zeyanyguerrero.blogspot.com/2013/09/el-codigo-morse-y-el-telegrafo.html/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].

25. HARTO, Isybel. *Interface in GSM Network DIRECCIÓN WEB EXACTA*. [en línea]. <<https://hartomanullang.wordpress.com/2010/06/01/>>

- basic-introduction-of-gsm-network-2/>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
26. HASNAQUI, Omar. *III.9 El Handover*. [en línea]. <https://www.memoireonline.com/07/08/1383/m_u-m-t-s28.html>. [consulta: 26 de octubre de 2021].
 27. Hoy Historia. *GT 18 de septiembre de 1955: primera transmisión por televisión en Guatemala*, [en línea]. <<https://hoyhistoriagt.org/2020/09/18/18-de-septiembre-de-1955-se-realiza-la-primera-transmision-oficial-por-television-en-guatemala/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
 28. Infobiografías. *Biografía y vida de Claude Chappe*. [en línea]. <<http://www.infobiografias.com/biografia/15741/Claude-Chappe.html/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
 29. Inmesol. *Alessandro Volta, inventor de la pila eléctrica (1745-1827)*. [en línea]. <<http://www.inmesol.es/blog/alessandro-volta-inventor-de-la-pila-1745-1827/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
 30. La voz de Galicia. *La voz*. [en línea]. <<https://www.lavozdeg Galicia.es/noticia/informacion/2015/08/04/instalo-primer-semaforo-electrico/00031438707131878476626.htm/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
 31. Leon.com. *Qué son señales portadoras y moduladoras* [en línea]. <<https://leon880314.com/que-son-las-senales-portadoras-y-moduladoras/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].

32. LOPEZ Leticia. *Breve descripción de la arquitectura de red de LTE*. [en línea]. <<http://intotally.com/tot4blog/2013/07/11/lte-for-beginners-day-2-brief-description-about-lte-network-architecture/?lang=es>>. [consulta: 13 de octubre de 2021].
33. MASUM, Shamsul. *The structure of a GSM network*. [en línea]. <https://www.researchgate.net/figure/The-structure-of-a-GSM-network-14-GSM-System-has-three-subgroups-15_fig3_317259371>. [consulta: 10 de octubre de 2021].
34. MORSE, Samuel. *¿Cómo era el primer telégrafo eléctrico?* [en línea]. <<http://weekend.perfil.com/noticias/informativo/como-era-el-primer-telegrafo-electrico.phtml/>>. [consulta: 11 de febrero de 2021].
35. NETMANIAS. *EMM Procedure 6. Handover without TAU - Part 1. Overview of LTE Handover*. [en línea]. <<https://www.netmanias.com/en/?m=view&id=techdocs&no=6224&xtag=emm-Handover-lte&xref=emm-procedure-6-Handover-without-tau-part-1-overview-of-lte-Handover>>. [consulta: 16 de octubre de 2021].
36. PNGWING. *Modulación de frecuencia de onda*. [en línea]. <<https://www.pngwing.com/es/free-png-iphbt>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
37. QUESADA, Fernando. *Comunicaciones espaciales*. [en línea]. <https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6099/mod_resource/content/1/tema7_2009.pdf>. [consulta: 10 de octubre de 2021].

38. RAMÍREZ de Prado. *Visión arquitectural de la tercera generación de móviles UMTS*. [en línea]. <<https://docplayer.es/96737234-Universidad-ricardo-palma-facultad-de-ingenieria.html>>. [consulta 26 de octubre 2021].
39. RESEARCH, Rysavy. *UMTS Multi-radio Network*. [en línea]. <<https://docplayer.es/96737234-Universidad-ricardo-palma-facultad-de-ingenieria.html>>. [consulta: 26 de octubre de 2021].
40. RODRÍGUEZ, Daniela. *John Logie Baird: biografía e inventos*. [en línea]. <<https://www.lifeder.com/john-logie-baird/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
41. SÁNCHEZ, Josefina. *¿Quién inventó el semáforo?* [en línea]. <<https://curiosfera-historia.com/quien-invento-el-semaforo/>>. [consulta: 25 de agosto de 2021].
42. SÁNCHEZ MAYA, Rosa Virgen. *Infraestructura de una red GSM*. [en línea]. <http://www.geocities.ws/rosa_virgen_sm/Comunicaciones/Tel_celular/INFRA_RED_GSM>. [consulta: 10 de octubre de 2021].
43. Teletopix. *Definición y efecto de reflexión, difracción, dispersión y múltiples rutas de propagación en Ingeniería de RF*. [en línea]. <<http://www.teletopix.org/wp-content/uploads/2013/01/adjacent-channelinterference.jpg>>. [consulta: 1 de octubre de 2021].
44. Universidad de Oviedo. *El Sistema UMTS*. [en línea]. <<http://isa.uniovi.es/domotica/Temas/T3/T3-UMTS.html>>. [consulta: 8 de septiembre de 2021].

45. YateBTS. *Propagation, Concepts*. [en línea].
<https://wiki.yatebts.com/index.php/Radio_Propagation_Concept>.
[consulta: 16 octubre de 2021].

46. YUNG, Marcel. *Interfaz de aire mobile network-canales y protocolos lógicos* [en línea]. <<https://conningtech.files.wordpress.com/2008/05/airinterfacechannels.gif>>. [consulta: 26 de octubre de 2021].