



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON**

Despliegue de red LTE en Región 1 para Movistar

REPORTE DE TRABAJO PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

P R E S E N T A:

ANA CAROLINA MEDINA GALINDO



**DIRECTOR DE TESIS:
INGENIERO JOEL GARCÍA ZÁRRAGA
2018**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo expresar mi agradecimiento a Dios nuestro señor por el don de la vida, por permitirme llegar a esta etapa y poder culminar este trabajo, por hacerme entender que lo mas importante en esta vida es vivir en su voluntad, y que el titulo más importante que podemos obtener es ser llamados hijos tuyos, por el significado del amor real y verdadero.

A mi mamá, que con la sabiduría de Dios me has enseñado a ser quien soy hoy. Gracias por tu paciencia, por enseñarme el camino de la vida, gracias por tus consejos, por el amor que me has dado y por tu apoyo incondicional. Gracias por llevarme en tus oraciones porque estoy seguro que siempre lo haces, por ayudarme a crecer, gracias por estar siempre conmigo en todo momento. Gracias por la paciencia que has tenido para enseñarme, por el amor que me das, por tus cuidados en el tiempo que hemos vivido juntas. Gracias Mamá por estar pendiente durante toda esta etapa.

A mi papá, por estar con nosotros y apoyarnos hasta donde pudiste, aunque ya no estés con nosotros sé que siempre estas pendiente, desde donde quiera que estés, gracias por compartir tu vida a nuestro lado y ser la persona que fuiste.

A mi esposo Marco, que sin su apoyo y confianza no hubiera sido posible culminar esta etapa, por su amor incondicional y gran ejemplo de vida que siempre me das.

A mis hijitos que aunque en este momento no entiendan mis palabras, pero para cuando sean capaces, quiero que sepan que son la razón de este esfuerzo y el amor que les tengo son mi principal motivación.

A mis hermanos, que con su amor me han enseñado a salir adelante. Gracias por su paciencia, gracias por preocuparse por su hermana mayor, gracias por compartir sus vidas, pero sobre todo, gracias por estar en otro momento tan importante en mi vida.

A Moisés Sánchez Rodríguez por la gran amistad, ya que sin el apoyo que me brindaste en la carrera no hubiera sido posible terminarla, por pasar a mi lado tantos momentos de mi vida universitaria y estar siempre en las buenas y en las malas, jamás lo olvidaré, tú me enseñaste el sentido de la palabra AMIGO.

Al Ing Joel García Zarraga, mi asesor en este trabajo que tanto me ha apoyado, que me ha dado su brindado su ayuda incondicional y me da un gran ejemplo de la virtud de servicio y profesionalismo con que se debe de vivir, espero siempre contar con su amistad.

A mis sinodales, gracias por darme la oportunidad y por el tiempo que han dedicado para leer este trabajo.

Gracias a todos aquellos que no están aquí, pero que me ayudaron a que este gran esfuerzo se volviera realidad.

Ana Carolina Medina Galindo

Febrero 2018

Justificación

La justificación de este trabajo es entregar detalles de la arquitectura de red LTE con el fin de describir los elementos funcionales de ella, así como las interfaces y protocolos. Una especial atención se dará a la integración de un equipo LTE de huawei, el cual puede instalarse utilizando gabinetes y líneas que utilizan actualmente la tecnología 3G, y para comprender mejor el funcionamiento de LTE nos adentraremos en el funcionamiento de una RED completa, no solamente el equipo que se instaló, sino que también de donde proviene la arquitectura del sistema, considerando la red de acceso y el núcleo de red utilizado por Telefónica Movistar, describiendo brevemente las conexiones, similitudes y diferencias con respecto al sistema de LTE. Finalmente se describen todos los pasos en la integración dentro de una central de telefonía, los procesos a seguir, y se hablara de las descripciones de los protocolos en la instalación.

Introducción

Las tecnologías inalámbricas están teniendo mucho auge y desarrollo en estos últimos años, una de las que ha tenido un gran desarrollo ha sido la telefonía celular, desde sus inicios a finales de los 70s ha revolucionado enormemente las actividades que realizamos diariamente. Los teléfonos celulares se han convertido en una herramienta primordial para la gente común y de negocios, las hace sentir más segura y las hace más productivas.

Aunque no nos hayamos dado cuenta, las ondas de radio, infrarrojos, microondas y ondas de sonido influyen en nuestro mundo de muchas maneras distintas y ninguna necesita hilos de cables. Ahora, la tecnología inalámbrica ha dado un paso más al proporcionar conexiones de datos entre dispositivos informáticos dentro de una red.

El simple hecho de ser humanos nos hace desenvolvernos en medios donde tenemos que estar comunicados. Por eso, la gran importancia de la transmisión y la recepción de información en la época actual, en donde las computadoras hacen parte de la cotidianidad es necesario establecer medios de comunicación eficaces entre ellas.

En un futuro no muy lejano se espera que las redes inalámbricas lleguen a remplazar a las redes cableadas. Estas ofrecen velocidades de transmisión mayores que las logradas con la tecnología inalámbrica. Mientras que las redes inalámbricas actuales ofrecen velocidades de 40 Mbps, las redes cableadas ofrecen velocidades de 60 Mbps y se espera que alcancen velocidades de hasta 100 Mbps. Los sistemas de cable de fibra Óptica logran velocidades aún mayores.

Sin embargo, se pueden mezclar las redes cableadas con las inalámbricas y de esta manera generar una nueva red llamada híbrida para que el sistema de cableado sea la parte principal y la inalámbrica le proporcione movilidad adicional al equipo: para que el operador se pueda desplazar con facilidad dentro de un almacén o una oficina. de pérdida de señal debido a que su arquitectura está diseñada para soportar paquetes de datos en lugar de comunicaciones de voz.

Actualmente, las transmisiones inalámbricas constituyen una eficaz y poderosa herramienta que permite la transferencia de voz, datos y video; sin la necesidad de utilizar cables para establecer la conexión. Esta transferencia de información es lograda a través de la emisión de ondas de radio, permitiendo tener dos grandes ventajas: la movilidad y la flexibilidad.

La telefonía móvil es un servicio en auge que cada día tiene más consumidores y más exigentes. Ya no basta con ofrecer un servicio de voz de calidad, sino que además el usuario medio reclama una conexión de banda ancha. Aquí es donde entra en juego el LTE, que como veremos puede ofrecer grandes ratios de carga y descarga.

El inconveniente desde el punto de vista de los operadores reside en que LTE es una red nueva e independiente de las dos actuales GSM y UMTS lo que implica el despliegue desde cero de una nueva red con la inversión que ello supone. Por este motivo los grandes fabricantes de equipos de telefonía móvil están desarrollando sus

productos hacia el conocido como SingleRAN que permitiría el despliegue de diferentes redes bajo un mismo hardware. Este es el caso de la BTS3900 de Huawei, que sin conseguir un SingleRAN completo sí que permite el uso compartido de la mayor parte del hardware.

Por otro lado las redes móviles de datos, particularmente las redes celulares, se han expandido desde su introducción en los años 90, hasta convertirse en el principal medio de acceso a servicios de telefonía y datos. Los requerimientos generados en el mercado global, tales como movilidad en redes de comunicaciones, y de acceso con banda ancha a contenido de multimedia y servicios, impulsaron el desarrollo de una tecnología móvil de alta capacidad, orientada a datos, conocida como Long Term Evolution (LTE).

LTE significa Long Term Evolution, es una tecnología para transmitir datos de forma inalámbrica. Actualmente, convive con CDMA y GSM, las tecnologías actuales, pero se espera que desplace a estándares anteriores como 2G y 3G, debido a la posibilidad de trabajar con tasas de datos muy superiores, ofreciendo verdadera velocidad. Hasta hace unos años el LTE era inviable, hoy en día la fabricación de circuitos integrados permite que se puedan instalar radiobases con soporte para LTE sin costes estratosféricos para los operadores.

En el ámbito sudamericano, los principales operadores móviles a nivel regional iniciaron desde el año 2012, la evolución de sus servicios introduciendo redes con tecnología LTE sobre sus redes existentes de GSM/WCDMA. El siguiente documento describe la solución tecnológica desplegada en la ciudad de Mexicali, la cual se introdujo a nivel nacional, como facilitador de acceso a banda ancha móvil, con el objeto de brindar servicios de mayor velocidad y menor latencia a través de la red comercial 4G LTE.

En este trabajo se presentará la integración de tecnología LTE en una central de Telefónica Movistar usando la tecnología del BTS3900, cubicándolo junto con tecnología 3G, y comprobando los resultados.

INDICE

Capítulo 1. Antecedentes de las Comunicaciones Móviles en México	1
Capítulo 2. Evolución hasta la 4ta Generación	4
2. Antecedentes.....	4
2.1 Resumen histórico de los sistemas inalámbricos.....	5
2.1.1 Primera invención inalámbrica.....	9
2.2 Las generaciones de la telefonía inalámbrica.....	11
2.2.1 La primera generación 1G.....	11
2.2.2 La segunda generación 2G.....	12
2.3 El sistema global.....	12
2.3.2 Arquitectura.....	12
2.3.3 Método de acceso	15
2.3.4 Características.....	16
2.4 Servicio de radio GPRS.....	17
2.4.1 Arquitectura.....	18
2.5 La generación 2.5G.....	20
2.5.1 Evolución.....	20
2.5.2 Antes de 3G	20
2.6 Tercera generación 3G.....	21
2.6.1 La Investigación sobre 3G.....	21
2.6.2 Interfaces.....	22
2.6.3 Sistema de telefonía UMTS.....	23
2.6.4 Acceso.....	24
2.6.5 Espectro Asignado.....	25
2.4 La cuarta generación 4G.....	29
2.4.1 Proceso de Estandarización.	29
2.5 3GPP.....	31

2.5.1 Tecnologías 3GPP.....	39
2.5.2 LTE Evolución del Sistema.....	43
2.5.3 Arquitectura del Sistema Evolucionado.....	44
Capítulo 3. Evolución hasta la 4ta Generación	47
3 Antecedentes	47
3.1 División de funciones entre RAN y CN	48
3.2 El Núcleo CORE	49
3.2.1 Arquitectura CN.	49
3.3.2 Núcleo de Red GSM utilizado por WCDMA/HSPA	50
3.3.3 MBMS, Multicast y Broadcast	51
3.3.4 Roaming	52
3.3.5 Control de Políticas y de Tarificación	53
3.3.6 El Núcleo de Red SAE: Evolved Packet Core	53
3.3.7 SAE Gateway	55
3.3.8 MME	56
3.3.9 S1 flex	56
3.3.10 Roaming	57
3.3.11 Control de Políticas y de Tarificación	58
3.3.12 WCDMA/HSPA conectado al Evolved Packet Core	58
3.4 Red de acceso	59
3.4.1 Arquitectura RAN.....	59
3.4.2 Red de Acceso Radio de WCDMA/HSPA.....	59
3.4.3 Red de Acceso Radio de LTE.....	63
3.4.4 Arquitectura de Protocolos de la Interfaz Radio.....	65
3.4.5 RLC: Radio Link Control.....	66
3.4.6 MAC: Medium Access Control.....	68
3.4.7 Canales Lógicos y de Transporte.....	68
3.4.8 Programación Downlink y Uplink.	70
3.4.9 HARQ.....	71
3.4.10 PHY: Physical Layer.....	72
3.4.11 Estados LTE.....	72

3.4.12 Flujo de datos.....	73
3.4.13 Interfaz Radio.....	74
3.4.14 QoS, Calidad de Servicio.....	75

Capítulo 4. Despliegue de la red LTE en la Región 1

4.1 Antecedentes.....	77
4.1.1 Desarrollo e implantación de LTE en el mundo	77
4.1.2 Despliegue de LTE en México.....	79
4.1.3 Procesos que se requieren para que un sistema inalámbrico móvil pueda salir al mercado en México.....	80
4.2 Posicionamiento de LTE.....	86
4.3 Diseño del esquema de direccionamiento IP para la red.....	88
4.3.1 Planeación y Diseño de la red aérea a utilizar.....	92
4.4 Planeación y Configuración de los Elementos en el Core.....	98
4.5 Descripción Técnica en la Instalación de Equipos enodeb WCDMA, Multiradio, huawei LTE.....	101
4.5.1 Revisión de Seguridad y prevención de riesgo en la instalación en sitio.....	101
4.5.2 Preparación de materiales y equipamiento.....	101
4.5.3 Manipulación de los módulos.....	102
4.5.4 Descripción BTS3900	103
4.5.5 Equipos Banda Base: BBU	103
4.5.6 WMPT (WCDMA Main Processes and Transmission Unit).....	105
4.5.7 WBBP (WCDMA Baseband Processing Unit).....	105
4.5.8 Tarjetas LTE	106
4.5.8.1 UMPT (Universal Main Processes and Transmission Unit).....	106
4.5.8.2 LBBP (LTE Baseband Processor Unit).....	107
4.5.9 Unidades de Radio Frecuencia.....	108
4.5.9.1 RRU (Radio Remote Unit).....	109
4.6 Descripción del escenario 2G/3G en la R1 Mexicali.....	111
4.6.1 Indoor Macro	111
4.6.2 Outdoor Macro.....	113
4.6.3 Indoor Distribuido	114
4.6.4 Outdoor Distribuido	115

4.6.5 Microceldas	115
4.7 Integración de tecnología LTE.....	116
4.7.1 Requisitos previos	116
4.7.2 Adecuaciones en el emplazamiento	118
4.7.2.1 Indoor Macro	119
4.7.2.2 BBU	119
4.7.2.3 Sistema RF	120
4.7.3 Outdoor Macro	123
4.7.3.1 BBU	123
4.7.3 Outdoor Macro	123
4.7.3.1 BBU	124
4.7.3.2 Sistema RF	125
4.7.4 Indoor Distribuido y Outdoor Distribuido.....	125
4.7.5 Adecuación del sistema radiante	126
4.7.6 Antenas	127
4.7.7 Diplexores y combinadores	129
4.8 Instalación hardware LTE	130
4.8.1 Comisionado UMPT	131
4.8.2 Actualización de Software y carga de licencia.....	132
4.8.3 Configuración RRU/RFU.....	133
4.8.4 Pruebas Pre-Activación.....	136
4.8.5 Pruebas durante activación.....	137
4.8.6 Pruebas Post-Activación.....	138
4.8.7 Posibles problemas durante la integración	143
4.8.7.1 El nuevo eNodeB no entra en gestión	144
4.8.7.2 Las celdas de LTE no se activan	145
4.8.7.3 El técnico no consigue conectarse a las nuevas celdas LTE	146
4.8.7.4 Las RFU/RRU de 1800MHz caen continuamente al activar las celdas de LTE	147

Indice de Figuras

Pagina

Figura 2.1 Diagrama en bloques de arquitectura de la red del sistema global.....	13
Figura 2.2 Arquitectura GPRS	18
Figura 2.3 Las 5 interfaces IMT-2000.....	23
Figura 2.4 Espectro de frecuencias asignado.....	26
Figura 2.5 Banda FDD conocida como WCDMA y TDD como TD-CDMA.....	27
Figura 2.6 Frecuencias asignadas alrededor de 2.6 GHz.....	28
Figura 2.7 Fases de estandarización y el proceso iterativo.....	29
Figura 2.8 Estructura del 3GPP.....	33
Figura 2.9 Releases del 3GPP.....	36
Figura 2.10 Interfaces Radio Terrestres IMT-2000.....	38
Figura 2.11 Rendimientos peak para el enlace ascendente y descendente.....	41
Figura 2.12 Crecimiento de abonados por décadas.....	42
Figura 2.13 Sistemas de la Evolución.....	43
Figura 2.14 Disposición de las celdas.....	45
Figura 2.15 Arquitectura 3G.....	45
Figura 2.16 Estrategia de despliegue HSPA y LTE.....	46
Figura 3.1 Núcleo de red (CN) y Red de acceso radio (RAN).....	47
Figura 3.2 Descripción simplificada del Core Network GSM y WCDMA/HSPA.....	50
Figura 3.3 Roaming en GSM y WCDMA/HSPA.....	52
Figura 3.4 Descripción simplificada del Core Network SAE de LTE.....	54
Figura 3.5 Elementos funcionales e interfaces del EPC.....	55
Figura 3.6 Función S1 flexibility.....	57
Figura 3.7 WCDMA/HSPA conectada con LTE/SAE.....	59
Figura 3.8 Topología de la red de transporte influyendo en la asignación de funciones.....	60
Figura 3.9 Red de acceso radio WCDMA/HSPA: nodos e interfaces.....	61
Figura 3.10 Roles de RNC.....	62
Figura 3.11 Red de acceso radio LTE: nodos e interfaces.....	64
Figura 3.12 Arquitectura de protocolo LTE.....	66
Figura 3.13 Segmentación y Concatenación RLC.....	67
Figura 3.14 Ejemplo de mapeado de los canales lógicos-transporte.....	70
Figura 3.15 Estados LTE.....	73
Figura 3.16 Flujos de datos LTE.....	74
Figura 3.17 División Funcional entre E-UTRAN y EPC.....	75
Figura 3.18 Arquitectura de Servicio de portador SAE.....	76
Figura 4.1 Impulso global de LTE.....	78
Figura 4.2 Tour móvil comercial de LTE.....	78
Figura 4.3 Mapa de la República Mexicana dividida en Regiones para la telefonía móvil.....	87
Figura 4.4 Mapas de la ciudad de Mexicali.....	93

Figura 4.5 Mapa del Mexicali con énfasis en su área metropolitana con proyección de los patrones de radiación idóneos.....	94
Figura 4.6 Proyección real de una propagación de la señal sobre una ciudad en los EEUU.....	95
Figura 4.7 Proyección pronosticada de una propagación de una antena direccional para el estándar LTE R9.....	96
Figura 4.8 Propagación de la señal con respecto al tilt que se esté aplicando.....	97
Figura 4.9 Modelo a detalle de una red LTE para una demostración de capacidad, siguiendo el patrón se puede generar una red comercial.....	99
Figura 4.10 “BBU3900 configurada para UMTS”, Huawei Technologies (2014), Recuperado de “3900 Series Base Station Product Documentation”.....	104
Figura 4.11. Esquema configuración UMTS.....	104
Figura 4.12 “WMPT”, Huawei Technologies (2014), Recuperado de “3900 Series Base Station Product Documentation”.....	105
Figura 4.13 “WBBP”, Huawei Technologies (2014), Recuperado de “3900 Series Base Station Product Documentation”.....	105
Figura 4.14 “UMPT”, Huawei Technologies (2014), Recuperado de “3900 Series Base Station Product Documentation”.....	106
Figura 4.15 “LBBP”, Huawei Technologies (2014), Recuperado de “3900 Series Base Station Product Documentation”.....	107
Figura 4.16 Esquema de situación de tarjetas comunes.....	108
Figura 4.17 “RRU3908”, Huawei Technologies (2014), Recuperado de “3900 Series Base Station Product Documentation”.....	110
Figura 4.18 Esquema BBU indoor macro.....	112
Figura 4.19 Disposición de RFU en Indoor Macro.....	112
Figura 4.20 “Cabinet APM30”, Huawei Technologies (2014), Recuperado de “3900 Series Base Station Product Documentation”.....	114
Figura 4.21 Prueba previa de ROE, se aprecia una RRU OK mientras otra excede el máximo.....	117
Figura 4.22 Medidas de RTWP previas.....	117
Figura 4.23 Ejemplo de BBU para Indoor Macro.....	119
Figura 4.24 BBU tras instalar UCIU y UBRI.....	120
Figura 4.25 Disposición de RFU en indoor macro.....	121
Figura 4.26 Disposición objetivo de las RFU en Indoor Macro.....	121
Figura 4.27 Prueba de ROE de 900MHz y 1800MHz.....	122
Figura 4.28 RTWP de una celda de U900.....	122
Figura 4.29 Disposición de RFU en Outdoor Macro.....	123
Figura 4.30 Disposición final de RFU en Outdoor Macro.....	124
Figura 4.31 Disposición BBU en Indoor Distribuido y Outdoor Distribuido.....	125
Figura 4.32 Ejemplo de escaneo de RET en un emplazamiento.....	129

Figura 4.33 Configuración nuevo eNodeB en U2000.....	129
Figura 4.34 BBU para LTE.....	130
Figura 4.35 Configuración nuevo eNodeB en U2000.....	131
Figura 4.36 eNodeB configurado sin gestión.....	132
Figura 4.37 eNodeB en gestión alarmado.....	132
Figura 4.38 Ventana del asistente de actualización.....	133
Figura 4.39 Asignación de RRU a chain.....	134
Figura 4.40 Asignación de RFU a chain.....	134
Figura 4.41 Asignación de chain a puerto de LBBP.....	134
Figura 4.42 Aspecto de un eNodeB en gestión y sin alarmas en U2000.....	134
Figura 4.43 Asignación RFU en DCS.....	136
Figura 4.44 Prueba de ROE correcta.....	136
Figura 4.45 Prueba de velocidad realizada a una celda LTE.....	138
Figura 4.46 KPI de CSFB de una celda LTE.....	139
Figura 4.47 Gráfico de RSSI en LTE.....	140
Figura 4.48 RSSI en LTE desigual en ambas tiradas que afecta a toda la banda.....	141
Figura 4.49 RSSI en LTE concentrado en una frecuencia.....	142
Figura 4.50 : KPIs básicos de una celda 2G.....	143
Figura 4.51 Ejemplo de un eNodeB sin alarmas Hardware.....	145
Figura 4.52 Comprobación de licencia.....	146
Figura 4.53 Comprobación de estado de celdas.....	146
Figura 4.54 Número de usuarios conectados a una celda LTE.....	147

Índice de Tablas

Página

Tabla 2.1 Resumen histórico.....	7
Tabla 2.2 Modificaciones para el servicio de radio.....	18
Tabla 2.3 Modificaciones para el servicio de radio.....	19
Tabla 2.4 Diferentes Aspectos Inalámbricos.....	28
Tabla 2.5 Características de las tecnologías 3GPP.....	40
Tabla 4.1 Fragmento del reglamento de radiocomunicaciones de la UIT de 2003 y del Cuadro Nacional de Atribución de frecuencias de México de 2007.....	83
Tabla 4.2 Propuesta de IP de los elementos de la red a donde se dirigirá el tráfico desde el eNodeB.....	89
Tabla 4.3 Direccionamiento IP.....	90
Tabla 4.4 Tipos de RRU.....	110

Capítulo 1

1. Antecedentes de las Comunicaciones Móviles en México

México, a través de los años comenzó a haber la necesidad de realizar investigaciones en las nuevas herramientas de las comunicaciones y de igual forma, buscar el regularlas, brindando con ello certeza a la evolución continúa en cuestión de Comunicaciones a la Nación.

Como parte del primer antecedente se tiene que, durante la segunda guerra mundial, en el año de 1942, se crea la Corporación México-Norteamericana, integrada por un grupo de compañía militar mexicana y dos grupos de asesores (uno por cada país), esto con el fin de integrar el Sistema de Defensa Antiaérea, dando con ello, el primer paso a la inclusión de las comunicaciones en México.

Para 1957, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes otorga su primera concesión y permiso a la empresa “Servicio Organizado Secretarial, S.A.” para instalar, operar y explotar los equipos radiotelefónicos fijos y móviles necesarios para proporcionar el servicio público de teléfonos a bordo de vehículos, utilizando para tal objeto la banda total de 132 a 144 M[Hz] en toda la República, misma que se detalla en su concesión y permiso.

En 1960, se crea la Comisión México-norteamericana, ya para el establecimiento y operación de la Estación Rastreadora de Satélites, misma que fue colocada en Sonora; con el objetivo principal del proyecto Mercurio y Géminis.

En conjunto, para septiembre de 1960, se crea la Comisión Nacional de Meteorología, para investigar, interpretar y difundir la formulación de pronósticos del tiempo. Como consecuencia de los sucesos que se vivían en aquellos años se establece la Comisión Nacional del Espacio Exterior en el año de 1962, he ahí donde las comunicaciones comienzan a tomar distintas direcciones según su aplicación.

Era el año de 1970, donde se construye el proyecto del Instituto Nacional de la Comunicación, que representa el primer esfuerzo formal por parte del gobierno mexicano en institucionalizar las acciones de investigación y desarrollo tecnológico.

En 1972 el Instituto Nacional de la Comunicación da origen al Centro de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones (CIDET), organismo dependiente de la Dirección General de Telecomunicaciones, que se propuso iniciar labores, entre otros campos, en técnicas digitales y computadoras; ya para 1975 realizó proyectos como Red Digital para Transmisión de Datos, Red Rural de Telecomunicaciones, Redes de Telecomunicaciones para Meteorología y Geofísica.

Fue hasta 1984 donde se le brinda una concesión a Radiomóvil Dipsa, S.A. de C.V., para construir, operar y explotar una red de servicio radiotelefónico móvil a bordo de vehículos en el área metropolitana de la Ciudad de México, generando así la primera competencia en la telefonía móvil.

Es transferido en 1985 el CIDET a la Dirección General de Desarrollo Tecnológico conllevando el cambio de las obligaciones y diligencias. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes encargó ese mismo año a una consultoría, la elaboración de un estudio, que bajo el título de Plan Director de la Investigación y Desarrollo Tecnológico de las Telecomunicaciones de México; mismo estudio dio como conclusión la necesidad de crear una institución de investigación, que como órgano descentralizado se dedicará a la promoción y coordinación del desarrollo tecnológico de productos, redes y servicios de telecomunicaciones. Por ello en 1987, inicia actividades el Instituto Mexicano de Comunicaciones (IMC), pero aún no contaba con presupuesto propio ni diligencias.

Como parte del proyecto sexenal y estructura presupuestal previsible para el periodo 1989 – 1994, se le brinda un presupuesto al IMC y le son transferidas todas las comisiones e infraestructura con la que contaba el CIDET, así como de la DGIDT.

De nueva cuenta, en el Plan de Desarrollo 1989-94, se establece la importancia de modernizar las telecomunicaciones para el desarrollo nacional y destaca la necesidad de diversificar los servicios, mejorar la calidad y ampliar la cobertura con mayor participación de particulares.

Son modificadas a finales de 1989 las concesiones existentes en telefonía móvil y se le permite ahora aprovechar la tecnología celular en dispositivos móviles, y establecen y definen las regiones de uso. En 1992 se constituyó e integró la Comisión Nacional de Normalización, y posteriormente en 1993 se establece al Comité Consultivo Nacional de Normalización de Comunicaciones y Tecnologías de la Información (CCNN-CTI).

Con el transcurso de los gobiernos y los problemas económicos, políticos y sociales vividos en forma nacional e internacional, se vuelve necesario un reordenamiento en la SCT, por lo que se decreta en 1995 la creación de la Comisión Federal de Telecomunicaciones en la Ley Federal de Telecomunicaciones, y para 1996, ya en funciones la COFETEL, se suprime el IMC.

Debido a los grandes avances en las tecnologías para la comunicación, se dividió al CCNN-CTI en dos grandes ramos, Comité Consultivo Nacional de Normalización de Radiodifusión, Telegrafía y Servicios Postales (CCNN-RTSP) y en el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones (CCNN-T), propuestos los cambios en 1997 y aprobados en 1998.

En 2011, la COFETEL bajo el reglamento que lo rige y la Ley Federal de Telecomunicaciones, crea al Consejo Consultivo de la COFETEL; como entidad para asesoramiento, comentario y opinión sobre la regulación y la administración del espectro y tecnologías nuevas en el ramo de las telecomunicaciones de forma permanente, siendo conformado por personas con experiencia en las telecomunicaciones y precedido por el consejero presidente de la COFETEL.

Capítulo 2. Evolución hasta la 4ta Generación

2. Antecedentes

Desde las primeras actividades experimentales con la comunicación por radio en el año 1890, el camino que ha avanzado la comunicación por radio móvil ha sido bastante extenso. Para comprender las complejidades que poseen la tecnología LTE móvil y los sistemas de comunicación actuales, es importante conocer como surgieron, así como también evaluar la evolución de los sistemas celulares, pasando de una costosa tecnología destinada a unos pocos individuos, a un sistema de comunicación móvil utilizado por casi la mitad de la población del mundo.

El desarrollo de las tecnologías móviles también ha cambiado, de ser un interés nacional o regional, a convertirse en una tarea mundial emprendida por organizaciones con normas en desarrollo como el 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Las cuales detectaron una gran necesidad en asegurar la competitividad del sistema 3G para el futuro, y así poder complacer a los usuarios que demandaban más calidad y mayor rapidez de servicio.

La tecnología LTE es la evolución del 3G y es o será (depende de los países) la más utilizada. LTE-advanced es compatible con dispositivos 4G pero no con los 3G. De hecho los móviles o tablets más avanzados verás que incorporan la llamada tecnología 4G LTE. Esta tecnología promete grandes ventajas para los usuarios sobre todo en lo relacionado a la velocidad de descarga y carga de datos, o lo que es lo mismo, transferencia de datos, pretende ser más segura y más optimizada ya que combina una serie de tecnologías que ofrecen un mejor servicio de rendimiento a los usuarios.

Son ya unos cuantos especialistas los que afirman que la tecnología LTE-Advanced es la clave para el despliegue masivo del internet móvil, cabe pensar que la LTE es la tecnología móvil por excelencia.

2. 1 Resumen histórico de los sistemas inalámbricos

Se destaca como ha sido la evolución de los sistemas inalámbricos desde sus comienzos, sus precursores, y muestra además cual es la tendencia actual y los desarrollos llevados a cabo hasta el momento.

Con el descubrimiento de la corriente eléctrica se crearon nuevas incógnitas sobre la acción eléctrica. Faraday en 1835, observó que la corriente eléctrica se propagaba como si existieran partículas discretas de electricidad, lo cual suponía un nuevo camino de investigación en esta área. Pero las investigaciones de Faraday no quedaron en el olvido, a treinta años de que Faraday las concluyó, James Clerck Maxwell traduce sus observaciones a lenguaje matemático y demuestra que los principios de la transmisión de ondas eléctricas a distancia eran posibles.

Samuel Morse, patentó desde 1837 el telégrafo, medio de comunicación que durante mucho tiempo fue el más rápido y aceptado en el mundo, pero era limitado por el tiempo y la eficiencia de cómo se tendía el cableado. Sin embargo, las investigaciones para mejorar las comunicaciones a pesar de la distancia seguían siendo de gran importancia para los científicos, y fue para 1869 que la idea de transmitir más que electricidad por medio del cableado telegráfico que se tenía en esa época, hizo que Elisa Gray y un socio fundaran la *Western Electronic Company*, para realizar investigaciones y tratar de transmitir voz. Sin embargo, Alexander Graham Bell logró perfeccionar esta idea antes, y patentó el teléfono logrando pronunciar la primera frase completa transmitida por cable. El sistema de comunicaciones sufre entonces un avance descomunal, las comunicaciones instantáneas que permitían la transmisión de voz hacían que con esto surgiera la incógnita de que la distancia pudiera dejar de ser un problema. La forma de comunicación actual comenzaba a vislumbrarse.

La postulación de las ondas electromagnéticas por James Cleck Maxwell durante el año de 1860 en Inglaterra y la demostración de la existencia de estas ondas por Heinrich Rudolf Hertz en 1880 en Inglaterra.

Debido al aumento de población y la demanda del servicio telefónico, en 1884 se abre la primera línea comercial entre Boston y New York. Un año después, la Unión Telegráfica Internacional prepara las primeras normas internacionales de telefonía y se funda la empresa norteamericana AT&T (*American Telephone and Telegrap*), matriz del sistema Bell. En tan sólo un año, dicha compañía, ya comenzaba a ofrecer el servicio privado de líneas telefónicas, y es la encargada de desarrollar por mucho tiempo los avances más importantes en telecomunicaciones.

Para 1888 Hertz emprende la tarea de hacer investigaciones sobre las ideas de Maxwell, logrando confirmarlas y dejando entrever la posibilidad de producir ondas eléctricas a distancia para después captarlas con los aparatos adecuados. De esta manera se hace la primera tentativa de radio comunicación por medio de ondas electromagnéticas y el primer resultado práctico del que había de surgir la totalidad de los experimentos que llevaron hasta el perfeccionamiento de la telefonía sin hilos. Logrando así que el descubrimiento de Hertz comprobara la existencia de las ondas electromagnéticas y sus propiedades análogas a las ondas luminosas, confirmando de esta forma la teoría de Maxwell.

La comunicación vía telefónica siguió en aumento, las investigaciones y descubrimientos orientados hacia ésta se incrementaban. En 1889, Almon B. Strowger inventa el conmutador automático de telefonía y en 1891, se patenta la primera central automatizada mecanizada con la cual se prescindía de la operadora para poder llevar a cabo las llamadas.

Durante 1890 eminentes científicos como Jagdish Chandra Bose de India, Oliver Lodge en Inglaterra y Augusto Righi de la Universidad de Bologna, se encargaron del estudio de los fundamentos naturales de las ondas electromagnéticas y la noción de la transmisión de información sin el uso de cables fue visto por nuestros ancestros como algo mágico.

Strowger crea la empresa SAEC (*Strowger Automatic Exchange Company*) y se convierte en la primera central telefónica que no utiliza operadoras para poder establecer las conexiones de las llamadas. El sistema inventado se instaló por primera vez en la ciudad norteamericana La Porte en 1893 y en los siguientes meses varias

ciudades siguieron su ejemplo. Pero, no sólo el teléfono recibía atención, gracias a las investigaciones realizadas en lo concerniente a las ondas electromagnéticas, para 1900 se inventa la radio modulada en amplitud y en diez años mas se inventa el tubo de vacío.

En 1896 la primera patente de comunicaciones inalámbricas fue concedida a Guglielmo Marconi en el Reino Unido. Desde aquel momento, entonces el número de desarrollos en el campo de las comunicaciones inalámbricas tomaron ese sitio.

En 1906, Reginald Fessenden logró crear la *Radiotelefonía*, al realizar la primera transmisión de la voz humana sin depender de los hilos y alcanzando un radio de 45 km. Sus aportaciones e investigaciones dieron origen al sistema «*dúplex*» de radiotelefonía y al método heterodino de recepción. Las aportaciones de Fessenden dieron fin a las comunicaciones interpersonales, para, una vez terminada la Primera Guerra Mundial, dar inicio a una etapa en la radiodifusión en la que ésta estuvo al alcance de miles de personas.

En 1980 comienza la era celular. Diferentes desarrollos y nuevas tecnologías tomaron lugar durante los años de 1990 al 2000

En la tabla 2.1 se hace el resumen histórico de los sistemas inalámbricos, la cual solo contiene comunicaciones inalámbricas en términos de tecnologías de radio y en tres diferentes eras.

ERA PIONERA	
1860	-Postulación de las ondas electromagnéticas por James Maxwell
1880	-Demostración de la existencia de las ondas electromagnéticas por Henry Rudolf Hertz.
1890	-Primera patente de los sistemas inalámbricos por Guglielmo Marconi.

1905	-Primera transmisión de voz y música vía enlace inalámbrico por Reginald Fessenden
1912	-Hundimiento del Titanic destacando la importancia de las comunicaciones inalámbricas sobre las vías marítimas, en los años siguientes la marina comenzó a establecer los radios de telegrafía.
ERA PPRECELULAR	
1921	-El departamento de la Policía de Detroit dirige maniobras militares con radios móviles.
1933	-En EEUU, existen 4 canales en los 30-40 Mhz.
1938	-En EEUU, se reglamenta el servicio regular.
1946	-Primer comercio de los sistemas de teléfonos móviles operados por el sistema Bell, en EEUU.
1948	-Primer comercio plenamente automático de teléfonos móviles en EEUU.
1950	-Los teléfonos y los enlaces de microondas son desarrollados.
1960	-Introducción de líneas interurbanas a los sistemas de radio con canales automáticos en EEUU.
1970	-Los sistemas de teléfonos móviles operan en muchas ciudades. Lo utilizaban 100 millones de vehículos.
ERA CELULAR	

1980	-Distribución de los sistemas celulares analógicos por el mundo
1990	-Distribución de los celulares digitales y modo de operación dual de los sistemas digitales.
2000	-Distribución de los servicios multimedia a través de FPLMTS, IMT-2000, UMTS
2010	-Ancho de banda para Comunicación inalámbrica que soporten redes B-ISDN y ATM
2010+	-Radio sobre fibra (así como micro celdas sobre fibra óptica)

Tabla 2.1 Resumen histórico

2.1.1 Primera invención inalámbrica

Durante la primera década del siglo veinte, la invención importante que empezó a transformar la comunicación inalámbrica primitiva de la era de los puntos y rayas, en la comunicación del mundo contemporáneo se debe a John Fleming, a quien puede considerarse el inventor de la válvula inalámbrica. Fleming descubrió que cuando se hacía pasar una corriente a través del filamento caliente de la bombilla de una lámpara, las cargas negativas -pero sólo las negativas- pasarían del filamento a una placa fría dentro de la bombilla. Esta característica, se advirtió pronto, podía utilizarse para hacer que las oscilaciones de las ondas radioeléctricas que estuvieran llegando a la antena se convirtieran en una corriente continua, una transformación más útil de la que podía proporcionar el cohesor, el detector magnético o el detector de cristal que para entonces se había convertido en una alternativa más.

Pero aun cuando la válvula pronto se volvió un detector más valioso que las ondas radioeléctricas, habría de recibir todavía mayor importancia con las contribuciones de

Lee de Forest, norteamericano experto en radio que eventualmente habría de lograr más de 300 patentes a su nombre. La más famosa de estas contribuciones fue convertir la válvula diodo de dos elementos de Fleming en la válvula tríodo. El tercer elemento consistía en una rejilla interpuesta entre el filamento caliente y la placa fría. Su importancia estribaba en que la carga puesta sobre la rejilla controlaba una corriente de electrones que pasaban del filamento a la placa; y, más significativamente, en que una variación de un potencial muy débil de la rejilla producía un flujo de electrones parecido pero que era mucho más fuerte. En otras palabras, la válvula tríodo podía usarse para amplificar una corriente débil hasta hacerla fuerte. Se descubrió además, unos años después de que se produjeran los primeros tríodos, que también podían utilizarse para la generación de corrientes.

A esta válvula se debe en gran medida la posibilidad de convertir en una realidad práctica la emisión del habla humana y de la música. En cuanto a la prioridad se refiere no podemos estar muy seguros, pero sí de que Reginald Fessenden, un físico canadiense-norteamericano, fue de los primeros en concebir la idea de usar una corriente continua de ondas radioeléctricas como onda portadora sobre la cual podía imponerse un patrón de ondas sonoras. Graham Bell ya había demostrado que las fluctuaciones de una onda sonora podían convertirse en una correspondiente corriente eléctrica fluctuante y de nuevo convertirse en habla al final de un cable.

Pero antes de la transmisión, la corriente de ondas se modulaba mediante una corriente eléctrica que fluctuaba según la voz humana subiera o bajara. Así, el patrón de onda que se transmitía era el de la onda portadora modulada en una forma que correspondía a las irregularidades de una onda sonora. En la estación receptora, la corriente fluctuante se correspondía, como lo haría de haber sido enviada por cable, con la voz humana original, y era, casi tan fácilmente, transformada de nuevo en ondas sonoras. Las primeras emisiones de Fessenden fueron repetidas posteriormente por De Forest con su nuevo tríodo y en 1910 transmitió la voz del famoso cantante Caruso, acontecimiento que hizo casi tanto por el futuro del radio como el inicio de los marconigramas.

El hecho de que el sonido de la extraordinaria voz de Caruso pudiera penetrar las estancias de hombres y mujeres a millas de distancia de la sala de conciertos carecía técnicamente de importancia, pero desde el punto de vista psicológico era muy

significativo. Las subidas y las bajadas de la voz humana habían sido enviadas sin alambres casi una década antes. Pero ahora, de pronto, las potencialidades de las porciones del radio del espectro electromagnético fueron evidentes. Ya no sólo voces sin alambres sino también ¡música sin alambres! De 1910 hasta la actualidad el progreso en la transmisión ha estado constituido en gran medida por avances técnicos que han refinado esta posibilidad. Transmisores más potentes han aumentado enormemente el área dentro de la cual pueden captarse sus transmisiones. Se han descubierto métodos para eliminar la interferencia crujiente de la atmósfera, las señales eléctricas naturales del universo. Pero quizá lo más importante sea que la cualidad auricular de la recepción del radio se ha perfeccionado inmensamente.

Según los analistas, el 60 por ciento de los productos electrónicos más importantes serán portátiles para el 2006 y muchos necesitarán conexiones con otros dispositivos. La nueva economía sin cables probablemente nos permitirá, con solo hacer click en un botón, tener disponibles nuestros historiales médicos y financieros. Pronto podremos elegir itinerarios y reservar viajes en tiempo real, ya en la carretera. Tendremos sistemas celulares que estarán conectados a Internet permanentemente, videoteléfonos móviles y vídeo conferencias móviles. La tecnología inalámbrica está revolucionando las telecomunicaciones y los nuevos dispositivos junto con la conectividad personal definirán un futuro sin cables.

Las tres categorías principales de tecnología inalámbrica son:

- Redes de área extensa – utilizadas para ofrecer servicio de telefonía móvil.
- Redes de área local o redes de área local sin cables – utilizadas para conectar entre sí a varios ordenadores en un ambiente de oficina.
- Redes de área personal – utilizadas para crear una conexión entre dos o más dispositivos portátiles sin necesidad de cables o conectores.

2.2 Las generaciones de la telefonía inalámbrica

2.2.1 La primera generación 1G

La 1G de la telefonía móvil hizo su aparición en 1979, se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, baja velocidad [2400 bauds], la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja capacidad [basadas en FDMA, Frequency Division Multiple Access] y la seguridad no existía. La tecnología predominante de esta generación es AMPS (Advanced Mobile Phone System).

2.2.2 La segunda generación 2G

La 2G arribó hasta 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y son los sistemas de telefonía celular usados en la actualidad. Las tecnologías predominantes son: GSM (Global System for Mobile Communications); IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136) y CDMA (Code Division Multiple Access) y PDC (Personal Digital Communications), éste último utilizado en Japón.

Los protocolos empleados en los sistemas 2G soportan velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS [Short Message Service]. La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de encriptación. En los Estados Unidos y otros países se le conoce a 2G como PCS (Personal Communications Services).

2.3 El sistema global

2.3.2 Arquitectura

El sistema global GSM (Global System Movil) forma una red móvil que esta constituida por tres elementos básicos: la terminal, la estación base y el subsistema de red o nudo. Adicionalmente existen centros de operación establecidos para las operadoras y para quienes monitorizan el estado de la red. En la figura 1 se muestra a un diagrama en bloques con los diferentes elementos que forman a la arquitectura de la red del sistema global.

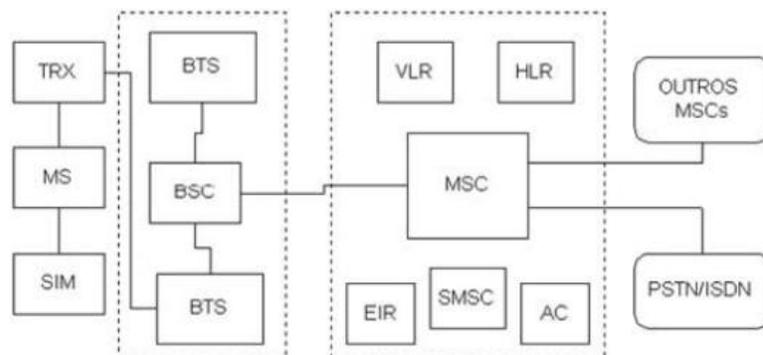


Figura 2.1. Diagrama en bloques de arquitectura de la red del sistema global.

En dicha figura aparecen los bloques siguientes:

BSS: Base Substation System (Sistema de Subestación de Base)

NS: Network Subsystem (Subsistema de Red)

TRX: Transceiver (Transrecibidor)

EIR: Equipment Identity Register (Registro de Identificación del Equipo)

MS: Mobile Station (Estación Móvil)

AC: Authentication Center (Central de Autenticación)

SIM: Subscriber Identity Module (Módulo de Identificación de Suscriptor)

HLR: Home Location Register (Registro de Localización de Llamada)

BTS: Base Transceiver Station (Estación Transrecibidora de Base)

BSC: Base Station Controller (Estación Base de Control)

MSC: Mobile services Switching Center (Central Intercambiadora de Servicios Móviles)

VLR: Visitor Location Register (Registro de Localización del Visitante)

ISDN: Integrated Services Digital Network (Red Digital de Servicios Integrados)

PSTN: Public Switched Telephone Network (Red Telefónica Analógica Pública)

SMSC: Short Message System Center (Central de Sistema de Mensajes Cortos)

El SIM es utilizado para identificar al usuario dentro de la red y confiere movilidad personal al usuario de la tarjeta, permitiéndole acceder a los servicios de la red independientemente del teléfono móvil que use o su localización. Puede ser protegido contra uso indebido a través de un código llamado PIN que hay que marcar cada vez que se conecta el teléfono móvil con el SIM.

La BSS controla la conexión radio entre el teléfono móvil y la red y es también conocida por célula, ya que cubre una determinada área geográfica. Esta compuesta por varios elementos BTS y BSC.

Las BTS albergan el equipo TRX y gestionan los protocolos de radio con el terminal móvil. En áreas urbanas existen más BTS que en zonas rurales y en algunos casos con características físicas o geográficas particulares (como por ejemplo, túneles) son colocados retransmisores para garantizar el servicio. Cada estación utiliza técnicas digitales para permitir que varios usuarios se ligan a la red, así como para permitir que hagan y reciban llamadas simultáneamente. Esta gestión se denomina de multiplexing.

El BSC administra los recursos de radio de una o más BTS. Entre sus funciones se incluyen el movimiento que ocurre cuando el teléfono móvil cambia de una célula para otra (handoff) permitiendo que la ligación se mantenga, el establecimiento de los canales de radio utilizados y los cambios de frecuencias.

El MSC es el centro de la red, a través de él es hecha la ligación entre una llamada realizada de un móvil hacia las otras redes fijas o móviles. El nudo en el que se encuentra posee además una serie de equipos destinados a controlar varias funciones, como el cobro del servicio, la seguridad y el envío de mensajes.

El HLR contiene toda la información administrativa sobre el cliente del servicio y la localización actual del terminal. Con él la red verifica si un móvil que se intenta ligar posee un contrato de servicio válido. Si la respuesta es afirmativa el MSC envía un mensaje de vuelta al terminal informándole que está autorizado a utilizar la red. El nombre de la operadora aparece entonces en pantalla, informando que se puede efectuar y recibir llamadas. Cuando el MSC recibe una llamada destinada a un móvil él va al HLR a verificar la localización. Paralelamente, el terminal de tiempos a tiempos envía un mensaje para la red, para informarla del sitio donde se encuentra.

El VLR es utilizado para controlar el tipo de conexiones que un terminal puede hacer. Por ejemplo, si un utilizador posee restricciones en las llamadas internacionales, el VLR impide que estas sean hechas bloqueándolas y enviando un mensaje de vuelta al teléfono móvil informando.

El EIR y el AC son utilizados para garantizar la seguridad del sistema. El EIR posee una lista de IMEI de terminales que han sido declarados como robados o que no son compatibles con la red GSM. Si el teléfono móvil está en esa lista negra, el EIR no permite que se conecte a la red. Dentro del AC hay una copia del código de seguridad del SIM. Cuando ocurre la autorización el AC genera un número aleatorio que es enviado para el móvil. Los dos aparatos, de seguida, utilizan ese número, junto al código del SIM y un algoritmo de encriptación denominado A3, para crear otro número que es enviado de nuevo para el AC. Si el número enviado por el terminal es igual al calculado por el AC, el utilizador es autorizado a usar la red.

El SMSC es responsable por generar los mensajes cortos de texto. Otros equipos utilizados en la red pueden adjuntar el recaudo de llamadas, la conexión a Internet, la caja de mensajes de voz, etc.

2.3.3 Método de acceso

El sistema GSM 900 utiliza dos rangos de frecuencias en la banda de los 900 MHz, el primero de 890 a 915 MHz que es utilizado para las transmisiones de la terminal y el segundo de 935 a 960MHz para las transmisiones de la red.

El método de acceso utilizado por el sistema es una combinación de dos tecnologías: el división de tiempo TDMA (Time Division Multiple Access) y el división de frecuencia FDMA (Frequency Division Multiple Access). El FDMA divide los 25 MHz disponibles de frecuencia en 124 canales con una anchura de 200 kHz y una capacidad de transmisión de datos de alrededor 270 Kbps. Una o más de estas frecuencias es atribuida a cada estación base y dividida de nuevo en cuestión de tiempo, utilizando el TDMA, en ocho espacios de tiempo (time slots). El terminal utiliza un espacio para recepción y otro para emisión. Ellos están separados temporalmente para que el móvil no reciba y transmita

al mismo tiempo. La voz es codificada de una forma digital para que los errores en la transmisión puedan ser detectados y corregidos. Luego es enviada en espacios, cada uno con una duración de 577 milisegundos y una capacidad de 116 bits codificados. Cada terminal posee una agilidad de frecuencia, pudiendo desplazarse entre los timeslots utilizados para el envío, recepción y control dentro de un frame completo. Asimismo, un teléfono móvil verifica otros canales para determinar si la señal es más fuerte y cambiar la transmisión para los mismos, si la respuesta es afirmativa.

2.3.4 Características

El sistema GSM posee una serie de funcionalidades, que pueden ser implementadas por los operadores en sus redes y las diferentes características incluyen:

- Posibilidad de usar la terminal y la tarjeta SIM en redes GSM de otros países (roaming).
- Servicio de mensajes cortos para que puedan ser enviados y recibidos mensajes con hasta 126 caracteres.
- Reenvío de llamadas para otro teléfono celular.
- Transmisión, recepción de datos y fax con velocidades de hasta 9.6 Kbps.
- Difusión celular
- Mensajes con hasta 93 caracteres que pueden ser enviados para todos los teléfonos móviles en un área geográfica. Los mensajes son recibidos cuando el terminal no está siendo utilizado y pueden ser recibidos cada dos minutos.
- Identificación de llamada CLIP (Calling Line Identification Presentation) permite ver en pantalla el número que está llamando.
- Llamada anónima CLIR (Calling Line Identification Restriction) impide que el número llamante sea visto.
- Posibilidad de visualización de crédito / costos.
- Grupos restringidos de utilizadores - permiten que los teléfonos registrados en los grupos sean utilizados con extensiones de otro teléfono o cuenta.
- Ligaciones sin estática.

- Notificación de llamadas en espera, cuando estamos hablando por teléfono.
- Posibilidad de colocar una llamada en espera, mientras se coge otra.
- Las llamadas son encriptadas, lo que impide que sean escuchadas por otros.
- Posibilidad de impedir la recepción / transmisión de ciertas llamadas.
- Llamadas de emergencia con el número 112, puede ser siempre marcado en cualquier red.
- Posibilidad de varios usuarios hablando entre si al mismo tiempo, con el servicio de conferencia

2.4 Servicio de radio GPRS

Este servicio se llama GPRS (General Packet Radio Services) y es una nueva tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red GSM utilizando una transmisión de datos por medio de paquetes. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz. En GSM, cuando se realiza una llamada se asigna un canal de comunicación al usuario, que permanecerá asignado aunque no se envíen datos.

En GPRS los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente, de modo que un usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo datos. Para utilizar GPRS se precisa un teléfono que soporte esta tecnología y la mayoría de estos terminales soportarán también GSM, por lo que podrá realizar sus llamadas de voz utilizando la red GSM de modo habitual y sus llamadas de datos (conexión a Internet) tanto con GSM como con GPRS. La tecnología GPRS representa un paso más hacia los sistemas inalámbricos de tercera generación. Su principal ventaja radica en la posibilidad de disponer de un terminal permanentemente conectado, tarifando únicamente por el volumen de datos transferidos (enviados y recibidos) y no por el tiempo de conexión.

Tradicionalmente la transmisión de datos inalámbrica se ha venido realizando utilizando un canal dedicado GSM a una velocidad máxima de 9.6 Kbps y con el GPRS no sólo la

velocidad retransmisión de datos se ve aumentada hasta un mínimo 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps por comunicación; sino que además la tecnología utilizada permite compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red. La tecnología GPRS permite proporcionar servicios de transmisión de datos de una forma más eficiente a como se venía haciendo hasta el momento.

2.4.1 Arquitectura

La implantación del GPRS en una red GSM presenta la arquitectura que se muestra en la figura 2.2.

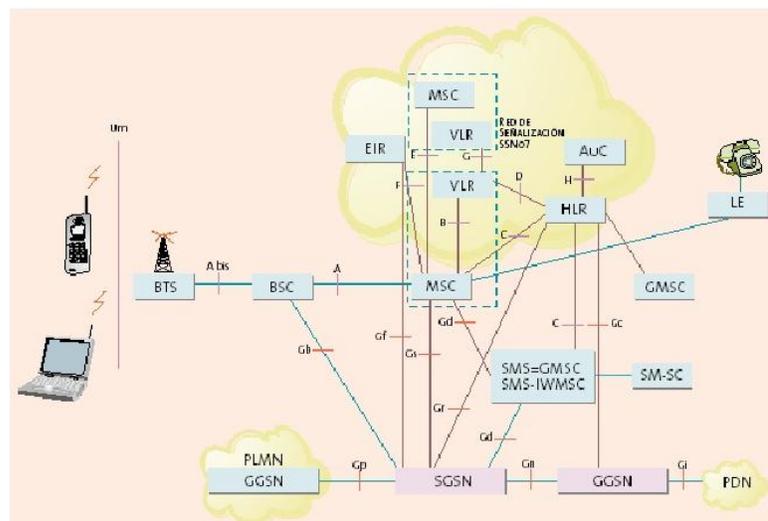


Figura 2.2 Arquitectura GPRS

Las principales modificaciones en una red GSM, específicamente en la estación móvil para que pueda soportar el servicio de radio se muestran en la tabla 1.2. Las modificaciones de los otros componentes se hacen por programación.

Estación Móvil	Serán necesarias estaciones nuevas
BTS	Actualización de software, posible aumento de la

	capacidad por la activación de más canales para soportar un aumento del tráfico en la célula.
BSC	Actualización de software e introducción de un nuevo hardware o Packet Control Unir (PCU) responsable por separar el tráfico conmutado a circuito proveniente de la Estación móvil del tráfico de datos conmutado a paquetes del GPRS.

Tabla 2.2 Modificaciones para el servicio de radio

Los nuevos elementos o nodos de soporte que serán introducidos para formar la red GPRS son los siguientes:

El nodo SGSN (Servin GPRS Suporta Nodo) cuya principal responsabilidad es mantener la conexión lógica de los usuarios móviles cuando ellos pasan del área de cobertura de una célula para otra (handover).

El nodo GGSN (Gateway GPRS Support Node) que permite la conexión con el Internet y otras redes de datos.

Estación Móvil	Serán necesarias estaciones nuevas
BTS	Actualización de software, posible aumento de la capacidad por la activación de más canales para soportar un aumento del tráfico en la célula.
BSC	Actualización de software e introducción de un nuevo hardware o Packet Control Unir (PCU) responsable por separar el tráfico conmutado a circuito proveniente de la Estación móvil del tráfico de datos conmutado a paquetes del GPRS.

Tabla 2.3 Modificaciones para el servicio de radio

2.5 La generación 2.5G

Muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones (carriers) se moverán a las redes 2.5G antes de entrar masivamente a 3G. La tecnología 2.5G es más rápida y más económica para actualizar a 3G.

La generación 2.5G ofrece características extendidas para ofrecer capacidades adicionales que los sistemas 2G tales como GPRS (General Packet Radio System), HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution), IS-136B, IS-95B, entre otros. Los carriers europeos y de Estados Unidos se moverán a 2.5G en el 2001. Mientras que Japón ira directo de 2G a 3G también en el 2001.

Los nuevos elementos o nodos de soporte que serán introducidos para formar la red GPRS son los siguientes:

El nodo SGSN (Servin GPRS Suporta Nodo) cuya principal responsabilidad es mantener la conexión lógica de los usuarios móviles cuando ellos pasan del área de cobertura de una célula para otra (handover).

El nodo GGSN (Gateway GPRS Support Node) que permite la conexión con el Internet y otras redes de datos.

2.5.1 Evolución

El EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution) representa una fácil evolución del padrón GSM/GPRS rumbo a la tercera generación, posibilitándole a la operadora ofrecer mayores tasas de datos y usando la misma frecuencia portadora de 200 KHz; Crea un ambiente para que la operadora atienda a la demanda por servicios más

sofisticados, lo que ha mejorado los ingresos medios por usuario, sin la necesidad de inversiones adicionales en nuevos rangos de frecuencia.

El EDGE está relacionado al aumento de la capacidad de transmisión de la interfase aérea en el estándar GSM actual. La idea principal es adicionar nuevas características en la red GSM manteniendo compatibilidad con los teléfonos celulares GSM /GPRS y con los equipos de la red, los cuales continúan operando con solo actualizar su software. Además del cambio de la placa PCU por una placa EPCU en la BSC que también sufre actualizaciones de software.

2.6 Tercera generación 3G

2.6.1 La Investigación sobre 3G

En paralelo con el amplio despliegue y evolución de sistemas de comunicación móvil 2G en el año 1990, fueron puestos grandes esfuerzos en las actividades sobre investigación de 3G.

En Europa, la Comisión de la Unión Europea (EU) financia principalmente el programa llamado Investigación y Desarrollo en Tecnologías avanzadas de las Comunicaciones en Europa (RACE), llevando a cabo la primera fase de la investigación inicial en donde 3G fue nombrada como Sistema Universal de Comunicaciones Móviles (UMTS).

En la segunda fase de RACE, el proyecto CODIT (*Code Division Testbed*) y el proyecto ATDMA (*Advanced TDMA Mobile Access*) fueron desarrollados como conceptos basados en tecnologías *Wideband* CDMA (WCDMA) y *Wideband* TDMA.

La siguiente fase en relación con la investigación europea fue el ACTS (Tecnología y Servicios de Comunicación Avanzados), que llevó a cabo el proyecto *Future Radio Wideband Multiple Access System* (FRAMES), que fue el único en trabajar con la componente terrestre de la interfaz radio de UMTS. La definición del esquema de acceso múltiple original de FRAMES (FMA), satisfacía los requerimientos que debía

cumplir para los sistemas de radio móvil terrestre de 3G. El FRAMES se completó en el año 1996, en base a decisiones en diferentes partes del mundo, y además combinó tecnología WCDMA y TDMA de banda ancha, con o sin esparcimiento.

Al mismo tiempo, en otras partes del mundo también ocurren actividades de investigación 3G. En Japón, la Asociación de Industrias de Radio y Negocios (ARIB) estaba en el proceso de definición de una tecnología de comunicación inalámbrica 3G basado en WCDMA. Corea también comenzó a trabajar en WCDMA en ese momento, y en EE.UU. se desarrolló como concepto llamado WIMS (*WWW Interactive Multipurpose Server*).

La estandarización de WCDMA fue desarrollada en paralelo en la ETSI y la ARIB a fines del año 1998. Con esto se mantuvo un despliegue paralelo de las especificaciones en diversas regiones, llegando a la organización actual de los socios de 3GPP que son ARIB, CCSA, ETSI, ATIS, TTA y TTC.

2.6.2 Interfaces

La Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU (International Telecommunication Unit) en cooperación con otros organismos de la industria de telecomunicaciones de todo el mundo, es quien define y aprueba los requisitos técnicos y los estándares, así como la utilización del espectro radioeléctrico, de los sistemas de tercera generación 3G bajo el programa llamado IMT-2000 (International MobileTelecommunications-2000). El propósito final es facilitar la introducción de nuevas funcionalidades y proporcionar una evolución continua desde los sistemas de telecomunicaciones de segunda generación 2G hacia la 3G. La ITU exige a las redes 3G, entre otros requisitos que proporcionen mayor capacidad de sistema y una mayor eficiencia espectral con respecto a los sistemas 2G, que soporten servicios de transmisión de datos con una velocidad mínima de transmisión de 144 kbit/s en entornos móviles y de 2 Mbit/s en entornos fijos. Basándose en estos requisitos, la ITU aprobó en el año 1999 cinco interfaces de radio para la familia de estándares de IMT-2000 y como parte de la recomendación ITU-R M.1457, según se puede ver en la figura 1.5.

Las cinco tecnologías que componen la familia IMT-2000 son:

- a) El sistema IMT-DS (IMT-Direct Sequence). Es ampliamente conocido como UMTS-TRA- FDD (UMTS-Terrestrial Radio Access-FDD) o como WCDMA.
- b) El sistema IMT-MC (IMT-Multi Carrier). Este sistema es la versión 3G del sistema IS-95 también conocido como CDMA One.
- c) El sistema IMT-TC (IMT-Time Code). Se trata del modo UTRA que utiliza la multiplexación por división en el tiempo.
- d) El sistema IMT-SC (IMT-Single Carrier). Esencialmente se trata de una manifestación particularizada de GSM en su fase 2+, conocido como EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution).
- e) El sistema IMT-FT (IMT-Frequency Time). Este sistema se conoce como DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications).

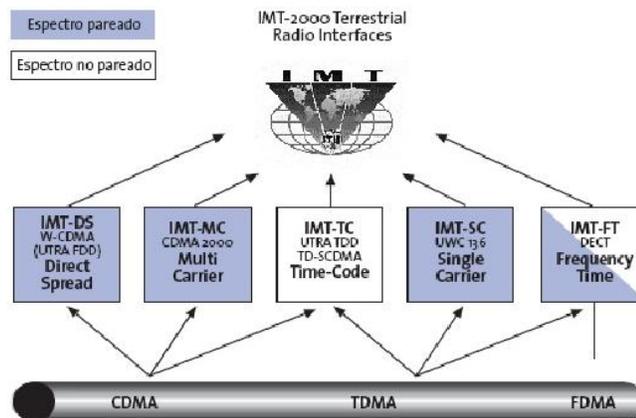


Figura 2.3 Las 5 interfaces IMT-2000

2.6.3 Sistema de telefonía UMTS

La 3G emplea el sistema de telefonía móvil llamado UMTS (Universal Mobile Telephone Service) que fue desarrollado por el instituto ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Este sistema permite transferencias de hasta 2Mbps (Hoy en día transmitir 2 MB de vídeo por medio de la red GSM toma media hora, mientras que con el sistema UMTS tan sólo 8 segundos), haciendo posible, en un futuro

la video conferencia desde un teléfono móvil. UMTS cuenta con el apoyo de la mayoría de los operadores de telecomunicaciones y empresas, porque representa una oportunidad única para crear un mercado masivo altamente personalizado y con un acceso fácil a la información.

UMTS busca desarrollar y extender la capacidad de los móviles de hoy, proporcionando mayor capacidad en la transferencia de datos y ampliando la capacidad de servicios; está concebido como un sistema global que unifica e integra los componentes terrestres y vía satélite, y permitirá el servicio de roaming con otras redes o con sistemas controlados por el mismo operador o con otros sistemas GSM o con 3G de otros operadores, incluyendo satélites compatibles con UMTS. Los medios técnicos para poner en marcha UMTS son hoy en día una realidad. Solo queda hacer disponibles las bandas de radio frecuencia por medio de las licencias UMTS para permitir a los operadores desarrollar una red de servicios UMTS, la cual es el sistema de telecomunicaciones móviles de tercera generación que evoluciona desde GSM, pasando por GPRS hasta que UMTS sea una realidad y tenga un papel principal en las telecomunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad y que alcanzarán a 2000 millones de usuarios en todo el mundo en el año 2010.

2.6.4 Acceso

El principal avance de 3G es su tecnología de acceso WCDMA (Wide Code Division Multiple Access) heredada de la tecnología militar, a diferencia de GSM y GPRS que utilizan una mezcla de FDMA (Frequency Division Multiple Access) y TDMA (Time Division Multiple Access). La principal ventaja de WCDMA consiste en que la señal se expande en frecuencia gracias a un código de ensanchado que sólo conocen el emisor y el receptor (véase espectro ensanchado). Esta forma original de acceso tiene las siguientes ventajas:

- Altas velocidades de transmisión de hasta 2 Mbps, al usar todo el espectro.

- Alta seguridad y confidencialidad debido a la utilización de técnicas que permiten acercarse a la capacidad máxima del canal. (Como por ejemplo: codificadores convolucionales).
- Acceso múltiple de eficacia máxima mientras no coincidan las secuencias de saltos.
- Alta resistencia a las interferencias.
- Posibilidad de trabajar con dos antenas simultáneamente debido a que siempre se usa todo el espectro y lo importante es la secuencia de salto, lo que facilita el proceso de traspaso de la señal de una antena a otra (handover), donde GSM falla mucho.
- Ofrece otra serie de ventajas como roaming y cobertura a nivel mundial ya sea vía enlace radio terrestre o vía satélite, y está altamente estandarizado con una interfaz única para cualquier red.

2.6.5 Espectro Asignado

El trabajo en el desarrollo del espectro de los sistemas móviles 3G, comenzó cuando la Conferencia Mundial de Radio (CMR) de la UIT en el año 1992, identificó las frecuencias que estaban disponibles para su utilización en futuras IMT-2000, alrededor de los 2 GHz. El objetivo 3G original es una única y global interfaz aire de IMT-2000. En la práctica, los sistemas 3G están más cerca de este objetivo que cuando eran 2G, ya que WCDMA ha resultado ser la más dominante del estándar IMT-2000 dentro del despliegue comercial.

La mayoría de los desarrollos de WCDMA han sido especificados en el espectro para 3G, que identifica las bandas de frecuencias 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz (ver Figura 1.5), como destinadas a ser utilizadas por las administraciones nacionales que deseen aplicar las IMT- 2000.

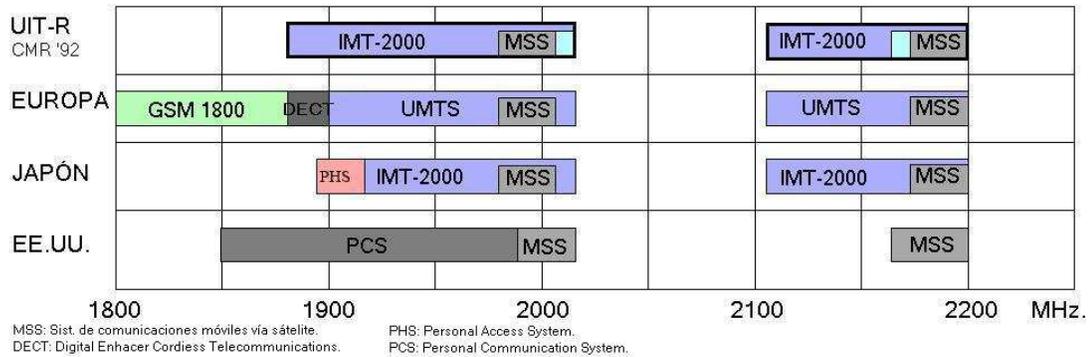


Figura 2.4 Espectro de frecuencias asignado.

La resolución, algo disconforme entre las regiones de las bandas de frecuencia asignado para 3G, significa que no hay una banda única que pueda ser utilizada para la itinerancia 3G en todo el mundo. Grandes esfuerzos, sin embargo, se han puesto en la definición de un pequeño conjunto de bandas, que pueden ser utilizadas para facilitar la itinerancia y así los dispositivos multi-banda pueden prestar una mayor eficiencia a este tipo de servicio mundial.

Un espectro adicional para las IMT-2000 fue identificado en la Conferencia Mundial de Radio del año 2000 (CMR-2000), donde se consideró la necesidad de adicionar 160 MHz de espectro, esto fue previsto por la UIT-R. Además se estableció que WCDMA se desplegaría en las bandas existentes de frecuencia 2G identificadas por las IMT-2000 y que son utilizadas actualmente por GSM. Este enfoque se denomina reorganización, el cual ayudó en parte en el despliegue de WCDMA en los EE.UU., en las bandas celulares existentes en 850 MHz y de la banda PCS en los 1900 MHz, ya que no hubo nuevas frecuencias disponibles para este despliegue. También esta reorganización WCDMA en bandas GSM ha comenzado en Europa y en Asia.

Los acuerdos de frecuencia en todo el mundo se describen en la recomendación UIT-R M.1036, en ella se pueden identificar que partes del espectro de frecuencia son bandas emparejadas (*paired bands*) y cuales son bandas no emparejadas (*unpaired bands*). Para el espectro de bandas emparejadas, las bandas de frecuencia de enlace ascendente y descendente, se identifican por el manejo de División de Frecuencia Duplex (FDD). Las bandas no emparejadas, por ejemplo, pueden utilizar División de

Tiempo Duplex (TDD). Hay que tener en cuenta que la banda con mayor despliegue global 3G sigue siendo la de 2 GHz.

El 3GPP definió por primera vez los 2 GHz en el UTRA Rel-99, con las bandas de frecuencia para UTRA FDD y UTRA TDD (ver Figura 1.6).

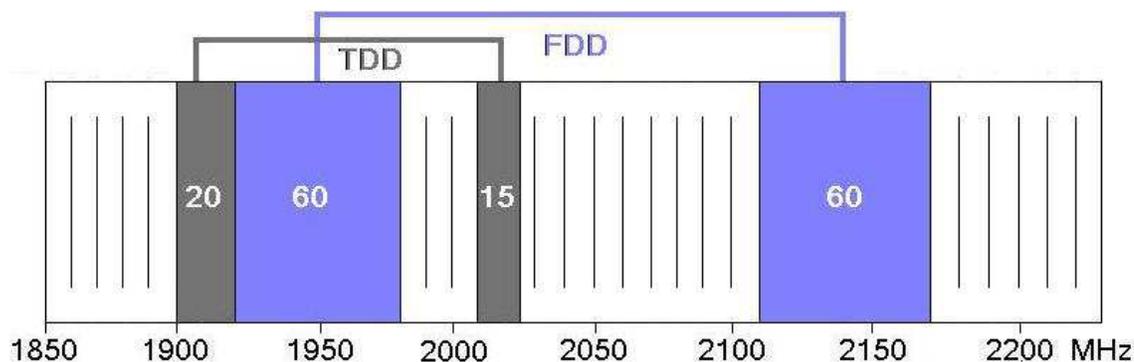


Figura 2.5 Banda FDD conocida como WCDMA y TDD como TD-CDMA.

FDD se usa en las componentes emparejadas de la banda IMT-2000, de las cuales, la bandas 1920-1980 MHz representan el enlace ascendente y 2110-2170 MHz el descendente. TDD se usa en las componentes no emparejadas ocupando las frecuencias de 1900 MHz a 1920 MHz y 2010 MHz a 2025 MHz. Esto da una disponibilidad de 60+60 MHz para FDD con 12 portadoras y de 15+20 MHz para TDD con 7 portadoras.

La nueva banda IMT-2000 (ver Figura 1.7) esta alrededor de 2.6 GHz con un total de 190 MHz del espectro, que son disponibles para el despliegue de las IMT-2000 y otros sistemas móviles. En Europa, el espectro incluye 2+70 MHz para los sistemas FDD y 50 MHz de espacio vacío en el medio que puede ser utilizado, por ejemplo, para TDD. El mismo espectro de 2.6 GHz también esta disponible para el uso de móviles, incluyendo IMT-2000 en los EE.UU.

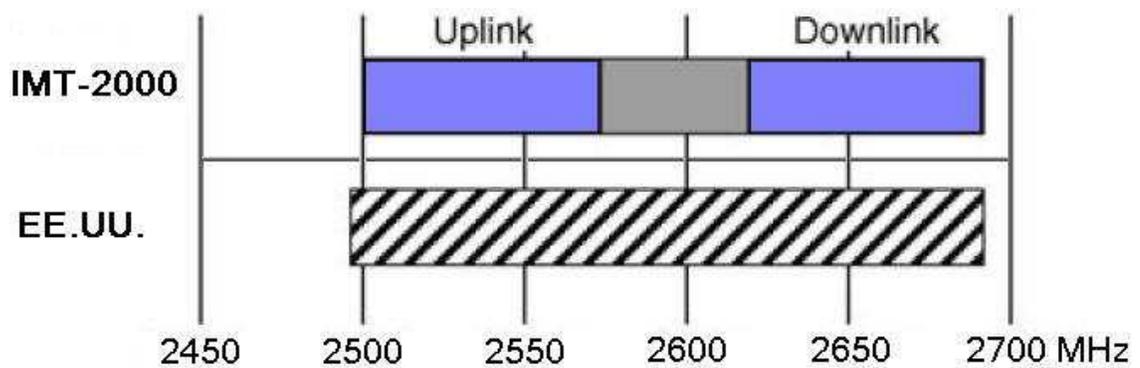


Figura 2.6 Frecuencias asignadas alrededor de 2.6 GHz.

La IMT 2000 posee un grupo de interfaces radioeléctricas con el objetivo de evolucionar 3G, en donde se destacan TDMA, CDMA y OFDMA. Cada uno de estos grupos trabaja con sus propias técnicas para mejorar su anterior servicio. Todo esto está estandarizado por los organismos de especificación 3GPP y 3GPP2. Además el IEEE también se ha manifestado dentro del servicio móvil, evolucionando sus redes inalámbricas a través del comité IEEE 802. Según las diferentes interfaces radio podemos agrupar las tecnologías móviles como se ve en la Tabla 2.1.

Interfaz radio	Tecnologías	Comentario
TDMA	GSM, GPRS, EDGE, TIA/EIA-136 TDMA	Primer aspecto digital celular. Gran éxito en la telefonía GSM. Nuevas mejoras para el diseño de GSM/EDGE.
CDMA	CDMA2000 1xRTT, CDMA2000 EV-DO, WCDMA, HSPA, HSPA+, IEEE 802.11b	Base para casi todas las nuevas redes 3G. Maduro, eficiente, dominando la amplia área de sistemas inalámbricos para el resto de esta década.
OFDM / OFDMA	IEEE 802.16/WiMAX, 3GPP LTE, IEEE 802.11a/g/n, IEEE 802.20, 3GPP2 UMB	Eficiencia para sistemas de emisión, mayor ancho de banda y alta velocidad de transmisión de datos. También ofrece flexibilidad en la cantidad de espectro utilizado. Muy adecuado para sistemas previsto para la próxima década.

Tabla 2.4 Diferentes Aspectos Inalámbricos

2.4 La cuarta generación 4G

La cuarta generación es un proyecto a largo plazo que será 50 veces más rápida en velocidad que la tercer generación. Se comenzaron hacer pruebas de esta tecnología en el 2005 y a comercializar la mayoría de los servicios en el 2010.

2.4.1 Proceso de Estandarización.

Establecer un estándar para comunicaciones móviles no es una tarea simple, ésta debe seguir un continuado proceso. Los foros de estandarización están en constante cambio de sus estándares, para tratar de satisfacer las nuevas demandas de servicios y funciones. Este proceso es diferente en los distintos foros, pero incluye las cuatro fases que se ilustran en la Figura 2.7:

1. Requisitos, donde se decide lo que se debe lograr con el estándar.
2. Arquitectura, donde son decididos los principales bloques de construcción y las interfaces.
3. Especificaciones Detalladas, donde cada interfaz es específicamente detallada.
4. Ensayos y Verificación, donde las especificaciones de la interfaz han demostrado el resultado del trabajo en la vida real.

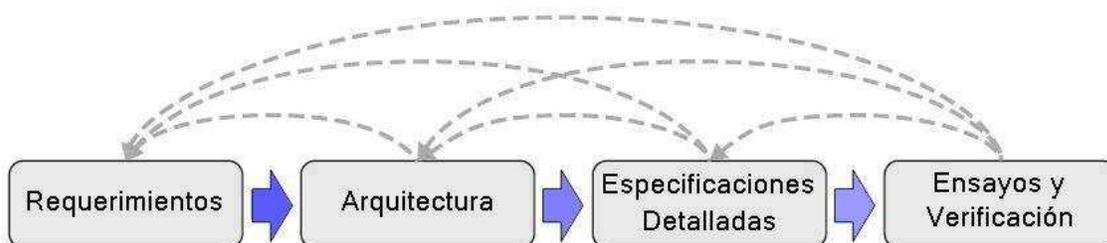


Figura 2.7 Fases de estandarización y el proceso iterativo

Estas fases pueden iterarse y además superponerse. Por ejemplo, pueden ser incorporados, modificados o disminuidos durante las últimas fases, si las soluciones

técnicas lo requieren. Del mismo modo, las soluciones técnicas en las especificaciones detalladas pueden cambiar debido a los problemas encontrados en la fase de prueba y verificación.

La estandarización se inicia con la fase de requisitos, donde el organismo de estandarización decide lo que debe lograrse con la norma o estándar. Esta fase suele ser relativamente corta. En la fase de la arquitectura, los estándares que se decidan acerca de la arquitectura deben cumplir en un principio con los requisitos, además se incluyen decisiones sobre los puntos de referencia y de la estandarización de la interfaz a utilizar. Esta fase suele ser bastante larga y puede cambiar los requisitos. Después nos encontramos con la fase de la especificación detallada en donde se identifican las interfaces y se dan todos los detalles de éstas. Durante este proceso, el organismo de estandarización puede encontrar que debe cambiar los aspectos que fueron tomados por las decisiones en la arquitectura, o incluso en la fase de requisitos.

Por último, se sigue con la fase de ensayos y verificación que generalmente no es una parte real de la estandarización, pero se lleva a cabo en paralelo a través de pruebas por los proveedores y pruebas de interoperabilidades entre los proveedores. Esta fase es la prueba definitiva del estándar. Durante esta etapa pueden ser encontrados los errores en el estándar y también pueden cambiar las decisiones de las otras fases. Para verificar la calidad del estándar, se necesitan los productos, por lo tanto la aplicación de estos comienza después o durante la fase de especificación detallada. La fase de ensayos y verificación termina cuando las pruebas que son estables se pueden utilizar verificando que el equipo está cumpliendo con la norma o estándar. Usualmente, esto se tarda entre uno a dos años a partir del momento en que el estándar es completado en su totalidad hasta que los productos comerciales estén en el mercado. Sin embargo, si el estándar comienza a partir de cero, es posible que tarde más tiempo por el hecho que no hay componentes ya establecidos de donde se pueda comenzar.

2.5 3GPP

El 3GPP es el organismo que desarrolla los estándares que especifican el 3G de UTRA y los sistemas GSM. 3GPP se inició en el año 1998 y es una asociación de proyectos de tercera generación formada por los siguientes organismos de estandarización que son:

ETSI: Instituto Europeo de Estándares y Telecomunicaciones Europa

ARIB: Asociación de Industrias de Radio y Negocios Japón

TTA: Asociación de Tecnología y Telecomunicaciones Corea

CCSA: Asociación de Estándares y Comunicaciones de China China

ATIS: Alianza para la Industria de Telecomunicaciones Soluciones Norteamérica

TTC: Comité de Tecnología y Telecomunicaciones Norteamérica

La parte técnica del 3GPP se compone de cuatro grupos de especificación técnica o TSG (*Technical Specification Groups*), véase Figura 1.2, cada uno está compuesto por diferentes grupos de trabajo, estos son:

El TSG RAN (Red de Acceso de Radio), este grupo trabaja en la especificación de la tecnología HSPA/LTE, se encarga de las funciones, las interfaces, y el protocolo de la red de acceso. Se compone de los siguientes grupos:

- RAN 1, es el responsable de la definición física (Capa 1) de la Red de Acceso de UTRAN. Esto incluye especificación de modulación, codificación de canales, mediciones de la capa física, etc.
- RAN 2, trabaja con los protocolos de interfaz de radio utilizado en la parte superior de la capa física. Esto incluye protocolos de la capa 2 para la transmisión de datos.

- RAN 3, se encarga de la arquitectura total de UTRAN. Esto incluye la definición de la interfaz entre entidades de red de acceso, así como la especificación de la red de transporte.
- RAN 4, es responsable de la radiofrecuencia (RF) y la gestión de los recursos de radio requisitos de funcionamiento.
- RAN 5, produce pruebas de especificación basadas en los documentos del RAN 4.

El TSG SA (Servicios y Aspectos del Sistema), es el responsable de la arquitectura y definición del servicio y se compone de los siguientes grupos:

- SA 1, está a cargo del alto nivel de servicio y requisitos característicos. Además produce documentos del sistema y capacidades de servicio, utilizados como referencia de otros grupos. *
- SA 2, define la arquitectura de red y sus características para ser apoyado por entidades de red basado sobre los documentos del SA 1. También produce especificaciones que se utilizan como insumos por parte de grupos a cargo de las especificaciones de la interfaz detallada.
- SA 3, establece requisitos de seguridad para el sistema y produce especificaciones de seguridad para los algoritmos que deben aplicarse en la red.
- SA 4, trabaja en la especificación de idioma, audio, video y códecs multimedia aplicados a circuitos y paquetes.
- SA 5, especifica la arquitectura, los procedimientos de lo relacionado con la gestión de la interfaz de red, incluidos la configuración y gestión de desempeño.

El TSG CT (Núcleo de Red y Terminales), se encarga del núcleo de red y especifica los protocolos del acceso de red. Se compone de los siguientes grupos:

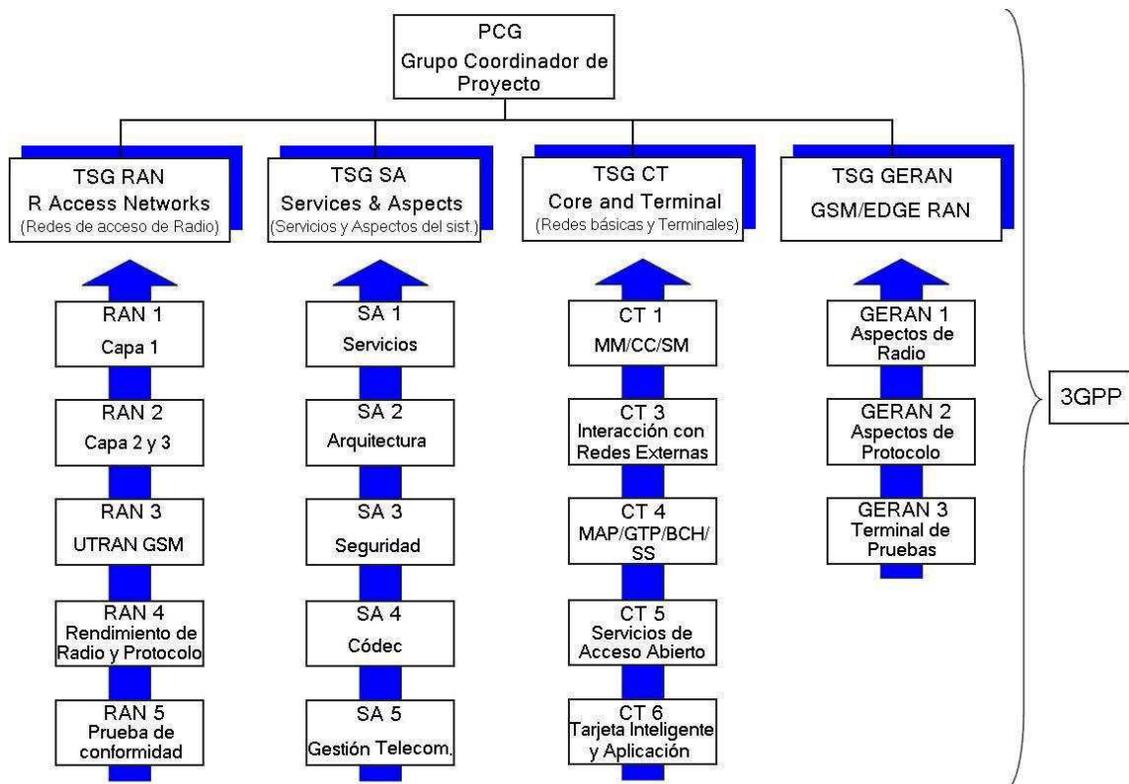
- CT 1, especifica los protocolos de la capa 3 que se utilizan entre el núcleo de red, y los terminales para establecer sesiones de comunicación de circuitos.
- CT 3, está a cargo de la interconexión de redes de trabajo, entre redes 3GPP y redes de circuitos o paquetes externos. Esto incluye señalización o protocolo de interconexión.
- CT 4, está a cargo de las definiciones de servicios complementarios tales como transferencia de llamadas o SMS.

- CT 5, trabaja con UMTS OSA (Open Service Access o Servicio de Acceso Abierto) y produce Aplicaciones de Programación de Interfaces para facilitar los servicios UMTS.
- CT 6, es el responsable del formato del Módulo de Identidad del Suscriptor (SIM), especificando los datos del contenido de la tarjeta SIM y su organización.

El TSG GERAN (GSM/EDGE de Red de Acceso de Radio), es el responsable de la evolución de GSM/EDGE basada en Red de Acceso de Radio. Como UMTS viene de la tecnología GSM, es muy significativa para un núcleo de red y para servicios de gran expectativa.

Esta es la razón por la que este grupo técnico parte inicialmente del ETSI y finalmente se traslada a la organización 3GPP a finales del 2000. Se compone de los siguientes grupos:

- GERAN 1, es el equivalente de RAN 1 y define la interfaz física del acceso de red GSM/EDGE.
- GERAN 2, es el equivalente de RAN 2 y trabaja en la definición de los protocolos de radio.
- GERAN 3 está a cargo de la aprobación de especificación de pruebas del acceso de red.



Estructura del 3GPP

QWEn el ámbito de aplicación de UMTS evolucionado, la estructura del 3GPP no tendrá cambios. Todos los TSG y la mayoría de sus Grupos de trabajo ampliarán su alcance con el fin de cubrir con todos los requisitos y especificaciones de la Evolución de UMTS.

Existe también un proyecto paralelo llamado 3GPP2 el cual se formó en el año 1999 y tiene la responsabilidad de desarrollar las especificaciones de 3G, pero para CDMA2000, que es la tecnología 3G del CDMA de 2G, basada en el estándar IS-95. Este proyecto global también tiene la participación de la organización de socios como el ARIB, CCSA, TIA, TTA y TTC.

El campo de aplicación de 3GPP en su inicio fue la producción mundial de especificaciones para un sistema móvil 3G basado en el núcleo de red de GSM evolucionado, incluyendo WCDMA y TD-CDMA. La tarea de mantener y desarrollar GSM/EDGE se ha agregado en una etapa posterior en el 3GPP.

El trabajo en el 3GPP se lleva a cabo en la UIT en cuenta de las recomendaciones y de los resultados obtenidos, además los socios están obligados a identificar las necesidades regionales que pueden dar lugar a distintas alternativas del estándar. Ejemplos de ello, son las bandas de frecuencias regionales y requisitos especiales de protección local de una región.

Las especificaciones se pueden actualizar después de cada serie de reuniones de los TSG, que se efectúan 4 veces al año. Éstas especificaciones son llamadas emisiones o versiones que son más conocidas por su nombre en inglés de Releases. Los documentos del 3GPP se dividen dentro de los Releases (ver Figura 1.3), cuando cada uno de estos tiene un conjunto de características agregadas en comparación con la versión anterior. Estas características son definidas y acordadas por Los Elementos de Trabajo y realizadas por los TSG. A continuación se presenta una breve descripción de las versiones del 3GPP.

Release 99 (Rel-99): es la primera versión de especificaciones 3G, que contiene todas las características necesarias para cumplir con los requisitos de IMT-2000 para el acceso radio de WCDMA. Además en ella se establecieron las bases para el futuro tráfico de transferencia de alta velocidad, tanto como en la conmutación de circuitos que en la conmutación de paquetes.

Release 4 (Rel-4): contiene los cambios en el dominio del núcleo de red y se crean nuevas interfaces de comunicación. Para el transporte se puede utilizar ATM o IP en el dominio de voz. Además, son introducidas otras características como:

- Multimedia en el dominio de conmutación de circuitos (*CS-Circuit Switched*).
- *Handover* en tiempo real en el dominio de conmutación de paquetes (*PS-Packet Switched*).
- Soporte a IPv6 como opcional y MMS.

Release 5 (Rel-5): describe la mejor velocidad del canal de datos para el enlace descendente (*HSDPA-High-Speed Downlink Packet Access*), que permite velocidades

de hasta 14,4 Mbps y presenta la estructura de la red para que sea totalmente IP en lugar de ATM.

También se introduce:

- Una Calidad de Servicio (QoS) en el dominio PS para todo el trayecto (*end to end*).
- IMS (*IP Multimedia Subsystem*): soporte de IPv6 y uso de SIP para establecer sesiones.

Release 6 (Rel-6): mejora la velocidad del enlace ascendente (HSUPA) de hasta 5,76 Mbps, introduce MBMS, e interoperabilidad entre UMTS y WLAN. Las principales mejoras son:

- Handover entre 3G y WLAN.
- MBMS (*Multimedia Broadcast Multicast Service*): servicio para texto, video, audio...
- IMS fase 2: QoS para voz y multimedia.

Release 7 (Rel-7): publicado en marzo del año 2007, mejora las velocidades del enlace ascendente y descendente (HSPA+). Se utiliza MIMO que es el uso de múltiples antenas en los receptores, se define LTE. Entre las principales mejoras se encuentra:

- La utilización de 64 QAM para la modulación
- CPC: conexión de paquetes continua para usuarios de datos.
- Introducción de LTE/E-UTRAN.
- Fusión del NodoB y el RNC (*Radio Network Controller*) en la red de acceso radio.
- VoIP para celulares.
- Reducción de latencia.

Release 8 (Rel-8): se utiliza OFDMA como técnica de acceso, y un ancho de banda variable desde 1,25 MHz hasta 20 MHz. Entre las mejoras se tienen:

- Introducción de SAE/EPS en la arquitectura de red.
- Soporte para acceso no WCDMA.
- OFDMA como interfaz aire.
 - MIMO: configuraciones de 4x4.

- *Beamforming* o configuración del haz: antenas inteligentes.
- IMS común para FMC.
- Prioridad de servicio multimedia.

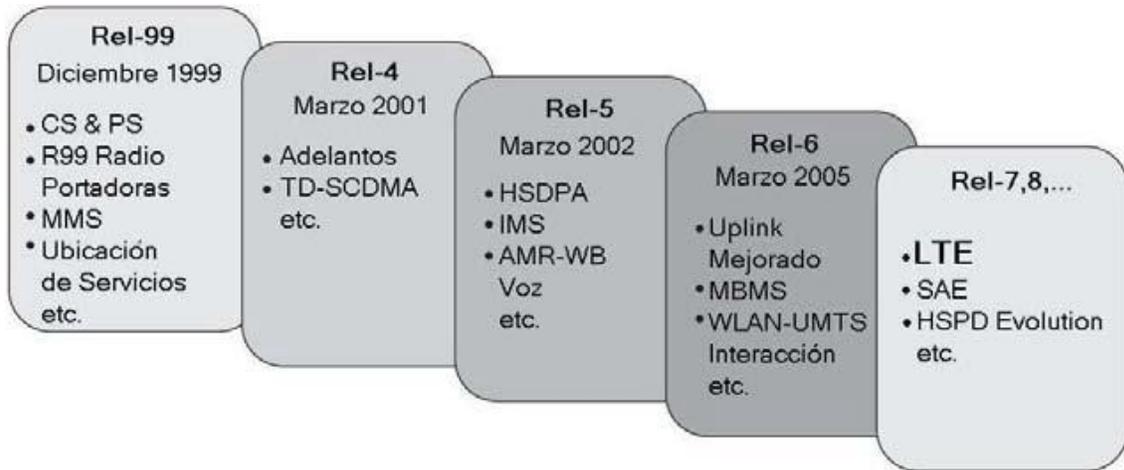


Figura 2.9 Releases del 3GPP

2.3.1 Actividades de la UIT con respecto a las IMT-2000

La UIT es el organismo de las Naciones Unidas que está encargado de regular las telecomunicaciones en el mundo, entre las distintas empresas operadoras y administradoras.

Las áreas de actividad de la UIT en IMT-2000 son:

- Desarrollo de las Telecomunicaciones (UIT-D), que realiza estudios y actividades de cooperación, encaminadas al establecimiento de las IMT-2000 en países en desarrollo.
- Sector de Radiocomunicaciones (UIT-R), que tiene encomendados estudios y la elaboración de recomendaciones sobre los aspectos radio de IMT-2000 y posteriores sistemas.
- Sector de Normalización (UIT-N), que se ocupa de estudios relativos a los aspectos de red y aplicaciones de IMT-2000 que son; convergencia de servicios fijo-móvil, gestión de la movilidad, funciones multimedia móviles, interfuncionamiento de servicio, interoperabilidad de equipos e Internet móvil.

Para la normativa de Radiocomunicaciones, los trabajos los ha desarrollado la Comisión de Estudio 8 de Servicios Móviles del UIT-R, dentro de éste se establece el Grupo de Tareas especiales 8 (*Task Group*) dedicado a IMT-2000, el cual trabaja apoyado tanto del UIT-R como del sector de normalización UIT-T.

Las IMT-2000 se pueden especificar mediante un conjunto de recomendaciones interdependientes de la UIT, proporcionando el marco para un acceso inalámbrico mundial enlazando diversos sistemas de redes terrestres y satelitales. La serie de Recomendaciones de IMT-2000 (ver Tabla A1.1) define un marco de referencia para el desarrollo de los sistemas 3G, también establece una serie de objetivos, descripción de servicios, características generales de las interfaces radio, requisitos de espectro, circulación de terminales, y requisitos de compatibilidad electromagnética.

Las especificaciones de las interfaces radio se han ido desarrollando en diversas Recomendaciones del UIT-R. La recomendación UIT-R M-1455 define las características fundamentales de las interfaces radio de IMT-2000. La M-1455 contiene características básicas propuestas, da una lista de los valores recomendados en diferentes magnitudes. Esta recomendación expresa que la interfaz radio de IMT-2000 sería un estándar único, con diversas modalidades de funcionamiento, que podrían clasificarse en CDMA, TDMA o una combinación de ambos. El grupo CDMA incluye sistemas monoportadora DS-SS-SSB con FDD, TDD y sistemas FDD multi-portadora.

La principal recomendación es la Recomendación UIT-R M.1457, que identifica a las especificaciones detalladas de la interfaz radio de IMT-2000. La recomendación contiene una familia o conjunto de cinco interfaces radio terrestres las que se muestran en la Figura 1.4, como también las organizaciones que desarrollan las especificaciones.

IMT-2000 Interfaces Radio Terrenales (Recomendación UIT-R M.1457)		
Nombre Completo	Nombre Común	Organización
Ensanchamiento directo del CDMA de las IMT-2000	UTRA FDD	3GPP
Multiportadora CDMA para las IMT-2000	CDMA 2000	3GPP2
IMT-2000 CDMA TDD	UTRA TDD	3GPP
Portadora única TDMA IMT-2000	UWC 136	ATIS/TIA
FDMA/TDMA en las IMT-2000	DECT	ETSI

Figura 2.10 Interfaces Radio Terrestres IMT-2000

En cada interfaz radio se ha desarrollado el proceso de evaluación, convergencia y consecución de los objetivos de calidad para los diferentes entornos radio operacionales, asegurando la compatibilidad mundial y la itinerancia internacional.

Con el continuo desarrollo de las interfaces radioeléctricas IMT-2000, incluyendo la evolución de UTRA a E-UTRA (UTRA evolucionado), las recomendaciones de la UIT también deben ser actualizadas. El Grupo de Trabajo 8F, revisa continuamente la recomendación 1457. En el año 1999 se aprobaron las cinco interfaces para IMT-2000 de la Figura y en el año 2007 se adiciónó WiMAX móvil como la sexta interfaz llamada "IMT-2000 ODMA TDD WMAN". Además del mantenimiento de las especificaciones de las IMT-2000, la actividad principal del UIT-R Grupo de Trabajo 8F, es el desarrollo sobre los posteriores sistemas a las IMT-2000, nombrado actualmente como IMT-Avanzadas. En este desarrollo se incluyen estudios de los servicios y tecnologías, las previsiones del mercado, principios de estandarización, estimación de las necesidades del espectro y la identificación de bandas de frecuencias candidatas para las IMT-Avanzadas. El trabajo espectral también implica intercambio de estudios entre las IMT-Avanzadas y otras tecnologías inalámbricas.

2.5.1 Tecnologías 3GPP

Dando énfasis al aspecto inalámbrico, el 3GPP ha evolucionado un plan para reconocer las fortalezas y debilidades de cada tecnología, con el fin de explotar las únicas capacidades que poseen. Todo empieza con el amplio desarrollo que obtiene globalmente GSM, el cual es una tecnología 2G basada en TDMA, que es el principal paso hacia la evolución en tecnologías 3G. Hoy en día GSM es muy eficiente, sin embargo, hay oportunidades para optimizaciones y mejoras adicionales al sistema. La mayoría de las redes GSM están respaldadas por EDGE (*Enhacer Data rates for GSM of Evolution* o Tasa de datos Mejoradas para la evolución de GSM) que se trata de una mejora de GPRS, que es el original servicio de paquetes de datos para redes GSM. Los organismos de estandarización ya se han definido por “*Evolved EDGE*” o “EDGE Evolucionado”, que está siendo desarrollado actualmente y con el objetivo de duplicar el rendimiento de los sistemas actuales de EDGE. Al final de esta década, debido a la enorme dinámica del mercado, la mayoría de los usuarios en el mundo seguirán siendo abonados utilizando tecnologías GSM/EDGE.

Mientras tanto, CDMA fue elegido como la base de las tecnologías 3G, incluyendo WCDMA para FDD y TDD de UMTS. La evolución de los sistemas de datos para WCDMA, tales como HSPA y HSPA+, introduce mejoras y simplificaciones que ayudan a los sistemas basados en CDMA a coincidir con las capacidades de los sistemas de la competencia, especialmente en el espectro asignado.

Dadas algunas de las ventajas de la interfaz OFDM, el 3GPP ha especificado a OFDMA como base de su tecnología LTE, ya que incorpora las mejores técnicas de radio para lograr niveles de rendimientos más allá de lo que se practica con CDMA. Sin embargo, de la misma manera que 3G coexiste con la segunda generación en los sistemas integrados de redes, los sistemas LTE coexistirán con sistemas 3G y 2G. Dispositivos multimodo funcionarán a través de LTE/3G o incluso por medio de LTE/3G/2G, dependiendo de las circunstancias del mercado.

Más allá de la tecnología de radio, la nueva arquitectura de red *Evolved Packet Core* (EPC) ofrece un nuevo núcleo que permite al mismo tiempo favorecer las arquitecturas y la integración de LTE con ambas redes GSM/WCDMA, así como otras tecnologías inalámbricas. En la Tabla 2.5 se presenta a continuación, un rápido resumen de las

Tecnología	Tipo	Características	Downlink (típico)	Uplink (típico)
GSM	TDMA	Tecnología celular mundialmente desarrollada. Proporciona voz y servicio de datos vía GPRS/EDGE.		
EDGE	TDMA	Servicio de datos para redes GSM. Mejora de datos de GSM por medio de GPRS.	70 Kbps a 130 Kbps	70 Kbps a 130 Kbps
Evolved EDGE	TDMA	Versión mejora de EDGE que puede duplicar eventualmente las tasas de rendimiento.	150 a 500 Kbps esperado	100 a 500 Kbps esperado
UMTS WCDMA	CDMA	Tecnología 3G que proporciona voz y datos. Su actual despliegue aplica HSPA para el servicio de datos.	200 a 300 Kbps	200 a 300 Kbps
HSPA	CDMA	Servicios de datos de redes UMTS. Mejora en los servicios originales de UMTS.	1 a 4 Mbps	500 Kbps a 2 Mbps
HSPA+	CDMA	Evolución de HSPA. Aumento del rendimiento y capacidad, reduciendo la latencia.	>5 Mbps esperado	>3 Mbps esperado
LTE	OFDMA	Nueva tecnología que puede utilizar canales de radio a escala y entregar tasas muy altas de rendimiento. Maneja todas las comunicaciones con dominio IP.	>10 Mbps esperado	>5 Mbps esperado
LTE Advanced	OFDMA	Versión avanzada de LTE diseñada para satisfacer requisitos de las IMT <i>Advanced</i> .		

Tabla 2.5 Características de las tecnologías 3GPP.

Las expectativas a lo largo del tiempo de las redes EDGE/HSPA/LTE con respecto a sus disponibles características y capacidades, se especifican a continuación indicando el año inicial de su desarrollo:

2009: - Las redes y los dispositivos estarán aptos para el Release 7 HSPA+, incluyendo MIMO, impulsando así las velocidades máximas de HSPA a los 28 Mbps.

- Mejorarán los servicios basados en IMS (IP Multimedia Subsystem), por ejemplo, voz integrada, multimedia, ubicación y presencia.

2010: - Las capacidades disponibles de la tecnología *Evolved* EDGE, incrementarán de forma significativa las tasas de rendimiento de EDGE.

- Las velocidades *peak* de HSPA+ aumentarán aún más, hasta un *peak* de 42 Mbps. LTE introducirá a la nueva generación en rendimiento, el desempeño del uso de 2x2 MIMO.

- Avanzadas arquitecturas estarán disponibles a través de EPC/SAE, principalmente para LTE como también para HSPA+, aportando beneficios tales como la integración de múltiples tipos de red y arquitecturas planas para un mejor rendimiento de la latencia.
- La mayoría de los nuevos servicios implementarán dominio de paquetes sobre HSPA+ y LTE.

2011: - LTE tendrá mejoras tales como 4x2 MIMO y 4x4 MIMO y las especificaciones estarán concluidas para *Advanced* LTE.

2012: - *Advanced* LTE será potencialmente desplegada en las etapas iniciales. Con el tiempo los elementos de infraestructura básica se someterán a la consolidación, por lo tanto, la reducción del costo total de la red y las mejoras de las operaciones integradas de las redes de acceso. En la actualidad, para los usuarios con dispositivos multi-modo, las redes de acceso serán en gran parte transparentes.

En la Figura 2.11 se presentan los avances en HSPA y LTE, trazados en el tiempo, mostrando una duplicación del rendimiento aproximado por año.

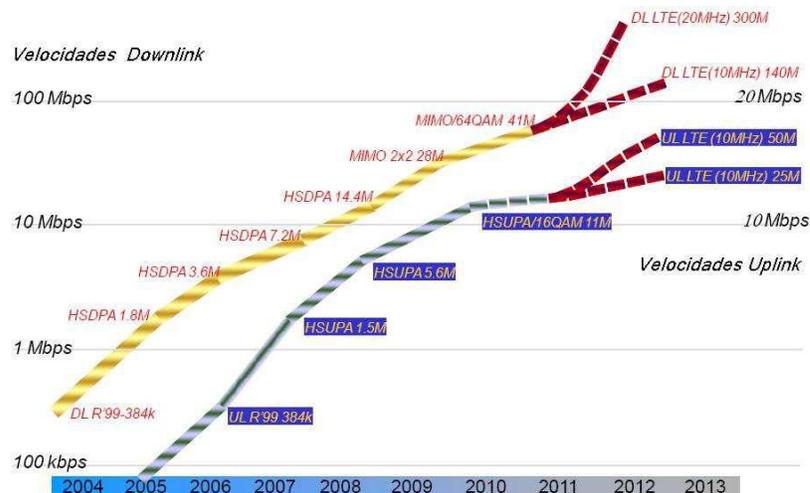


Figura 2.11 Rendimientos peak para el enlace ascendente y descendente

A pesar del rápido despliegue de WCDMA de UMTS, la mayoría de los abonados en el mundo seguirá utilizando GSM al final de esta década, entonces la mayoría de los nuevos usuarios sacarán ventaja de WCDMA. Del mismo modo se reflejará en la redes LTE ya que probablemente el despliegue será a principios de la próxima década y así a mediados de ella, el porcentaje de abonados a redes LTE sería muy considerable.

Durante estos años las redes y los dispositivos tendrían la característica de tri-modo apoyándose en GSM, WCDMA y LTE.

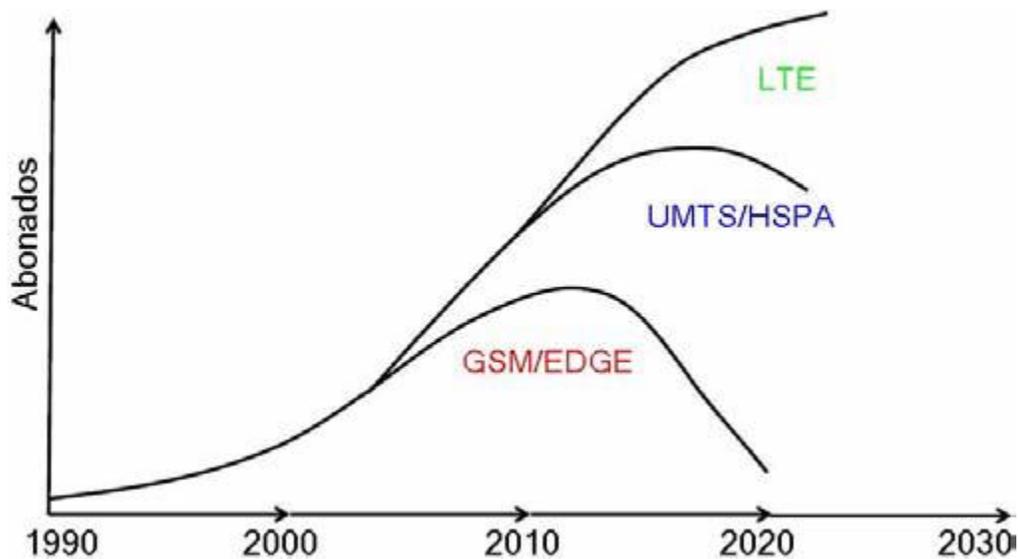


Figura 2.12 Crecimiento de abonados por décadas

2.5.2 LTE Evolución del Sistema

GSM y WCDMA en conjunto representan el 85% de las suscripciones móviles mundiales, y su participación sigue creciendo. WCDMA está diseñado para coexistir con GSM, incluyendo un ininterrumpido *handover* y terminales de modo dual. La mayoría de las redes WCDMA están desplegadas en la actual red GSM. EDGE y EDGE *Evolution* pueden ser desarrollados de manera eficiente junto con WCDMA y su evolución. De la misma manera, LTE está diseñado para coexistir con GSM y WCDMA.

Las CDMA 2000, en lo que les corresponde sobre el mercado a nivel mundial en términos de abonados a servicios móviles, ha disminuido desde el año 2004 y actualmente tiene un ligero incremento del 10%. Una serie de grandes operadores CDMA se han convertido a GSM/WCDMA en lo que respecta a la evolución de voz,

obteniendo acceso a los beneficios del extenso ecosistema GSM/WCDMA, a la economía de escala, y al bajo costo de los dispositivos

móviles. La solución de CDMA, EV-DO, ahora se encuentra desarrollada comercialmente. Para promover la evolución, un número de operadores CDMA están enfocados en las tecnologías; HSPA, WiMAX y/o 3GPP LTE. El alto nivel de la evolución de sistema se ilustra en la Figura 2.13.

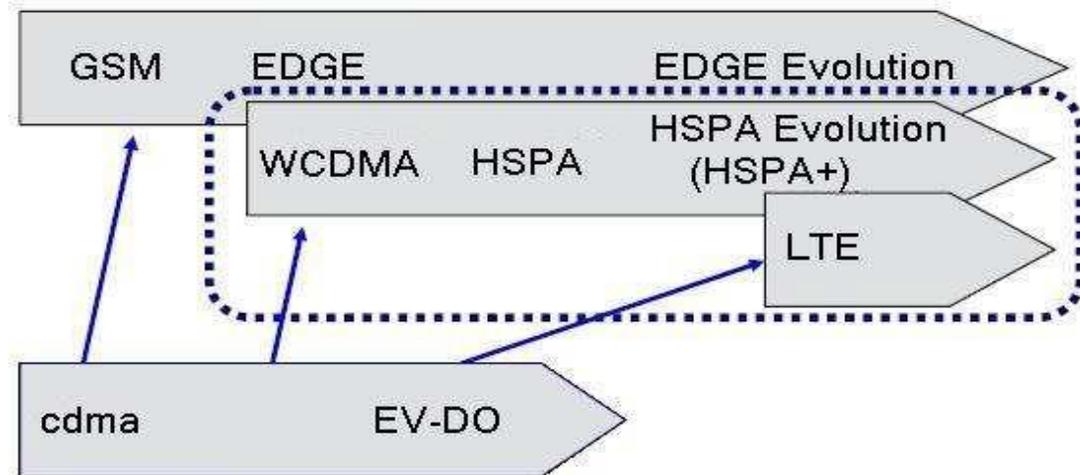


Figura 2.13 Sistemas de la Evolución

Mirando hacia atrás en la historia GSM, varios países han llegado a más del 80% de penetración de la telefonía celular, y la cuenta mundial de abonados GSM superó los 2 mil millones el año 2006, quince años después de la apertura de la primera red. Las experiencias anticipadas de GSM, demostraron que las tasas de crecimiento son muy elevadas cuando se tiene terminales atractivos, de pequeño tamaño y además que posean un bajo consumo de energía. Tomó cerca de siete años para que GSM alcance los 100 millones de abonados y a WCDMA tan solo seis años. Actualmente, existen más de 150 redes comerciales WCDMA con más de 130 millones de suscriptores.

2.5.3 Arquitectura del Sistema Evolucionado

Aproximadamente al mismo tiempo de la evolución de HSPA y el inicio de LTE, el 3GPP decidió asegurarse de que un operador pueda coexistir fácilmente entre HSPA y LTE a través de un núcleo de red. Este trabajo fue dirigido por el Grupo de Trabajo SA realizando el estudio del *System Architecture Evolution* (SAE).

El estudio de la arquitectura del sistema evolucionado, se centró en como el núcleo de red 3GPP evolucionará en el próximo núcleo de red de las próximas décadas. El actual núcleo de red fue diseñado en los años 80 para GSM, ampliado durante la década de los años 90, para GPRS y WCDMA.

El funcionamiento de una red a nivel general es bastante sencillo. Las estaciones base se disponen creando una gran malla con forma de célula o celda, conectando mediante ondas de radio dos terminales con los controladores de dichas estaciones base (ver Figura 2.14). Esta disposición en forma de panal no es algo casual, sino que responde a un esquema que permite la reutilización de un determinado conjunto de frecuencias asignadas en distintas celdas, siempre que estas no sean adyacentes, aumentando el rendimiento de la red por un lado (el número de frecuencias que se dispone es limitado) y economizado por otro.

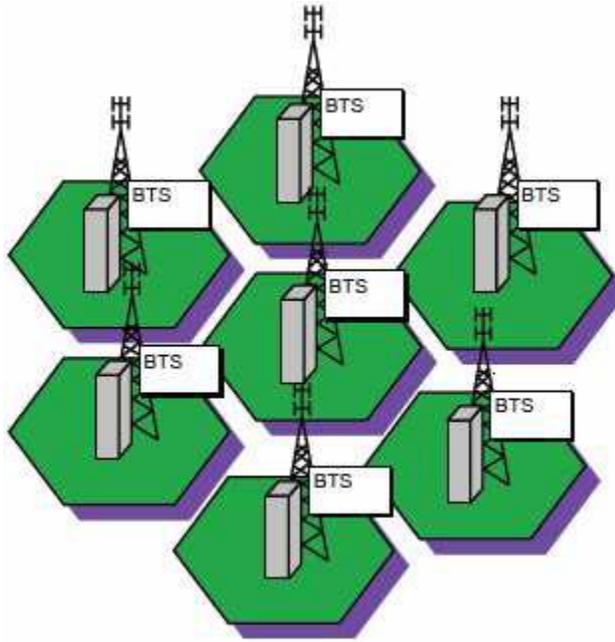


Figura 2.14 Disposición de las celdas

Una red se constituye básicamente en torno a dos tipos de elementos y una adecuada combinación de estos, posibilitando la comunicación tanto entre teléfonos móviles, como entre un teléfono móvil y un teléfono fijo. Estos elementos son:

- Estación base: que son las encargadas de transmitir y recibir la señal.
- Centrales de conmutación: son las que permiten la conexión entre dos terminales concretos.

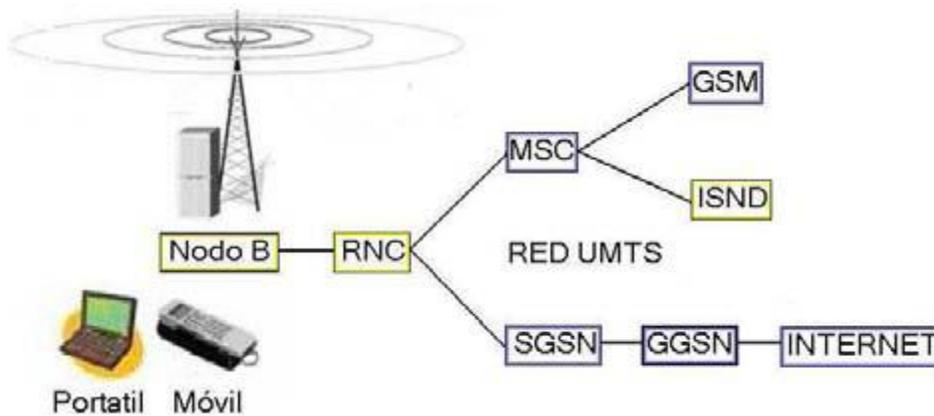


Figura 2.15 Arquitectura 3G

En la Figura 2.15 se muestra la arquitectura 3G, en donde los datos llegan al nodo B (estación base) que es el encargado de recopilar las señales mandadas por los terminales, pasando éstas al RNC o Controlador de la Red de Radio para ser procesadas. El conjunto de los nodos y el RNC constituyen una estructura denominada Red de Acceso de Radio (RAN), la cual conecta los

terminales con el Núcleo de Red o *Core Network*, desde el cual se distribuyen los datos por los distintos sistemas mediante una serie de conmutaciones. Según sea su destino, deberán pasar por el MSC (*Mobile Services Switching Center*) o por el SGSN (*Serving GPRS Support Node*) y GGSN (*Gateway GPRS Support Node*).

La filosofía SAE esta enfocada en el dominio de conmutación de paquetes y en emigrar fuera del dominio de conmutación de circuitos. Esto se hace a través de los próximos “*Releases 3GPP*”, para así llegar a la evolución del núcleo de red de paquetes, *Evolved Packet Core* el que apoyará tanto a HSPA *Evolution* como a LTE, asegurando que LTE pueda ser desplegado en islas más pequeñas, solo donde sea necesario. Un despliegue con un enfoque gradual puede ser observado en la Figura 2.16.



Figura 2.16 Estrategia de despliegue HSPA y LTE

En primer lugar, el operador puede actualizar su red HSPA a una red con capacidad *HSPA Evolution* y a continuación, añadir las celdas LTE donde carece de capacidad o cuando el operador quiera probar los nuevos servicios que no pueden ser suministrados por *HSPA Evolution*. Este enfoque reduce los costos desde el despliegue de LTE, ya que no es necesario construir más, porque se tiene cobertura nacional desde un principio.

Capítulo 3. Funciones de la red de radio acceso y red del núcleo en LTE

3.1 Antecedentes

El término “arquitectura del sistema” describe la asignación de las funciones necesarias para los nodos lógicos y los requisitos de interfaces entre los nodos. En el caso de un sistema móvil, tal como WCDMA/HSPA y LTE, la mayoría de las funciones necesarias para la interfaz de radio son normalmente llamadas funciones de red de acceso radio. Sin embargo, en una red móvil varias funciones adicionales son necesarias para poder proporcionar los servicios de carga necesaria para uso del operador, de autenticación necesaria para certificar que el usuario es un usuario válido, servicio de configuración necesario para asegurar que hay conexión de un extremo a otro, etc. Por lo tanto, existen funciones no relacionadas directamente con la tecnología de acceso radio en sí, pero necesaria para cualquier tecnología de acceso radio. Esas funciones son normalmente llamadas funciones de núcleo de red. El hecho de que existen diferentes tipos de funciones en un sistema celular ha llevado a que la arquitectura del sistema se divida a en dos partes, en red de acceso radio (RAN) y en núcleo de red (CN).

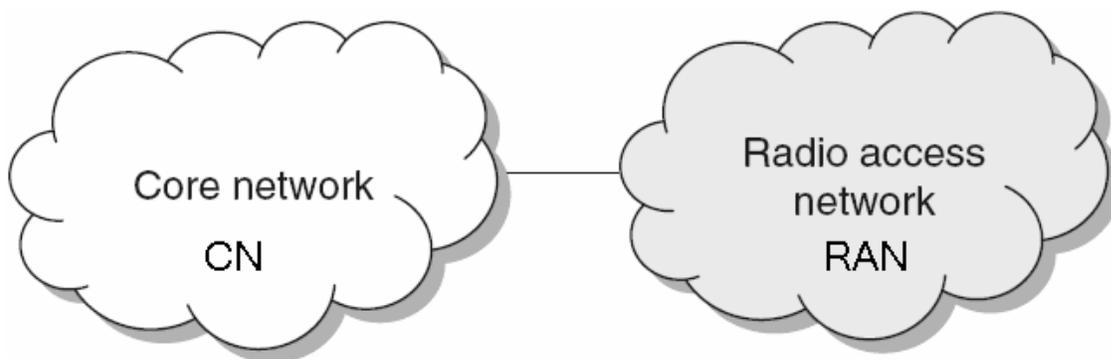


Figura 3.1 Núcleo de red (CN) y Red de acceso radio (RAN).

Además, similar a WCDMA/HSPA y como a la mayoría de los otros sistemas de comunicación modernos, el procesamiento especificado para LTE se estructura en diferentes capas de protocolo. Aunque varias de estas capas son análogas a los utilizados por el sistema WCDMA/HSPA, hay algunas diferencias, por ejemplo, debido a las diferencias en la estructura general entre ambas tecnologías.

Dentro de la estructura de protocolo LTE existen múltiples entidades que trabajan sobre los datos transmitidos, en este caso paquetes IP, antes de que se realice la transmisión por medio de la interfaz radio, los cuales son:

- *Packet Data Convergente Protocol* (PDCP), realiza compresión de encabezado IP para reducir el número de bits necesario para transmitir por la interfaz radio. retransmisiones HARQ y la programación del enlace ascendente y descendente. La MAC ofrece servicios al RLC en forma de canales lógicos.
- *Physical Layer* (PHY), se preocupa de la codificación y decodificación, modulación y demodulación y otras típicas funciones de la capa física.
- *Radio Resource Control* (RRC), es un elemento clave
- *Radio Link Control* (RLC), se encarga de la segmentación/concatenación, manipulación de la retransmisión, y secuencia de la entrega a las capas más altas.
- *Medium Access Control* (MAC), maneja las de la capa del protocolo de señalización que soporta muchas funciones entre el terminal y el nodo de la arquitectura de red LTE/SAE, el eNB.

3.2 División de funciones entre RAN y CN.

Para WCDMA/HSPA, la idea detrás de la división funcional es mantener el núcleo de red sin conocimiento de la tecnología de acceso radio y de su distribución. Esto significa que la RAN debería estar en control de toda la funcionalidad, optimizando la interfaz radio y que las celdas no estén manifestadas en el núcleo de red. En consecuencia, el núcleo de red se puede utilizar para cualquier tecnología de acceso radio que adopte la misma división funcional.

Para encontrar el origen es necesario volver a la arquitectura del sistema GSM, uno de los problemas de ella es que los nodos del núcleo de red tienen una visibilidad completa de las celdas en el sistema. Por lo tanto, cuando se agrega una celda en el sistema, los nodos del núcleo de red necesitan ser actualizados. En WCDMA/HSPA, el núcleo de red no conoce las celdas. En cambio, el núcleo de red sabe acerca de las áreas de servicio y la RAN traduce las áreas de servicio en las celdas. Así, al añadir una nueva celda en un área de servicio, el núcleo de red no tiene por qué ser actualizado.

La segunda gran diferencia en comparación con GSM, es la ubicación de los protocolos de retransmisión y los *buffers* de datos en el núcleo de red GSM. Desde que los protocolos de retransmisión fueron optimizados para la interfaz radio GSM, aquellos protocolos fueron de interfaz específica, por lo tanto, no eran adecuados para la interfaz de WCDMA/HSPA. Esto fue considerado como una debilidad del núcleo de red con todos los *buffers* y los protocolos de retransmisión fueron trasladados a la RAN para WCDMA. Así, mientras la red de acceso radio usa la misma interfaz del núcleo de red,

la interfaz de usuario *Iu*, el núcleo de red puede conectar a las redes de acceso basadas en diferentes tecnologías de acceso radio.

Todavía existen divisiones funcionales en WCDMA/HSPA que no pueden ser explicadas exclusivamente con la idea de hacer el núcleo de red en una tecnología independiente de acceso radio. Las funciones de seguridad son un buen ejemplo. Una vez más, los antecedentes se remontan a GSM, que ha situado las funciones de seguridad en diferentes posiciones para conexiones de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. Para las conexiones de conmutación de circuitos, las funciones de seguridad se encuentran en la RAN GSM, mientras que para las conexiones de conmutación de paquetes, las funciones de seguridad se encuentran en el núcleo de red GSM. Para WCDMA/HSPA, éste fue considerado demasiado complicado y una ubicación común de seguridad fue anhelada. La ubicación fue decidida por la RAN como la gestión de los recursos radio de señalización y la necesidad de contar con un seguro control [16].

Consecuentemente, las funciones RAN de WCDMA/HSPA son:

- Codificación, intercalación, modulación y otras típicas funciones de la capa física.
- ARQ, compresión de cabecera y otras típicas funciones de capa de enlace.
- Gestión de los recursos radio, *handover* y otras típicas funciones de control de recursos.

Funciones de seguridad (cifrado y protección de la integridad). Las funciones necesarias que fueron ubicadas dentro el núcleo de red son:

- Tarificación.
- Gestión de abonados.
- Gestión de la movilidad (esto es hacer el seguimiento de los usuarios en itinerancia en torno la red y en otra redes).
- Portador de la gestión y la calidad del servicio de manipulación.
- Políticas de control de los flujos de datos de usuario.
- Interconexión con redes externas.

La división de funciones de LTE es la misma que la de WCDMA/HSPA, sin embargo, un elemento clave en el diseño de la red de radio acceso de LTE, es reducir al mínimo el número de nodos y encontrar una solución cuando la red consistía de un único tipo de nodo. Al mismo tiempo, la idea detrás del núcleo de red LTE es lo más independiente como sea posible de la tecnología de acceso radio.

3.3 El Núcleo CORE

3.3.1 Arquitectura CN.

Como se mencionó antes, el sistema móvil necesita un núcleo de red para realizar las funcionalidades que ello implica. El núcleo de red de CDMA/HSPA y LTE respectivamente, se basa desde un principio en la evolución del núcleo de red utilizado en GSM/GPRS. El CN utilizado por WCDMA/HSPA está muy cerca del original de GSM/GPRS, en cambio el de LTE, es una evolución más radical del *Core Network* de GSM/GPRS. Es por esto que tiene su propio nombre: *Evolved Packet Core (EPC)*.

3.3.2 Núcleo de Red GSM utilizado por WCDMA/HSPA.

El núcleo de red WCDMA/HSPA se basa en los mismos nodos de la red CN de GSM, aunque la división funcional de ambas tecnologías sea distinta, esto causa el uso de diferente interfaz entre ellas. En WCDMA/HSPA se utiliza la interfaz Iu, mientras que para GSM las interfaces A y Gb.

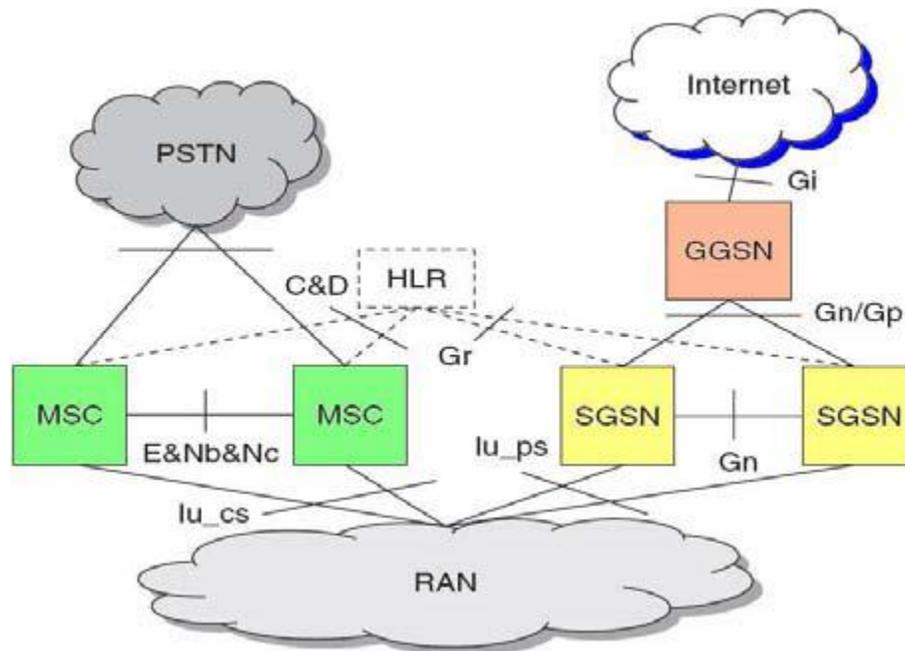


Figura 3.2 Descripción simplificada del Core Network GSM y WCDMA/HSPA.

En la Figura 3.2 se muestra una visión general de la arquitectura del núcleo de red utilizado para WCDMA/HSPA. El núcleo red consta de dos dominios distintos:

- El dominio de Conmutación de Circuitos (CS), con el *Mobile Switching Centre (MSC)*.
- El dominio de Conmutación de Paquetes (PS), con el *Serving GPRS Support Node (SGSN)* y *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*.

Como se puede ver también en la figura anterior, la interfaz *lu* conecta la red WCDMA/HSPA al MSC a través de la interfaz *lu_cs* y al SGSN a través de la interfaz *lu_ps*.

La interfaz *lu_cs* se utiliza para conectar el RNC de WCDMA/HSPA al circuito conmutador de dominio del núcleo de red, es decir, al MSC que se utiliza para la conexión llamadas telefónicas a las Redes de Telecomunicaciones Públicas Conmutadas (PSTN). El MSC y el dominio de conmutación de circuito, usan las funciones de los Servicios Integrados de Red Digital (ISDN) como mecanismo de conmutación. Por lo tanto, la señalización para el MSC se basa en la ISDN.

La interfaz *lu_ps* se utiliza para conectar el RNC al conmutador de paquetes, que es el SGSN y se conecta a un GGSN a través de una interfaz Gn o GP. El GGSN tiene una interfaz Gi que lo conecta hacia la red de paquetes externa (por ejemplo Internet) y hacia al operador del servicio de dominio o al IMS.

Para ambos dominios es común el *Home Location Register* (HLR), que es una base de datos en la red del operador de origen que hace un seguimiento de los abonados de este operador.

El HLR contiene información sobre la ubicación actual de la tarjeta del abonado SIM/USIM (*Subscriber Identity Module/UMTS SIM* - Modulo de Identidad del Abonado/UMTS SIM). El HLR está conectado a el MSC a través de la interfaz C&D, y al SGSN a través de la interfaz Gr.

La interfaz *lu* apoya una función llamada *lu flex*. Esta función permite a un RNC conectar a más de un MSC o SGSN y viceversa, es útil para reducir los efectos si uno de los nodos del núcleo de red no está disponible. El mecanismo de *lu flex* se utiliza para distribuir la conexión del terminal en varios nodos SGSN y MSC, si uno de ellos no esta disponible, el otro mantiene su tráfico asignado y pueden tomar todas las llamadas entrantes o solicitudes de inicio de sesiones de paquetes (muchas de las llamadas entrantes son esperadas cuando el nodo del núcleo de red no esta disponible, ya que la mayoría de los terminales tratarán de reconectarse cuando ellos se desconecten sin previo aviso).

3.3.3 MBMS, Multicast y Broadcast

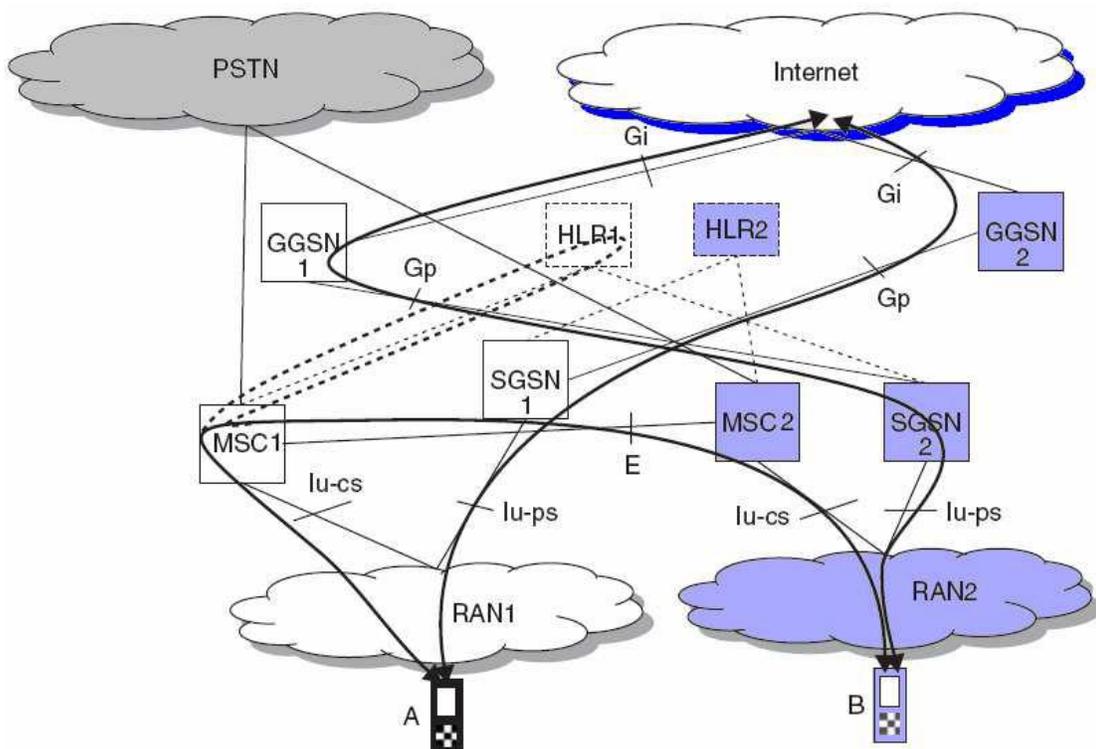
El servicio MBMS es usado en el dominio de conmutación de paquetes del núcleo de red. Consecuentemente la interfaz *lu_ps* es utilizada para conectarse a la RAN de WCDMA/HSPA. Para el MBMS, el núcleo de red es el que decide si se utiliza la transmisión del portador *broadcast* o *multicast*. En el caso de *broadcast*, el núcleo de red no conoce la identidad de los terminales móviles que reciben la información, mientras que para *multicast* si son conocidos. Así, los terminales no necesitan informar al núcleo de red de sus intenciones cuando se recibe un servicio que utiliza el portador

de *broadcast*, mientras que cuando se recibe un servicio que está utilizando un portador de multicast los terminales necesitan informar al núcleo de red sobre estas intenciones.

Por lo tanto, la RAN puede decidir si se utiliza transporte de canales *unicast* o *broadcas* en la celda. Esencialmente, la RAN pregunta al usuario que está en una celda, si está interesado en un servicio específico, entonces, si hay una cantidad suficiente de usuarios que se interesa, se selecciona el canal *broadcast* sino, el canal *unicast* es usado.

3.3.4 Roaming

La funcionalidad del *roaming* en el núcleo de red hace posible que un usuario pueda utilizar la red de otro operador. Ésta es apoyada tanto por los dominios de conmutación de circuitos y de paquetes. En ambos dominios existen diferentes posibilidades, pero en la práctica el tráfico se enruta a través de los operadores de origen GGSN para el dominio PS. Para el dominio CS, el caso común del terminal que origina las llamadas (llamadas salientes) es para hacer el intercambio en la red visitada. Para el terminal que recibe las llamadas (llamadas entrantes), es siempre a través de la red de origen como se ilustra en la Figura 3.3.



En la figura 3.3 se ven dos terminales que pertenecen a dos operadores diferentes (A y B). Los terminales poseen *roaming* en la red de otro operador y ambos tienen conexiones de conmutación de paquetes. Además, el terminal A es llamado por el terminal B a través del dominio de conmutación de circuitos. Las conexiones de conmutación de paquetes son dirigidas desde el SGSN en la red visitada, al GGSN en la red de origen, utilizando la interfaz Gp. Para la llamada de conmutación de circuitos, el terminal A (originario de la llamada) se conecta al MSC de la red visitada. Éste se da cuenta de que el terminal llamado pertenece a su red, y por lo tanto contacta a su HLR que responde con información que el terminal B es atendido mediante el MSC en la red 2. Entonces el MSC1 se contacta con el MSC2, el cual establece una conexión hacia el terminal B.

3.3.5 Control de Políticas y de Tarificación

La función de tarificación es muy importante para el operador que se encuentra en el núcleo de red. Para el dominio de conmutación de circuitos, ésta se realiza en el MSC, mientras que para el dominio de conmutación de paquetes, ésta se maneja bien en el SGSN o bien en el GGSN.

Tradicionalmente, se ha hecho posible la tarificación por minutos usados y la tarificación por volumen. El primero es usado para el dominio de conmutación de circuitos mientras que el segundo es más común utilizarlo en el dominio de conmutación de paquetes. Sin embargo, otros principios de tarificación también son posibles, por ejemplo cuota única con o sin la apertura de las tarifas. Diferentes tarifas se utilizan dependiendo de la suscripción del abonado, y/o si el usuario utiliza *roaming* o no. Con la manipulación de GGSN la tarificación de los servicios de conmutación de paquetes, sistemas de tarificación más avanzados, se hace compatible la tarificación basada en contenido o evento, permitiendo al operador la tarificación de los usuarios finales dependiendo del servicio.

El control de políticas, es una función que es usada en el núcleo de red para controlar la utilización de servicios de conmutación de paquetes, y así se garantiza que el usuario no utilice más ancho de banda del que le es permitido, o que el usuario pueda acceder sólo a servicios o sitios Web aprobados. El control de políticas es efectuado en el GGSN y existe sólo en el dominio de conmutación de paquetes.

3.3.6 El Núcleo de Red SAE: Evolved Packet Core

Cuando se inició la estandarización de la RAN LTE, se comenzaron los trabajos correspondientes para el CN LTE bajo el *System Architecture Evolution* (SAE). El núcleo de red definido en el sistema SAE es una evolución radical del núcleo de red GSM/GPRS, y por esto es que tiene un nuevo nombre, *Evolved Packet Core* o EPC (Núcleo de Paquetes Evolucionado). El sistema SAE sólo abarca el ámbito de conmutación de paquetes, no el de conmutación de circuitos. Mirando hacia atrás, la filosofía de reducir al mínimo el número de nodos también reina en la normalización del núcleo de red. En consecuencia, la red EPC comenzó como una arquitectura de un solo nodo con todas las funciones en el mismo, excepto el *Home Subscriber Server* (HSS), el cual se mantiene fuera del nodo. El HSS es un nodo de base de datos correspondiente a el HLR del núcleo de red GSM/WCDMA.

En la Figura 3.4 se muestra como el *Evolved Packet Core* se ajusta en el total de la arquitectura. El EPC se conecta a la RAN LTE a través de la interfaz S1, a Internet a través de la interfaz SGi y al HSS vía interfaz S6. S1 es la interfaz entre los eNBs y EPC, que es muy similar a la interfaz lu_ps. El S1 y el plano de usuario lu_ps son túneles de transporte basados en IP, que no conocen el contenido del paquete enviado. Los paquetes IP del usuario final son puestos en el túnel IP S1 por el EPC o el eNB y recuperados en el otro extremo (eNB o EPC).

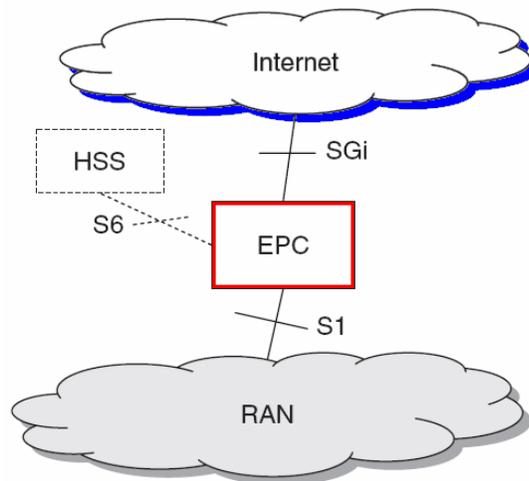


Figura 3.4 Descripción simplificada del Core Network SAE de LTE.

Para el plano de control la diferencia entre S1 e lu no es mucha, de hecho, es sólo en los detalles del establecimiento portador que es visible. La diferencia radica en la forma de indicar la calidad asignada en el servicio del flujo específico de un usuario. Para WCDMA/HSPA se hace por medio de los parámetros de *Radio Access Bearer* (RAB) mientras que para LTE se hace por medio de la que apunta a una clase de prioridad específica.

La interfaz S6 mostrada es la que conecta el EPC al HSS. Ésta se trata de una evolución de la interfaz Gr utilizada por WCDMA/HSPA para conectarse al HLR. Por lo tanto, una combinación de HLR/HSS para el Núcleo de Paquetes Evolucionado, puede ser la misma como la representada de GSM en el núcleo de red de WCDMA.

Quizás la mayor diferencia entre WCDMA/HSPA y LTE es el manejo de la movilidad. En LTE, el EPC actúa como un anclaje en el núcleo de red SAE para la movilidad, siendo un nodo EPC que maneja el plano de usuario no cambiado durante una conexión. El EPC toma aquí el papel de un GGSN para GSM/GPRS y WCDMA/HSPA. Debido a la arquitectura plana, éste nodo debe ser capaz de conectarse esencialmente a cada eNB en la red, y actualizarse dentro del mismo, que deberá guiar los paquetes del usuario. Ésta es la gran diferencia en comparación con la RAN WCDMA/HSPA, donde el RNC esconde éste tipo de movilidad desde el núcleo de red.

Tres son las entidades básicas para soportar la movilidad: la MME (*Mobility Management Entity*), el S-GW (*Serving-Gateway*) y el PDN-GW (*Packet Data Network-Gateway*). Por medio de la interfaz S1, éstos se interconectan con la RAN. Dicha interfaz consta del plano de control S1-mme, entre el eNB y el MME, y del plano de usuario S1-u, entre el eNB y el S-GW (ver Figura 3.5).

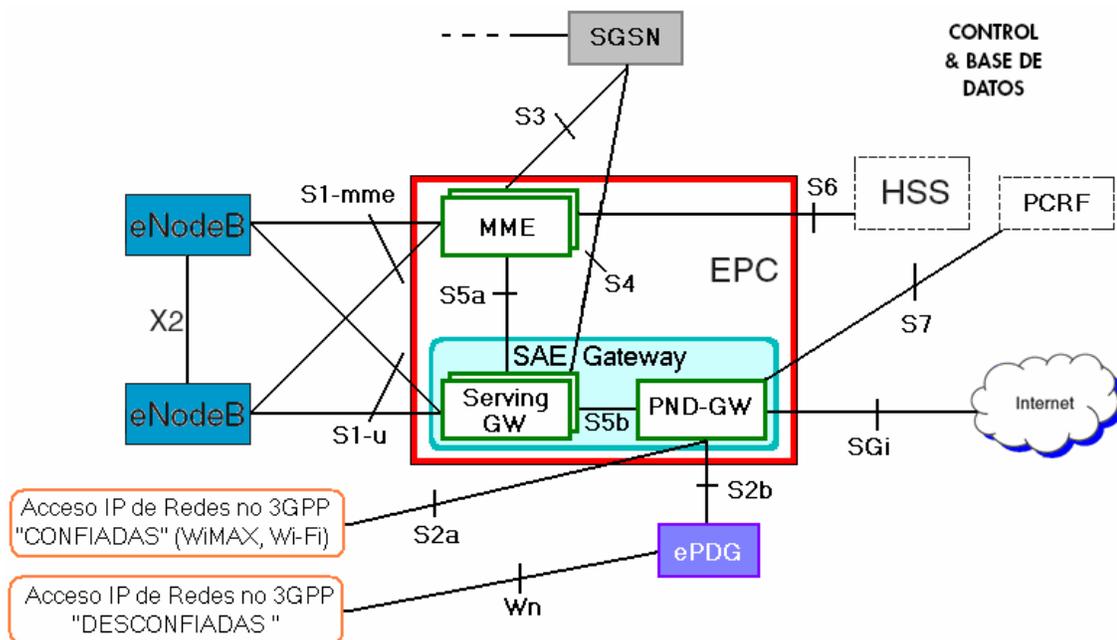


Figura 3.5 Elementos funcionales e interfaces del EPC.

3.3.7 SAE Gateway

Está formado por dos entidades lógicas del plano de usuario, el S-GW y el PDN-GW, sirviendo de interfaz entre la red de acceso y las diferentes redes de paquetes. En la práctica ambos *gateways* se pueden implementar como un único elemento de red. El S-Gw se encarga de las siguientes funciones:

- Interviene de forma activa en el proceso de movilidad cuando se produce un traspaso (*handover*) entre eNBs.

- Mediante el interfaz S4, basado en el protocolo GTP (*GPRS Tunneling Protocol*) es la entidad involucrada en el tráfico de usuario en caso de movilidad entre LTE y otra tecnología 3GPP.
- En caso de ser necesario disponer de información del tráfico de usuario ante un requerimiento legislativo, se encarga de replicar dicha información.

El PDN-GW se considera el punto de entrada/salida del tráfico hacia/desde el usuario, proporcionando conectividad hacia el resto de redes externas, destacando las siguientes tareas:

- A través de la interfaz S7 se realiza la transferencia de las políticas de QoS y tarificación que se aplican al tráfico de usuario entre el PCRF (*Policy and Charging Rule Function*) y el PDN-GW.
- Facilita la movilidad transparente y la continuidad en las sesiones de usuario cuando éste se desplaza entre redes de acceso tecnológicamente heterogéneas, es decir, desde una red 3GPP (GSM, WCDMA, HSPA) a otra red que no es 3GPP (WiMAX o Wi-Fi).

Las redes que no forman parte del 3GPP, se distinguen en dos tipos de acceso: Confiado y Desconfiado, y el operador será el que decide el tipo de cada red a quien le permitirá su conexión.

La interconexión con una red considerada desconfiada, se realiza empleando un ePDG (*evolved Packet Data Gateway*), que implementa protocolos de movilidad IP, siendo necesario para acceder a los servicios que ofrece el operador. El terminal de usuario establece un túnel IPsec con el ePDG mediante la interfaz Wn. La interconexión con redes de confianza no emplea el ePDG, por lo que se emplean directamente protocolos PMIP con el PDN-GW, mediante el interfaz S2a.

3.3.8 MME

Constituye una entidad del plano de control, encargada únicamente de la señalización, ya que por ella no transitan los paquetes de datos de los usuarios. Mediante la interfaz S3, basada en el protocolo GTP, se realiza el control de señalización para la movilidad con redes 3GPP e interactúa con el HSS (*Home Subscriber Server*), basado en el protocolo *Diameter*, que realiza el proceso de autenticación de los usuarios. Aporta a los operadores la ventaja de aumentar la capacidad de señalización de forma independiente del tráfico de usuario, ya que es un elemento de red dedicado a la señalización y separado funcionalmente de los *gateways*.

3.3.9 S1 flex

Similar a la *flex*, *S1 flex* permite un núcleo de red más robusto, con más flexibilidad en la interconexión de los nodos de acceso y del sistema central, rompiendo la habitual red jerárquica. Si uno de los nodos EPC no está disponible, otro nodo puede hacerse cargo de la pérdida del tráfico. Además, la ampliación de la red es más fácil debido a que los nodos EPC se pueden agregar cuando es necesario por la demanda de tráfico y no por un aumento en la cobertura.

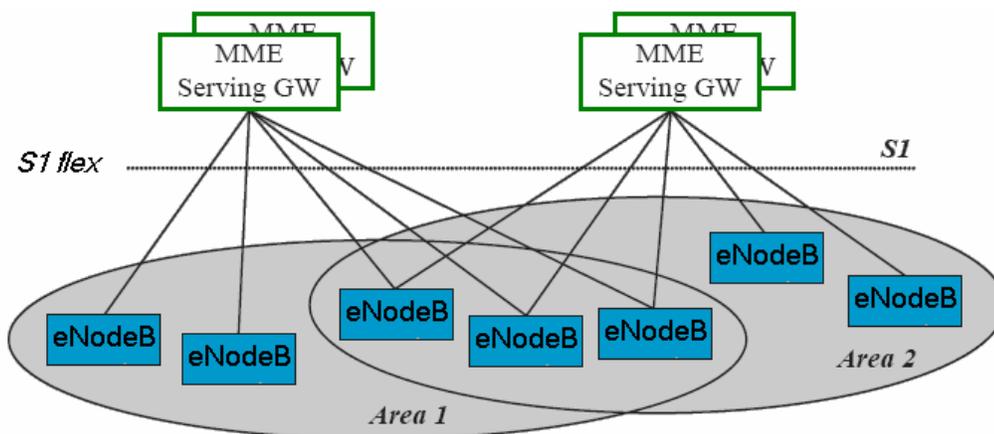


Figura 3.6 Función S1 flexibility

Tal como se ve en la Figura 3.6, *S1 flex* proporciona redundancia y reparto de carga, permitiendo a un eNB estar conectado a más de un nodo MME o *Serving Gateway*. La aplicación *S1 flex* es para ambos de manera independiente.

3.3.10 Roaming

De forma similar a los posibles escenarios considerados en las redes actuales, hay que distinguir dependiendo si el tráfico de usuario se encamina a la red de origen o no. Este último escenario es lo que se conoce como *local breakout*. En el caso de que el tráfico de usuario se oriente a la red Home, la solución adoptada en SAE pasaría por hacer una separación entre el S-GW y el PDN-GW. El primero, junto con la EUTRAN y los MMEs, se situaría en la red visitada mientras que el PDN GW, el HSS y el PCRF se situarían en la red de origen.

La interfaz entre el S-GW y el PDN-GW pasaría a ser la interfaz S8 que se basa en el actual punto de referencia Gp existente entre los SGSNs y GGSNs. No obstante aún quedan por definir algunos puntos no resueltos como puede ser la localización del PCRF en la red visitada, así como una posible interacción entre el PCRF de la red de origen y la red visitada.

El escenario *local breakout* es de aplicación en determinadas situaciones en los que el servicio puede ser directamente ofrecido por el operador visitado, ejemplo: se delega en la red del operador visitado el servicio de acceso a Internet. Respecto al escenario anterior, el PDN-GW se situaría en la red visitada, quedando aún por resolver la interacción entre el PCRF de la red de origen y visitada.

3.3.11 Control de Políticas y de Tarificación

En los Release 5 y 6 del 3GPP se definen las primeras arquitecturas para la tarificación y control de QoS por flujo IP. La unificación de estas arquitecturas se finaliza en el Release 7 bajo el nombre de PCC (*Policy and Charging Control*). Esta arquitectura define un nodo, el PCRF, que se encarga de autorizar los servicios o flujos IP a los que accede un usuario, así como el de realizar la provisión de las políticas de tarificación y de QoS en el nodo encargado de ejecutarlas, el PCEF (GGSN en redes GPRS/UMTS). Otra característica de PCC es la mejora en el modelo de solicitud de la QoS por “*PDP Context*”, dándose un paso muy importante a lo que es el control de la QoS, en las nuevas redes de datos, recayendo en el operador y no en el UE.

Un aspecto clave para los operadores, es poder reutilizar a largo plazo toda la arquitectura desplegada para la gestión de políticas en la red y en el terminal, es por esto que, de cara a asegurar una migración suave hacia SAE, se ha tomado como criterio de diseño, la reutilización de las interfaces del PCRF definidos para el Release 7.

3.3.12 WCDMA/HSPA conectado al Evolved Packet Core

Cuando la tecnología LTE/SAE ha sido introducida en la red, es necesario el *handover* para WCDMA/HSPA, y éste se resuelve conectándose a la red EPC. De hecho, el SGSN del núcleo de red GSM es utilizado para que WCDMA/HSPA sea conectado al EPC, el cual actúa como un GGSN cuando el tráfico es ruteado a través de la RAN de WCDMA/HSPA usando la interfaz S4 (que se basa en la interfaz Gn/Gp utilizada entre GGSN y SGSN), y como un EPC normal cuando el tráfico es ruteado a través de la RAN de LTE. Esto es posible desde un extremo del plano de usuario en el EPC, manteniendo así la dirección IP del terminal. Las partes del plano de control del EPC, no son usadas cuando el terminal está conectado a la RAN de WCDMA/HSPA, en cambio, los protocolos del núcleo de red del SGSN si se utilizan. Con este enfoque, los cambios necesarios son mínimos para el núcleo de red de paquetes utilizado por WCDMA/HSPA, al mismo tiempo debe ser capaz de proporcionar un rápido e ininterrumpido *handover* desde y hacia LTE (Figura 3.7).

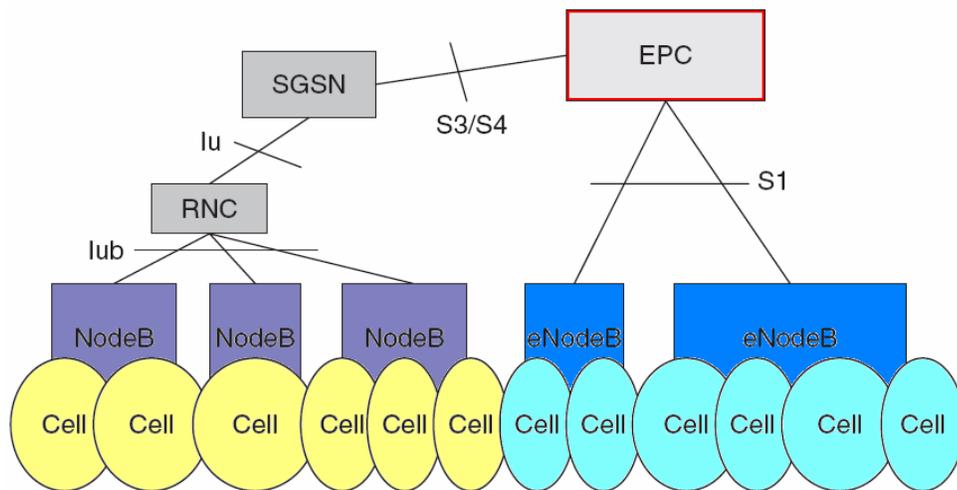


Figura 3.7 WCDMA/HSPA conectada con LTE/SAE

Cuando es necesario el *handover* desde WCDMA/HSPA a LTE, la conexión se hace al EPC por medio del SGSN a través de la interfaz S3 que se basa en la interfaz Gn utilizada entre SGSNs para la reubicación de SGSN. Así, el *handover* está cerca de la reubicación de SGSN con un cambio del plano de usuario en el EPC en lugar de en el GGSN.

3.4 Red de acceso

3.4.1 Arquitectura RAN

Si bien en cualquier RAN de cualquier tecnología de acceso radio como necesidad mínima, es poseer un nodo que conecte la antena de una celda. Las diferentes tecnologías de acceso radio han encontrado diversas soluciones para el número de tipos de nodos e interfaces que la RAN tendrá. Las arquitecturas RAN de WCDMA/HSPA y LTE son diferentes por lo que se detallarán a continuación sus diferencias y similitudes.

3.4.2 Red de Acceso Radio de WCDMA/HSPA

En esencia, un factor importante para la arquitectura RAN de WCDMA/HSPA es la funcionalidad de la macro-diversidad, lo que implica que un terminal se está comunicando con varias celdas simultáneamente, y es principalmente usado por terminales cercanos a la frontera de la celda para mejorar el rendimiento. El conjunto de celdas que se está comunicando con el terminal de usuarios (UE – *User Equipment*) se conoce como el conjunto activo. Esta diversidad requiere un punto de anclaje en la RAN que divide y combina los flujos de datos, para hacer esto posible hay que tener el anclaje en el nodo que conecta la antena de una celda y tener otras celdas con sus flujos de datos dirigidos a través de ese nodo, esto no es deseable desde el punto de vista de una red de transporte. La mayoría de las redes de acceso radio tienen las limitaciones de la red de transporte, principalmente en el último tramo, que es el último salto al sitio de la antena. Además, los sitios de antena son normalmente hojas en una rama del árbol y, por tanto, un anclaje en una hoja a menudo implica que en el último tramo tiene que ser atravesado varias veces como se ilustra en la Figura 3.8. Debido a este hecho, el punto de anclaje fue especificado para ser en un nodo separado al nodo de conexión de la antena.

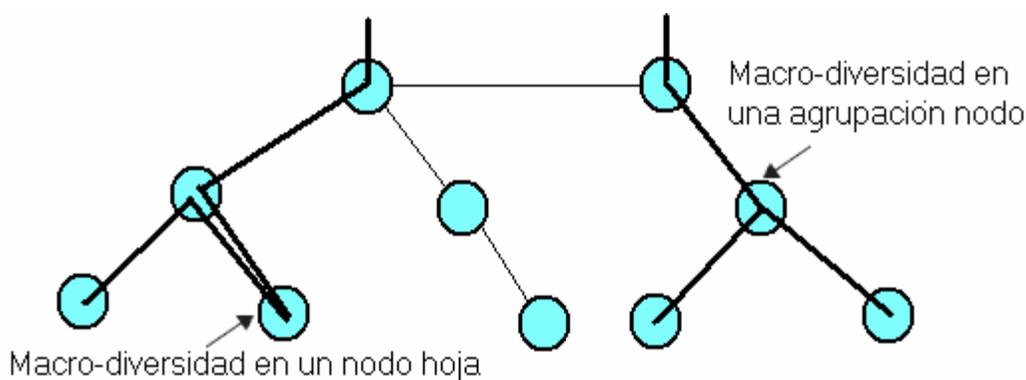


Figura 3.8 Topología de la red de transporte influyendo en la asignación de funciones

Como una consecuencia de lo anterior, la capa de enlace necesita tener fin en el mismo nodo como la macro-diversidad o en un nodo más alto en la jerarquía RAN. Desde que la única razón para poner fin a la capa de enlace en otro nodo sería ahorrar recursos de transporte, y el tenerlos separados causaría una considerable complejidad, se decidió tenerlos en el mismo nodo. El nodo fue nombrado RNC (*Radio Network Controller*), ya que básicamente controla la RAN.

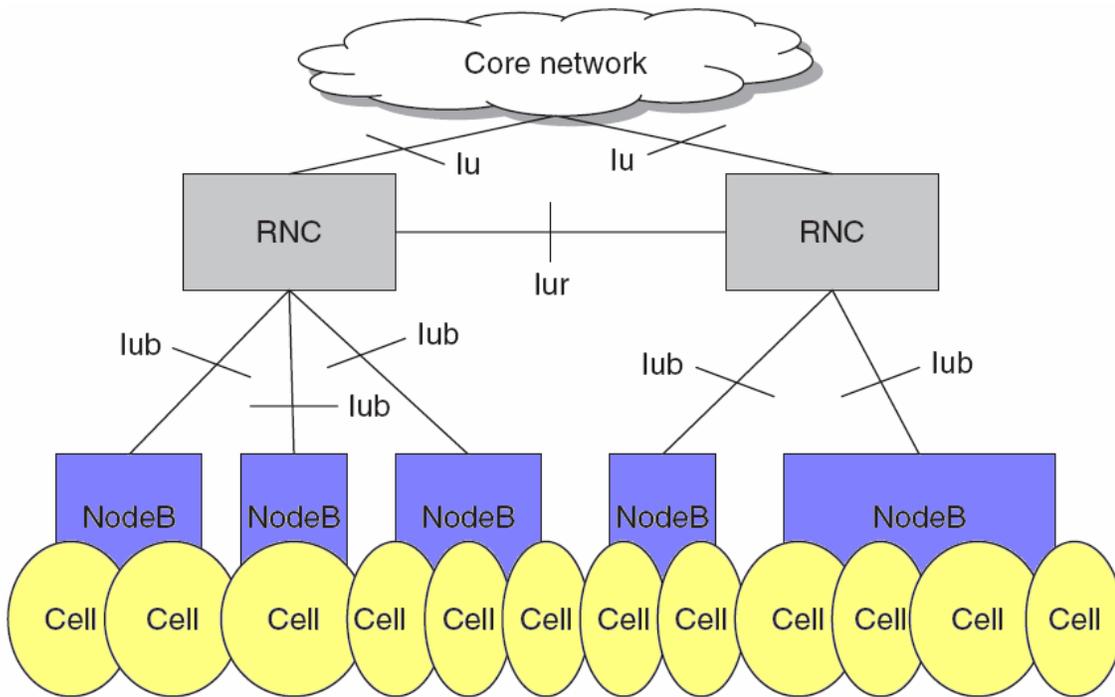


Figura 3.9 Red de acceso radio WCDMA/HSPA: nodos e interfaces

La Figura 3.9 muestra una visión general de la red de acceso radio WCDMA/HSPA. Cada RNC en la red puede conectarse a cualquier otro RNC en la misma red utilizando la interfaz lur, la cual es una amplia interfaz de red que hace posible mantener un RNC como un punto de anclaje para un terminal y ocultar la movilidad desde el núcleo de red. Además, la interfaz lu puede realizar la macro-diversidad entre las celdas pertenecientes a diferentes RNC. Un RNC se conecta a un NodoB (NB) o más, utilizando la interfaz lub, pero el NodoB sólo puede conectarse a un único RNC el cual lo controla. Esto significa que el RNC es el que posee los recursos radio del NodoB.

Cuando se especifican en donde deberían residir las funcionalidades RAN, se hace necesario que la propiedad de la interfaz radio de WCDMA disponga un nodo centralizado que maneje la macro-diversidad, así como el control de los recursos radio en varias celdas. Aunque el NodoB es un nodo lógico que maneja la transmisión y recepción de un conjunto de celdas, el RNC controla varios NodosB y de esa manera un área mayor. Además, la interfaz lur hace esto posible para tener un enfoque coordinado en toda el área de cobertura de la red.

El SRNC es el que hace la evaluación de los informes sobre las mediciones del terminal y, basándose en ellos, decide cual celda será parte del conjunto activo. También forma la calidad del terminal, la conexión de los usuarios al núcleo de red y la configuración del terminal con lo que se permite los diferentes servicios que el usuario desee utilizar.

Durante la conexión, el terminal se puede mover y en algún momento puede necesitar conectarse a una celda que pertenezca a otro RNC. En tal caso, el SRNC del terminal necesita ponerse en contacto con el RNC propietario de las celdas que el terminal tiene

para utilizar, pidiendo permiso para añadir la nueva celda para el conjunto activo. Si el CRNC propietario las acepta, el SRNC manda que el terminal sume la celda a su conjunto, así el CRNC se convierte entonces en un *drift RNC* (DRNC). Cabe señalar que el *drift RNC* puede ser un *servicing RNC* para el otro terminal al mismo tiempo. Por lo tanto, el *servicing* y *drift* son dos diferentes roles que un RNC puede tomar en una conexión a un terminal (ver Figura 3.10).

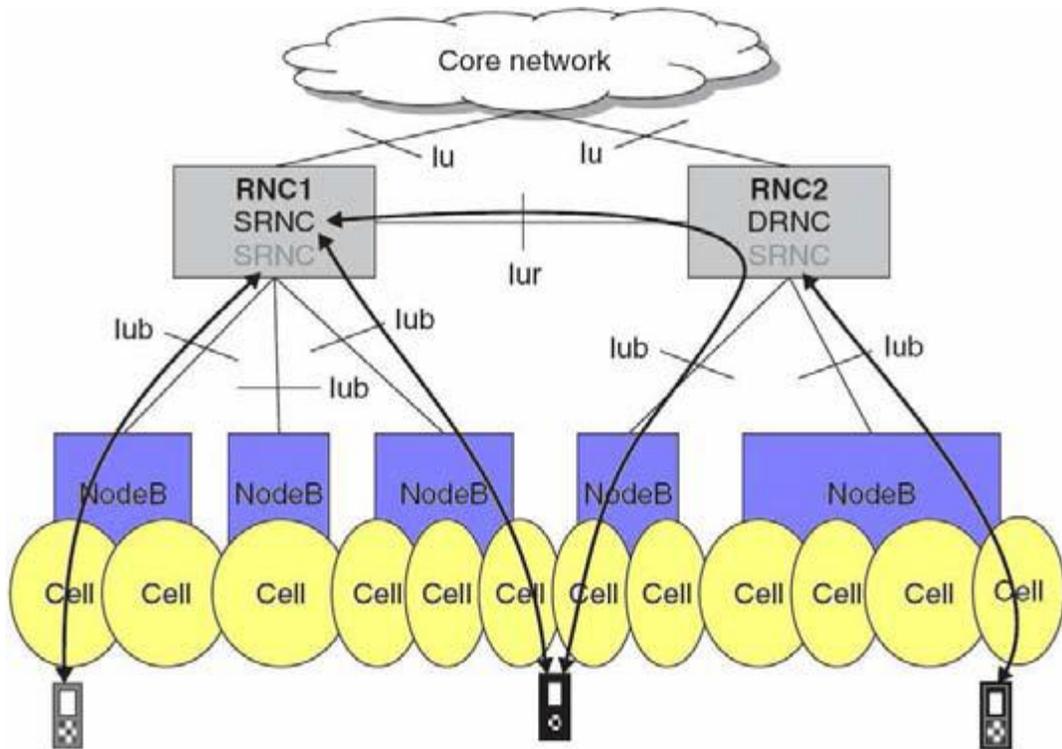


Figura 3.10 Roles de RNC

Para el servicio de Multimedia de *Broadcast* y *Multicast* (MBMS), el RNC tiene un rol especial que consiste en decidir si se usan los canales *broadcast* en la celda o se usan los canales *unicast*. Cuando se utilizan los canales *unicast*, el funcionamiento es para un tráfico normal, mientras que cuando se utiliza el canal *broadcast*, el RNC tiene la opción de asegurarse de que los mismos datos sean transmitidos en el entorno de sus celdas. Es por esto, que el terminal puede realizar una macro-diversidad combinando los flujos desde las diferentes celdas, y el rendimiento del sistema puede ser incrementado.

La base de utilizar *unicast* o *broadcast* para el servicio MBMS en una celda, es típicamente establecida por el supuesto número de terminales móviles a la recepción del similar contenido al mismo tiempo en la misma celda. Si hay pocos usuarios en la celda, un enfoque *unicast* es más eficiente que si hay muchos usuarios (o en los alrededores de la celda), aquello es más eficiente con el uso de canales *broadcast*.

El 3GPP ha considerado la posible migración de arquitectura RAN hacia una opción favorable. Existen varias propuestas, una de ellas consiste en mover completamente el

RNC del NodoB que ya es posible con la arquitectura del Release 99, pero con algunas consideraciones.

Otra de éstas, es la ubicación de las funciones de seguridad en el sitio del NodoB, el cual es normalmente considerado como un sitio remoto y sin garantía. Estas funciones especifican la importancia y confidencialidad que debe tomar para el transporte de las claves criptográficas al NodoB. Esto se hace en el último tramo, el cual necesita estar protegido por algún mecanismo de seguridad, por ejemplo, IPSec. Sin embargo, esto no es suficiente para realizar la conexión segura, como también el equipamiento propio a sus necesidades a las pruebas de manipulaciones, lo que puede ser complejo y costoso. Por lo tanto, si el operador sabe que el NodoB se encuentra en un sitio seguro, entonces él puede implementar una red con NodosB y RNCs que tienen las aplicaciones en el mismo equipamiento físico.

Otra consideración surge con la funcionalidad de RNC al sitio del NodoB, que es la funcionalidad de macro-diversidad necesitada por el enlace de subida de HSPA para obtener una buena capacidad y calidad.

3.4.3 Red de Acceso Radio de LTE

En el momento de adoptar la arquitectura de un sólo nodo en LTE, la función de la macrodiversidad fue puesto en discusión en el 3GPP. Aunque técnicamente es posible colocar la funcionalidad de macro-diversidad en el nodo que le corresponde a LTE (el eNB o eNB), la necesidad fundamental de ésta fue cuestionada. Muy rápidamente se decidió que la macrodiversidad en el enlace descendente no es necesaria para el tráfico *unicast*, pero con respecto al enlace ascendente, se resolvió que no ofrecía las ganancias para LTE que motiva el aumento de complejidad. Así se llegó a la conclusión que la macro-diversidad entre eNBs no es admitida en LTE.

Para el tráfico *broadcast* y *multicast* fue decidido que los eNBs necesitan ser capaces de transmitir el mismo dato en una manera sincronizada, con el fin de apoyar la operación de los servicios MBMS. También las necesidades de movilidad del terminal deben ser consideradas, ya que existen dos consideraciones con la movilidad que requieren atención: garantía para que no se pierdan los datos al cambiar de celda y la reducción del impacto en el núcleo de red al cambiar de celda. Para resolver éstas, se acordó que, con un centralizado anclaje en una retransmisión de capa exterior, el eNB haría esto más fácil para la movilidad. Con esto, el 3GPP decidió que la complejidad agregada, al no poseer el anclaje, fue mejor que el requerimiento de un nodo con funcionalidad RAN fuera del eNB.

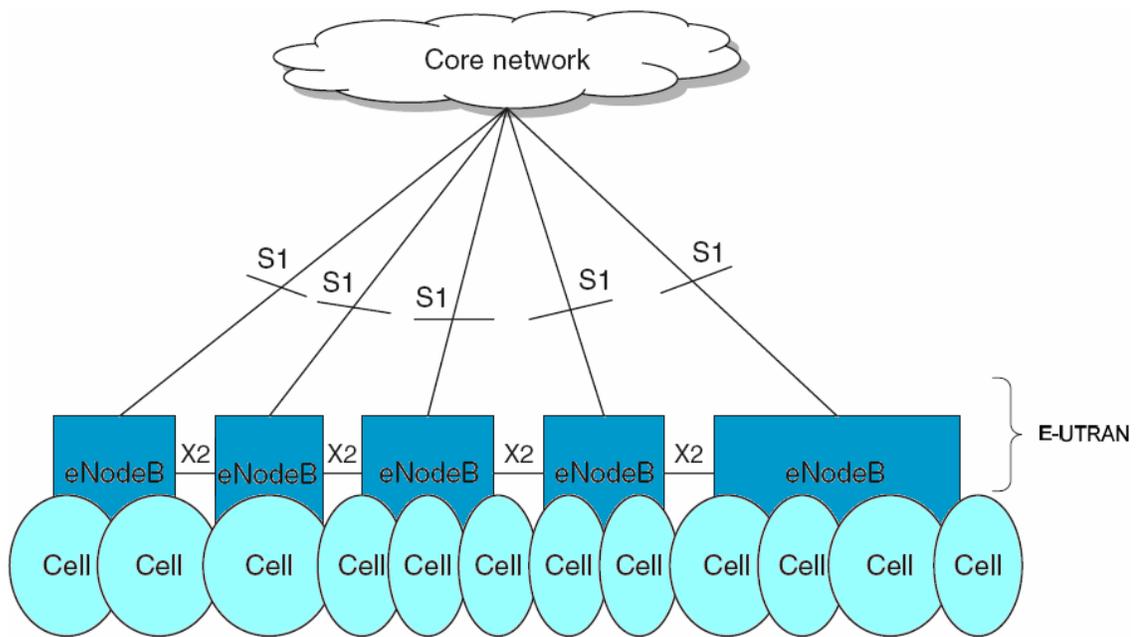


Figura 3.11 Red de acceso radio LTE: nodos e interfaces.

En la Figura 3.11 se ve un enfoque general de la red de acceso radio LTE con sus nodos e interfaces. Contrariamente a lo que se vió en la red de acceso radio de WCDMA/HSPA, en LTE sólo se tiene un tipo de nodo, el eNB (E-UTRAN NodoB), por ello, no hay equivalente de un nodo RNC para una red LTE. La principal razón de esto es que no hay soporte para el enlace ascendente o descendente dedicado al tráfico de usuario y la filosofía de diseño de reducir al mínimo el número de nodos.

El eNB está a cargo de un conjunto de celdas que no necesitan estar usando el mismo sitio de antena, de forma similar al NodoB en WCDMA/HSPA. El eNB ha heredado la mayoría de la funcionalidad RNC y es un nodo más complejo que el NodoB. También está a cargo de la única celda de decisiones RRM (*Radio Resource Management*-Gestión de Recursos de Radio), decisiones de *handover* y la programación de los usuarios tanto en el enlace ascendente y descendente. Obviamente, además realiza las funciones de capa física como; la codificación, decodificación, modulación, demodulación, intercalación y organiza los mecanismos de retransmisión (HARQ).

El eNB está conectado al núcleo de red utilizando la interfaz S1, que es similar a la interfaz Iu. También existe una similar a la interfaz Iur de WCDMA/HSPA llamada interfaz X2, ésta conecta cualquier eNB en la red con cualquier otro eNB. Sin embargo, dado que el mecanismo de movilidad para LTE es algo diferente en comparación con WCDMA/HSPA, ya que no es punto de anclaje en la RAN de LTE, la interfaz X2 sólo se utiliza entre eNBs que tienen celdas vecinas y también se utiliza para apoyar la movilidad en modo activo. Esta interfaz además puede ser usada para funciones RRM de múltiples celdas. El plano de control de la interfaz X2 es similar a su contraparte de CDMA/HSPA, la interfaz Iur, pero carece de apoyo de la funcionalidad DRNC ya que los conceptos de *controlling* y *drift* no existen aquí. En lugar de ello, proporciona soporte a la funcionalidad de reubicación del eNB, realizando por medio de éste, el *handover*. El

plano de usuario del X2 se utiliza de apoyo para la menor pérdida de movilidad del reenvío de paquetes. Además los eNBs que están interconectados entre si por la interfaz X2 constituyen la conocida E-UTRAN (*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*).

Para el tipo de tráfico MBMS, la red de acceso LTE decide si utilizar canales *unicast* o *broadcast* como es en el caso de WCDMA/HSPA. Con respecto a los canales *broadcast*, los incrementos de cobertura y capacidad serán significativos si se utiliza la operación MBSFN (*Multicast Broadcast Single Frequency Network*). A fin de que en los eNBs sea posible enviar los datos simultáneamente, una Entidad de Coordinación MBMS (MCE) sincroniza mediante un reloj global (por ejemplo GPS) las transmisiones de los eNBs y los flujos de datos.

3.4.4 Arquitectura de Protocolos de la Interfaz Radio

Un panorama general de la arquitectura de protocolos LTE para el enlace descendente se ilustra en la Figura 3.11. Como se hará evidente más adelante, no todas las entidades que se muestran son aplicables a todas las situaciones. Por ejemplo, la programación MAC, HARQ con rápida combinación, no son utilizados para el *broadcast* del sistema de información. Además, la estructura del protocolo LTE relacionada a las transmisiones de enlace ascendente, es similar al descendente en la Figura 3.12, aunque hay diferencias con respecto a la selección del formato de transporte y la transmisión de múltiples antenas.

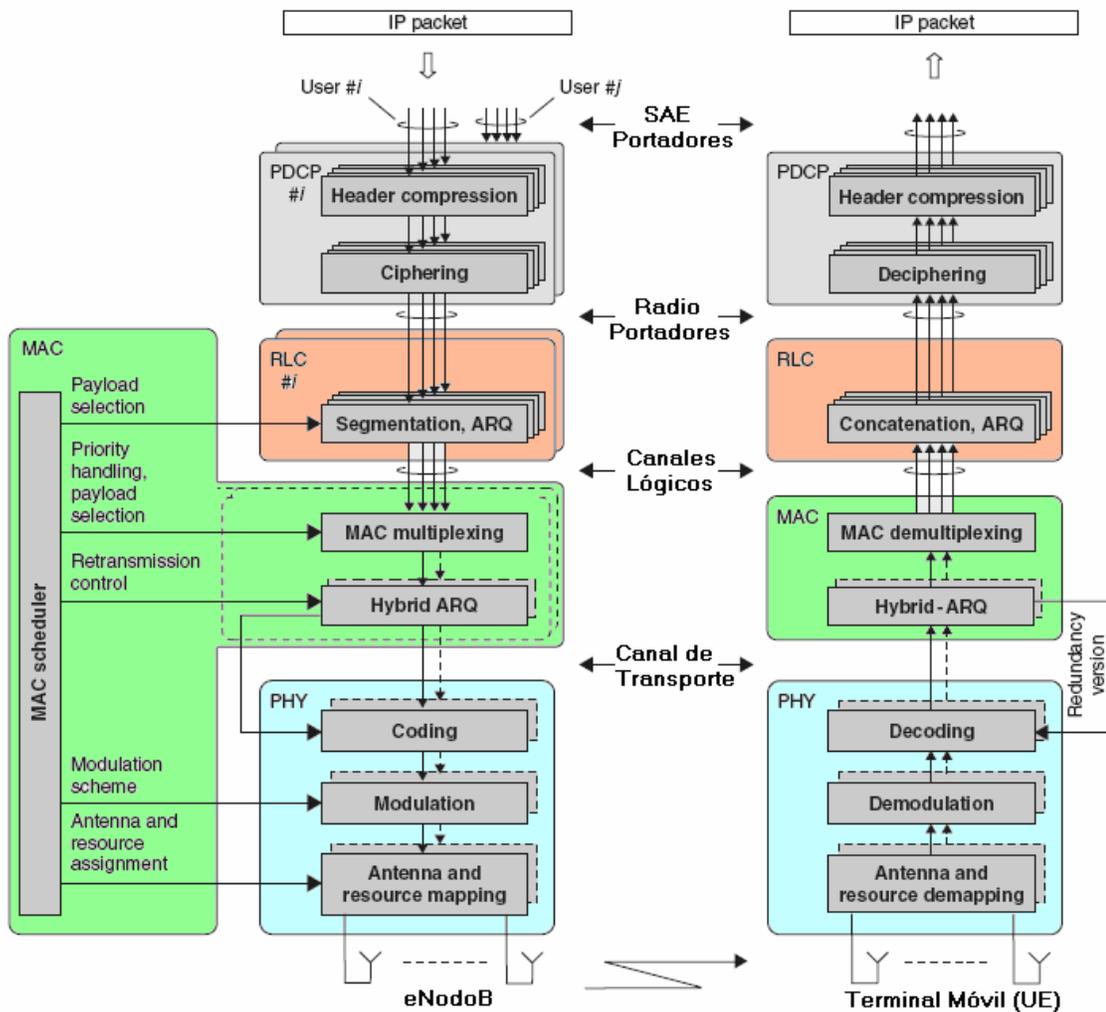


Figura 3.12 Arquitectura de protocolo LTE

Los datos que se transmiten entran como paquetes IP en uno de los portadores SAE. Antes de la transmisión vía interfaz radio, los paquetes IP pasan por las múltiples entidades de protocolo.

3.4.5 RLC: Radio Link Control

El RLC de LTE es responsable de la segmentación de los paquetes IP, conocidos como unidades de datos de servicio (RLC SDUs), en unidades más pequeñas llamadas unidades de datos del protocolo RLC (RLC PDUs). También se encarga de la retransmisión de los PDUs (*Protocol Data Units*) recibidos erróneamente y por último, asegura la secuencia entregada de los SDUs (*Service Data Units*) a las capas superiores.

El mecanismo de retransmisión RLC proporciona la entrega libre de errores de datos. Para lograr esto, un protocolo de retransmisión opera entre las entidades RLC en el receptor y en el transmisor. Mediante la supervisión de los números de secuencia que se reciben, la recepción de RLC puede identificar los PDUs que faltan. Para cada PDU recibido incorrectamente, el RLC pide una retransmisión la cual se indica y se transmite por medio de informes de estatus. Cuando se configura la retroalimentación, un informe de estatus normalmente contiene información sobre múltiples PDUs y se transmite relativamente con poca frecuencia. Basado en la recepción de reportes de estatus, la entidad RLC en el transmisor puede retransmitir los PDUs desaparecidos si es solicitado. Cuando el RLC está configurado para solicitar la retransmisión, se dice que funciona en el modo AM (Modo Admitido) que es normalmente utilizado para servicios basados en TCP (*Transmission Control Protocol*), en donde la transferencia de datos libres de errores es de interés primordial.

Al igual que en WCDMA/HSPA, el RLC también se puede configurar en modo UM (Modo No admitido) y en modo TM (Modo Transparente). En UM se proporciona la entrega en secuencia a capas superiores, pero no se solicitan las retransmisiones de los PDUs que faltan. UM suele ser utilizado para servicios tales como VoIP, donde la entrega libre de errores es de menos importancia en comparación con la entrega de corto tiempo. El modo TM es sólo utilizado para fines específicos tales como el acceso aleatorio.

A pesar de que el RLC es capaz de manejar errores de transmisión debido al ruido y a impredecibles variaciones del canal, en la mayoría de los casos estos son tratados por el protocolo MAC basado en HARQ.

Además del manejo de la retransmisión y la entrega en secuencia, el RLC también es responsable de la segmentación y concatenación como se ilustra en la Figura 3.13. Dependiendo de la decisión del programador, una cierta cantidad de datos es seleccionada para la transmisión desde el *buffer* RLC SDU, y los SDUs son segmentados/concatenados para crear el RLC PDU. Así, para LTE, el tamaño del RLC PDU varía dinámicamente, mientras que en WCDMA/HSPA antes de la versión 7, se uso un tamaño de PDU semiestático. Por lo tanto, la velocidad de transmisión de datos LTE puede variar desde unos pocos Kbps hasta un valor por muy encima de los cien Mbps, motivando la fácil compatibilidad para LTE. Estos mecanismos de adaptación de velocidad y programación se encuentran en el eNB.

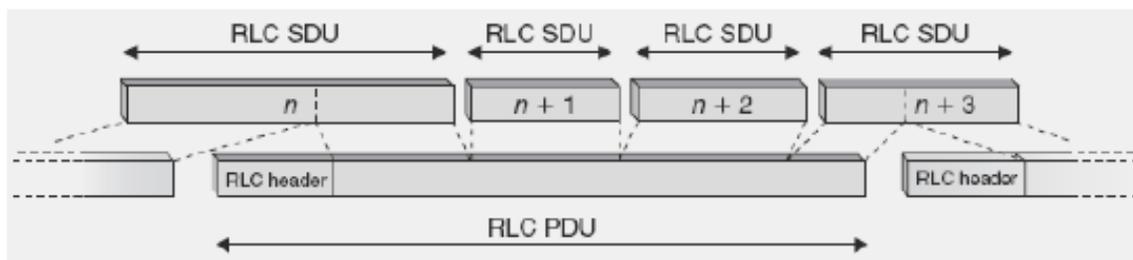


Figura 3.13 Segmentación y Concatenación RLC

3.4.6 MAC: Medium Access Control

La capa MAC se encarga del canal lógico de multiplexación, retransmisiones HARQ y la programación de ambos enlaces, ascendente y descendente. Esto es definido por medio de una celda de servicio, que es la celda del terminal móvil, que esta conectada a la celda responsable de la operación *scheduling* y HARQ.

3.4.7 Canales Lógicos y de Transporte

La MAC ofrece servicios al RLC en forma de canales lógicos. Un canal lógico es definido mediante el tipo de información que lleva y son generalmente clasificados dentro de los canales de control, usados para la transmisión del control y configuración de información necesaria para la operación del sistema LTE, y los canales de tráfico que son usados para los datos del usuario.

Los tipos de canales lógicos especificados para LTE son:

- *Broadcast Control Channel* (BCCH), es usado para la transmisión del sistema de control de información desde la red hacia todos los terminales móviles de la celda. Antes del acceso del sistema, un terminal móvil necesita leer la información transmitida en el BCCH para averiguar como está configurado el sistema.
- *Paging Control Channel* (PCCH), utilizado para la paginación de los terminales móviles, cuya ubicación en el nivel de celdas no es conocido en la red y el mensaje de paginación, por lo tanto, necesita ser transmitido en varias celdas.
- *Dedicated Control Channel* (DCCH), utilizado para la transmisión del control de información desde/hacia un terminal móvil. Este canal se utiliza para la configuración individual de los terminales móviles, como la entrega de diferentes mensajes.

- *Multicast Control Channel (MCCH)*, utilizado para la transmisión del control de información requerida para la recepción del MTCH.
- *Dedicated Traffic Channel (DTCH)*, usado para la transmisión bidireccional de datos de usuario a un terminal móvil.
- *Multicast Traffic Channel (MTCH)*, utilizado para la transmisión del enlace descendente de los servicios MBMS.

La capa MAC también utiliza los servicios en forma de canales de transporte. Un canal de transporte define cómo y con qué características la información es transmitida por la interfaz radio. Siguiendo la notación de HSPA, que ha sido heredado por LTE, los datos en un canal de transporte se organizan entre bloques de transporte. En cada intervalo de tiempo de transmisión (TTI), a lo más un bloque con un determinado tamaño, es transmitido a través de la interfaz radio.

En presencia de multiplexación espacial puede haber hasta dos bloques de transporte por TTI.

Asociado a cada bloque de transporte existe un formato de transporte (TF), especificando como el bloque es transmitido, incluyendo información sobre su tamaño y del sistema de modulación. Variando el formato de transporte, la capa MAC puede realizar diferentes tipos de velocidades de transmisión de datos y por lo tanto llevar a cabo su control.

Los tipos de canales de transporte especificados para LTE son:

- *Broadcast Channel (BCH)*, tiene un formato de transporte fijo. Se utiliza para la transmisión de la información sobre el canal lógico BCCH.
- *Paging Channel (PCH)*, es utilizado para la transmisión de información de paginación sobre el canal lógico PCCH. El PCH soporta la recepción discontinua (DRX), para permitir al terminal móvil ahorrar energía de la batería cuando se hace la recepción sólo en instantes de tiempos predefinidos [3].
- *Downlink Shared Channel (DL-SCH)*, es el canal de transporte utilizado para la transmisión de los datos de bajada en LTE. Soporta características LTE

como, la tasa de adaptación dinámica y la programación del canal dependiente. Soporta DRX, reduciendo el consumo de energía del móvil sin dejar de ofrecer una experiencia *always-on*.

- *Multicast Channel (MCH)*, se utiliza para apoyar el servicio MBMS. Se caracteriza por el formato de transporte semiestático y programación semiestático. En caso de transmisión multi-celda utilizando MBSFN, la programación y configuración del formato de transporte es coordinado entre las celdas implicadas en la transmisión MBSFN.
- *Uplink Shared Channel (UL-SCH)* es semejante al DL-SCH.

Parte de la función de la MAC, es la multiplexación de los diferentes canales lógicos y el mapeado de los mismos a los canales de transporte apropiados. A diferencia de la MAC en HSDPA, en LTE, la MAC apoya la multiplexación de RLC PDUs desde diferentes portadoras de radio en el mismo bloque de transporte. Un ejemplo de mapeado de los canales lógicos y de transporte se ve en la Figura 3.14

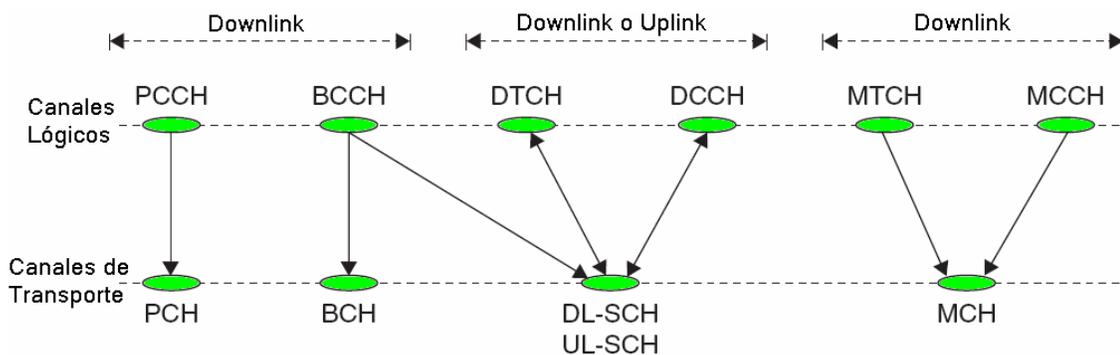


Figura 3.14 Ejemplo de mapeado de los canales lógicos-transporte

3.4.8 Programación Downlink y Uplink

Uno de los principios básicos del acceso radio LTE, es la transmisión del canal compartido en el DL-SCH y UL-SCH, es decir, los recursos de tiempo- frecuencia son dinámicamente compartidos entre los usuarios en ambos enlaces. El programador (*scheduler*), forma parte de la capa MAC y controla la asignación de recursos *uplink* y *downlink*. Ambos recursos son separados en LTE y las decisiones de ellos pueden ser tomadas independientemente.

La función del programador *downlink*, es determinar dinámicamente en cada trama de 1 ms, cuál o cuáles terminales se supone que reciben la transmisión DL-SCH y sobre que

recursos lo hacen. En cada trama, se asignan bloques de recursos (unidad basada en tiempo-frecuencia que abarca 180 KHz) a un terminal para la recepción de la transmisión DL-SCH.

El objetivo general del programador es aprovechar las variaciones del canal entre los terminales móviles, y de preferencia las transmisiones hacia terminales móviles sobre recursos con ventajas en las condiciones del canal. Debido a la utilización de OFDM como el sistema de transmisión en el enlace descendente, LTE puede beneficiarse de las variaciones del canal en los dominios de frecuencia y tiempo, mientras que HSDPA sólo puede aprovechar las variaciones en el dominio del tiempo. La información acerca de las condiciones del canal descendente se realimenta desde el terminal móvil hacia el eNB por medio de informes de calidad del canal. En suma, a la calidad del canal, un alto rendimiento de la programación también debe tomar en cuenta el estado del *buffer* y en las decisiones prioritarias. También es parte del programador la coordinación de interferencia, que trata de controlar la Interferencia Inter-Celda.

La función básica del programador *uplink* es similar al *downlink*, es decir, determina dinámicamente para cada intervalo de 1 ms, cuáles terminales móviles son los que transmiten los datos sobre el UL-SCH, y en qué recursos del enlace ascendente. Para LTE, el enlace ascendente es ortogonal y el recurso compartido es controlado por el programador del eNB. Un recurso

asignado no utilizado en su totalidad por un terminal móvil, no puede ser parcialmente utilizado por otro. Por lo tanto, debido al enlace ascendente ortogonal, esto representa menos ganancia al dejar que el terminal móvil seleccione el formato de transporte. Consecuentemente, además de la asignación de los recursos en tiempo-frecuencia al terminal móvil, el eNB también es responsable de controlar el formato de transporte (el tamaño de carga útil y el régimen de modulación) que el terminal móvil utiliza.

3.4.9 HARQ

El protocolo HARQ de LTE es similar al correspondiente protocolo usado en HSPA, en donde se utilizan múltiples procesos paralelos de parada y espera. Sobre la recepción de un bloque de transporte, el receptor hace un intento de decodificar el bloque e informa al emisor acerca del resultado de la operación a través de un único bit ACK/NAK (*Acknowledgement/Negative Acknowledgement*), que indica si la decodificación se ha realizado correctamente o si es obligatorio una retransmisión del bloque de transporte.

Para minimizar el *overhead* (cabecera), se usa un único bit ACK/NAK. Para LTE, por otra parte, las capas de protocolo son diseñadas conjuntamente, lo que implica menos restricciones en el diseño.

El mecanismo ARQ, es capaz de corregir la mayoría de errores de transmisión debido al ruido o variaciones imprevisibles del canal. Éste puede ocasionalmente dejar de hacer la entrega libre de errores a los bloques de datos RLC, causando una diferencia en la secuencia de los bloques entregados. Esto suele ocurrir debido a la errónea señalización de retroalimentación, por ejemplo, un NAK es incorrectamente interpretado como un ACK por el transmisor, causando la pérdida de datos. La probabilidad de que esto suceda puede ser del 1%, un error probablemente demasiado alto para los servicios basados en TCP que requieren prácticamente una entrega libre de errores de paquetes TCP. Más específicamente, para la sostenible velocidad de transmisión de datos superior a 100 Mbps, se requiere que la probabilidad de pérdida de paquetes sea inferior a 10^{-5} . Para mantener un buen desempeño de las altas velocidades de transmisión de datos, el RLC-AM asegurar de manera importante la entrega de datos libre de errores para TCP.

3.4.10 PHY: Physical Layer

La capa física (PHY) se encarga de la codificación, modulación, procesamiento de la PHY HARQ, procesamiento de múltiples antenas y el mapeado de la señal para los adecuados recursos físicos de tiempo-frecuencia. Todos ellos son dinámicamente controlados por la capa MAC. La capa física también se preocupa del tratamiento del DL-SCH y UL-SCH (ver Figura 3.15), en donde ambos se basan en un proceso similar aunque con algunas restricciones.

Para la difusión del sistema de información en el BCH, un terminal móvil debe ser capaz de recibir este canal de información como uno de los primeros pasos antes de acceder al sistema.

En efecto, el formato de transmisión debe ser conocido por los terminales previamente y en este caso, no hay control dinámico de cualquiera de los parámetros de transmisión de la capa MAC.

Para la transmisión de mensajes de paginación en el PCH, puede ser utilizada la adaptación dinámica de los parámetros de transmisión. La MAC puede controlar la modulación, la cantidad de recursos y el mapeado de antena. Sin embargo, como en el caso de un enlace ascendente todavía no se ha establecido cuando un terminal móvil es paginado, el HARQ no puede utilizarse, ya que no hay posibilidad de que el terminal móvil transmita un ACK/NAK.

El MCH se utiliza para las transmisiones MBMS, normalmente con una sola frecuencia de operación en la red, mediante la transmisión de varias celdas en los mismos recursos con el mismo formato al mismo tiempo. Por lo tanto, la planificación de transmisiones MCH deben coordinarse entre las celdas implicadas y no es posible la selección dinámica de los parámetros de transmisión para la MAC.

3.4.11 Estados LTE

En LTE, un terminal móvil puede estar en varios estados diferentes como se ve en la Figura 3.15. Para el encendido (*power-up*), el móvil entra en el estado LTE_DETACHED y no es conocido por la red. Antes de cualquier comunicación nueva entre el terminal móvil y la red, el terminal necesita registrarse con la red utilizando el procedimiento de acceso aleatorio para entrar en el estado LTE_ACTIVE o LTE_IDLE.

LTE_ACTIVE es utilizado cuando el terminal móvil es activado con la transmisión y recepción de datos. En este estado, el terminal móvil está conectado a una celda específica dentro de la red. Una o varias direcciones IP han sido asignadas al móvil, utilizando el C-RNTI (*Cell Radio-Network Temporary Identifier*). Los subestados IN_SYNC y OUT_OF_SYNC, dependen

de si el enlace ascendente se sincroniza a la red o no. Si el enlace ascendente está en el estado IN_SYNC, es posible la transmisión de datos de usuario y el control de señalización. En caso de que no sea así, se tiene lugar dentro de una determinada ventana de tiempo, el momento de alineación no es posible y el enlace se declara OUT-OF-SYNC. En este caso, el terminal móvil necesita realizar un procedimiento de acceso aleatorio para restaurar la sincronización del enlace.

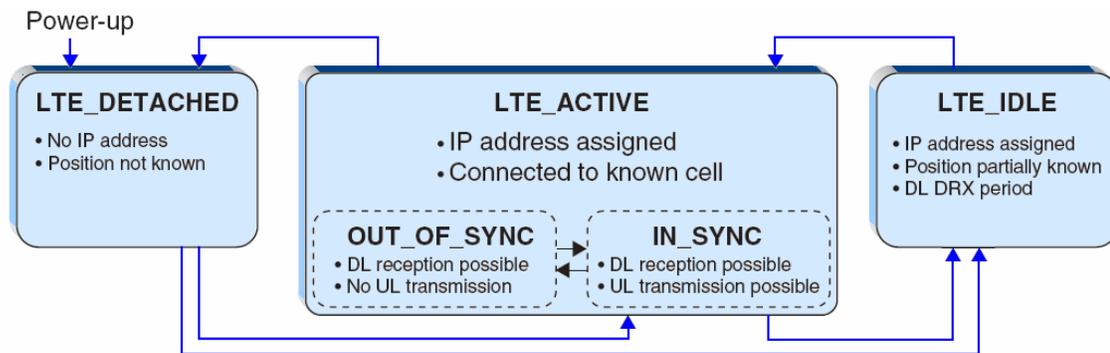


Figura 3.15 Estados LTE

LTE_IDLE es un estado de baja actividad en la que el terminal móvil duerme la mayor parte del tiempo, con el fin de reducir el consumo de batería. La sincronización del enlace ascendente no es mantenida y, por tanto, la única actividad de transmisión que puede tener lugar, es el acceso aleatorio para ir a LTE_ACTIVE. En el enlace descendente el móvil puede periódicamente despertar con el fin de ser paginado para las llamadas entrantes y mantiene su dirección IP con el fin de moverse rápidamente a LTE_ACTIVE cuando sea necesario.

3.4.12 Flujo de datos

El flujo de datos del enlace descendente a través de todas las capas de protocolo se ilustra en la Figura 3.16, en donde se da un caso con tres paquetes IP, dos en un portador radio y uno en otro portador radio. El flujo de datos en la transmisión ascendente es similar. El PDCP realiza la compresión del encabezado IP, seguida por un cifrado. Una cabecera PDCP se añade, con la información requerida para ser descifrado en el terminal. La salida del PDCP es dirigida al RLC.

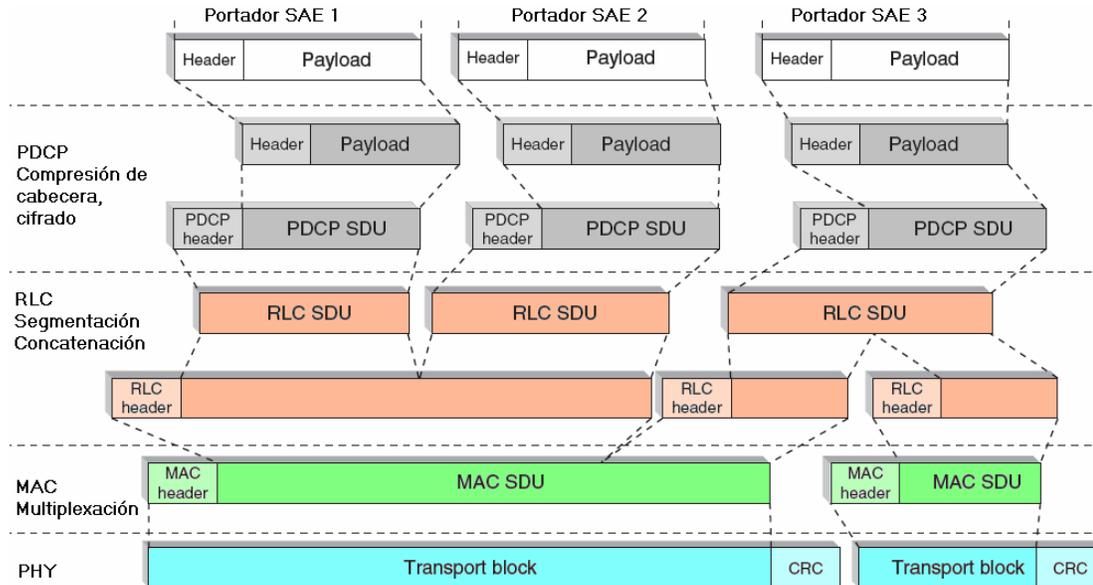


Figura 3.6 Flujos de datos LTE

El protocolo RLC realiza la concatenación y/o segmentación de los PDC PSDUs, y añade una cabecera RLC que se utiliza para la secuencia de entrega (por lógica del canal) en el Terminal móvil y para la identificación de los RLC PDUs en caso de retransmisiones. Los RLC PDUs son enviados a la capa MAC, reuniéndolos en un MAC SDU, y atribuyendo la cabecera MAC para formar un bloque de transporte. El tamaño de bloque depende de la tasa instantánea de datos seleccionada por el mecanismo de adaptación de enlace. Así, la adaptación de enlace afecta al proceso de la MAC y el RLC. Por último, la capa física asigna un CRC al bloque de transporte para la detección de errores, realiza la codificación y modulación, y transmite la señal resultante por el aire.

3.4.13 Interfaz Radio

La arquitectura funcional de los protocolos de la interfaz radio sigue, en líneas generales, el modelo OSI y la estructura específica de la capa de enlace. La Figura 3.17

muestra la pila de protocolos para el plano de usuario y el plano de control, interactuando con el eNB y el MME.

En el plano de usuario las capas PDCP, RLC y MAC (en la parte del eNB), realizan la compresión de cabecera, cifrado, programación y HARQ.

El plano de control tiene el protocolo NAS (*Network Attached Storage*), que es indicado sólo para la información y es parte de la comunicación entre el UE y el EPC. El PDCP realiza, por ejemplo, cifrado y protección de la integridad, los protocolos RLC y MAC realizan las mismas funciones que en el plano de usuario. El protocolo RRC realiza la difusión, paginación, gestión de conexión, control de portador radio, funciones de movilidad, reporte de medición y control del UE.

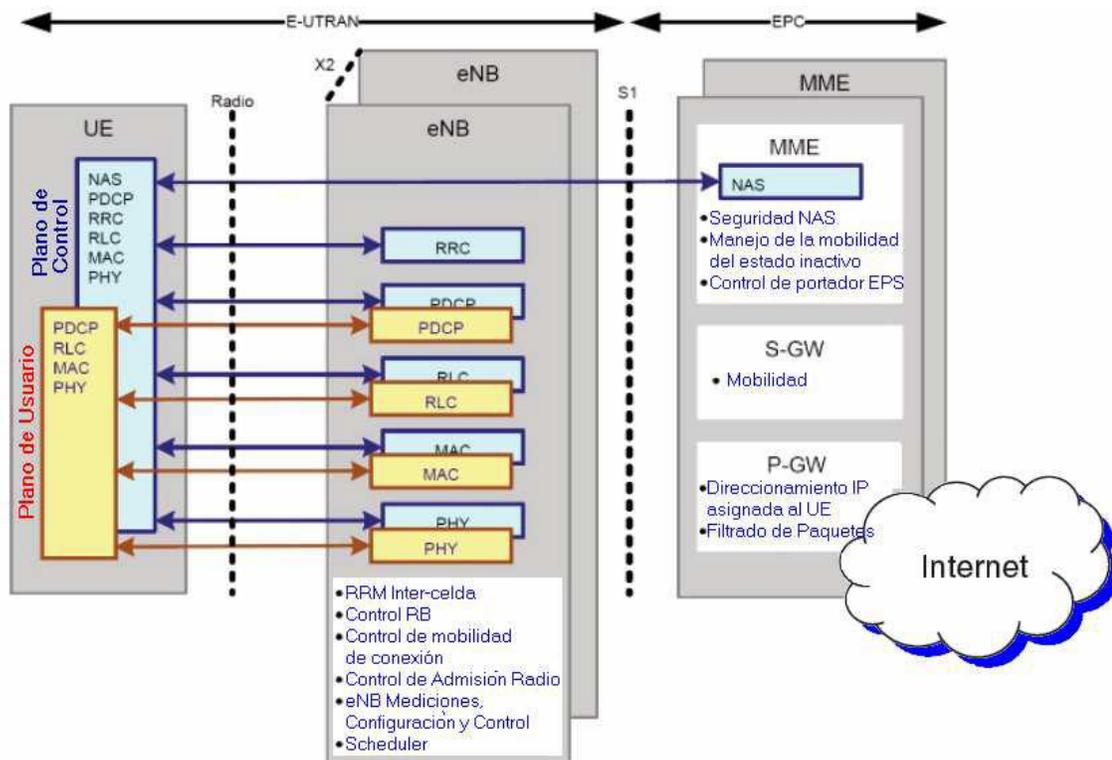


Figura 3.17 División Funcional entre E-UTRAN y EPC

3.4.14 QoS, Calidad de Servicio

Aplicaciones tales como VoIP, navegación por la *Web*, video telefonía y video *streaming*, tienen una especial necesidad por QoS. Por lo tanto, una importante función de cualquier red *all- packet* es proveer el mecanismo de QoS para la posible diferenciación de flujos de paquetes basado sobre los requerimientos QoS. En SAE, los flujos de QoS llamados portadores SAE, son establecidos entre el UE y el P-GW como

se ve en la Figura 3.18. Un portador radio transporta los paquetes de un portador SAE entre un UE y un eNB. Cada flujo IP es asociado con un distinto portador SAE y la red puede priorizar el tráfico como corresponde. Cuando es recibido un paquete IP desde Internet, el P-GW realiza la clasificación de paquetes basado sobre seguros parámetros predefinidos y enviados en un adecuado portador SAE.

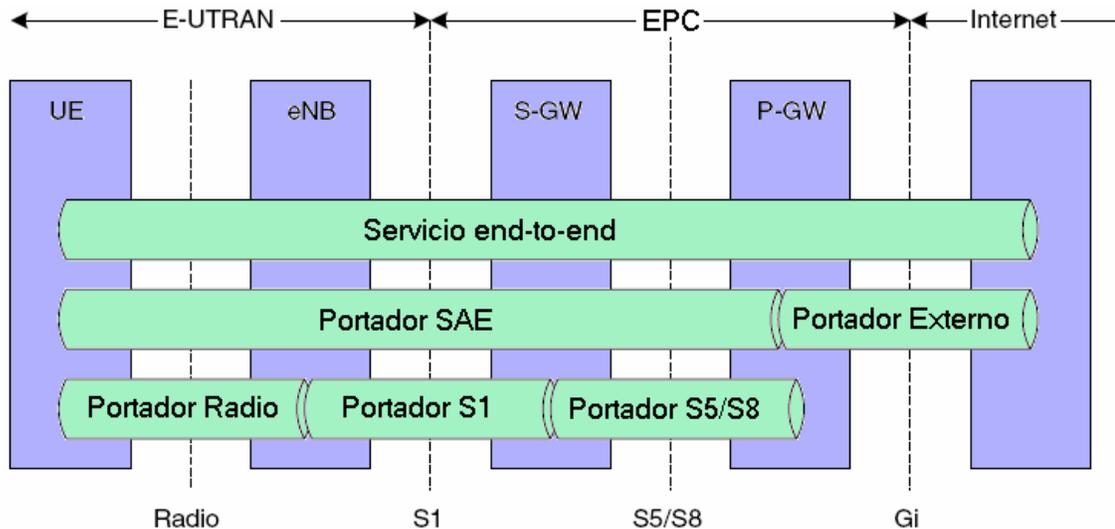


Figura 3.18 Arquitectura de Servicio de portador SAE

Una característica importante es la simplificación en el manejo y caracterización de los parámetros que definen la QoS asociada a cada portador. Aunque actualmente está en definición, parece probable que cada portador SAE se asocie a una etiqueta y a un valor de ARP (*Allocation and Retention Priority*).

La etiqueta es un escalador que define un perfil de QoS. Este perfil definiría las características relativas a pesos de colas, umbrales de admisión, umbrales de gestión de colas y sería configurado por el operador en cada nodo (por ej. eNB).

El ARP determinaría la posibilidad de aceptar una nueva activación o modificación del portador en situaciones de congestión. Además, en situaciones excepcionales de congestión, el ARP podría ser utilizado para determinar los portadores que deben liberarse.

Otro parámetro que define la QoS de cada portador es la velocidad de transmisión requerida. En base a esto se distinguen dos tipos de portador: "GBR" (*Guaranteed Bit Rate*) y "Non-GBR", dependiendo de que requieran o no una velocidad de transmisión garantizada, a fin de apoyar los servicios de *streaming* como IPTV o Radio Internet. Cabe indicar que, la arquitectura de Control de Políticas y Tarificación permite no sólo el control de QoS a nivel de portador, sino que también de forma opcional, el control y ejecución de políticas de QoS por flujo IP.

Capítulo 4. Despliegue de la red LTE en la Región 1

4.1 Antecedentes

4.1.1 Desarrollo e implantación de LTE en el mundo

Los operadores móviles que piensan implantar la tecnología LTE, están en busca de asesoramiento para optimizar y evolucionar sus redes de próxima generación, estructurar los servicios y servir mejor a los mercados claves, y necesitarán respuestas rápidas, ya que se considera que la demanda de ésta es muy fuerte.

Según estudios, se alcanzaron los 136 millones de usuarios LTE hacia el año 2014, creciendo a una velocidad mucho más rápida que los estándares móviles anteriores. Las ventajas para consumidores y empresas en forma de comunicación más rápida, creciente productividad, servicios innovadores y flexibilidad serán claves para la adopción de esta tecnología en el mundo.

El desarrollo de LTE en este momento, ésta siendo respaldado por importantes operadores alrededor del mundo (ver Figura 4.1). En América del Norte por las empresas estadounidenses AT&T y Verizon. En Europa con los operadores de redes móviles T-Mobile, TeliaSonera y Telenor Group. En China y Japón con los operadores SmarTone Vodafone, China Mobile, Ntt Docomo y SoftBank. Por último en Australia con su mayor proveedor de servicios móviles

Telstra. La mayoría de estos operadores lanzaron sus redes en el periodo 2010-2011.

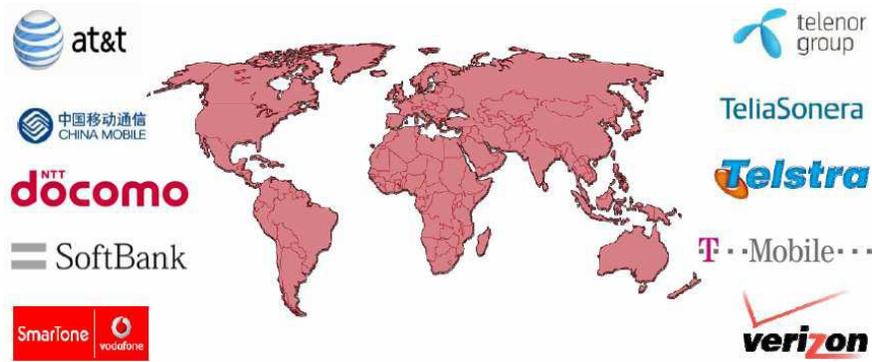


Figura 4.1 Impulso global de LTE

Además, empresas proveedoras de equipamiento LTE, han desarrollado redes prototipo para demostrar la tecnología a más operadores para que se unan al proceso de ésta. Como fue en el caso de la empresa Motorola que realizó un tour móvil de LTE en países europeos. Durante el recorrido, los invitados pudieron comprobar el rendimiento de la banda ancha móvil, así como una experiencia multimedia en movimiento, en un ambiente urbano por medio de una camioneta con conectividad LTE (ver Figura 4.2). La demostración también incluyó un *handover*, entre sectores y cierto número de aplicaciones de vídeo funcionando con LTE, que requieren un gran ancho de banda, como la televisión en directo por LTE.



Figura 4.2 Tour móvil comercial de LTE.

La red LTE fue desplegada y optimizada en sólo 10 días, la cual se constituía por dos eNBs funcionando con hardware comercial, y por los productos de *backhaul* y EPC de Motorola operando en la banda de 2,6 GHz. Dentro de la camioneta, que recorrió con éxito las calles de Barcelona en el Mobile World Congress (Congreso Mundial Móvil 2009), los visitantes vieron vídeo *streaming* de Alta Definición (HD)

desde un servidor de vídeo bajo demanda de Motorola, así como llamadas de voz sobre IP, navegación en la Web, descargas de archivos y otras aplicaciones de Internet de alto ancho de banda y baja latencia.

4.1.2 Despliegue de LTE en México

Algunos de los puntos a considerar en este aspecto son:

- La competencia en banda ancha ya no ocurrirá sólo entre proveedores que usan la misma tecnología, sino entre redes cableadas e Inalámbricas.
- Empresas migraron a conmutación de paquetes y esquemas de triple y cuádruple play.
- Como México no desarrolla tecnología, debe analizar todas las opciones disponibles en el mercado para tomar decisiones acertadas.
- Autoridad reguladora debe tener una mejor y más anticipada planeación del espectro.
- Cofetel no realiza suficientes consultas públicas ni toma en cuenta las opiniones que formulan los interesados.
- Cofetel tendría que dar a conocer sus acciones dentro de un marco de políticas públicas.
- Cofetel y Cofeco deben compartir objetivos y metas y tener una política pública más clara y transparente

Cuando se introduce innovación en los elementos que forman parte del sistema de comunicación de una tecnología que cambia el paradigma de operación de la misma, se puede decir que ha habido un cambio de generación. Esto no debe confundirse con el proceso de maduración por el cual pasan las tecnologías que se encuentran en una misma generación. Estos cambios más bien obedecen a mejoras para que el desempeño de la tecnología se maximice.

4.1.3 Procesos que se requieren para que un sistema inalámbrico móvil pueda salir al mercado en México.

La UIT juega un doble papel en el desarrollo de estas cuatro generaciones tecnológicas. Por un lado, la UIT es la organización intergubernamental que planea, administra y controla el buen uso del espectro radioeléctrico desde el punto de vista de la coordinación internacional. Las tecnologías que han sido proyectadas para las distintas generaciones de los sistemas móviles de telecomunicaciones utilizan el espectro radioeléctrico, por consiguiente, éste debe ser identificado y atribuido a los servicios de telecomunicaciones pertinentes. Los fabricantes, prestadores de servicios y gobiernos se reúnen en la UIT en su categoría de Estados Miembros y Miembros Asociados para hacer una planeación de los usos futuros que se otorgarán a las bandas de frecuencias, así como la armonización mundial del espectro radioeléctrico.

La UIT cuenta con una Oficina de Radiocomunicaciones que se encarga de todas las actividades relacionadas con el espectro radioeléctrico. Es también responsable de convocar a los países miembros y a la industria para la planeación del espectro radioeléctrico de las telecomunicaciones hacia el futuro. El jefe de la Oficina, junto con su personal, se encargan de implementar todas las acciones que se derivan del Plan Estratégico relacionadas con el espectro radioeléctrico. Trabajan también en la coordinación y acompañamiento de los trabajos relacionados con las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMRs), así como en el seguimiento de los compromisos que resultan del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT y de la gestión de recursos mundiales, como son el espectro radioeléctrico y las posiciones y orbitas satelitales.

Los 192 Estados Miembros y los Miembros Asociados de la UIT, se reúnen aproximadamente cada dos años y medio durante un mes para celebrar la CMR. La conferencia anterior ya dejó establecida una agenda de los temas que se tratarían en la siguiente conferencia. En la CMR los miembros de la UIT analizan

las diferentes propuestas que los países someterán a consideración de la conferencia. Desde hace ya más de diez años los países han visto que la colaboración regional les permite elaborar propuestas más robustas para ser sometidas a la CMR, por lo que actualmente existen seis regiones operativas de la UIT. Estas regiones son América, África, Europa Occidental, Asia Pacífico y Oceanía, Países Árabes y Europa del Este y Rusia, los cuales se congregan mediante un órgano internacional que los convoca en sus respectivas regiones.

La integración de propuestas comunes se realiza entre CMRs y, por lo general, se consideran los intereses regionales. Los países buscan favorecer ante todo tecnologías que satisfagan sus necesidades nacionales de comunicación. Promueven aquellas tecnologías que faciliten la armonización del uso de frecuencias en la región y, en consecuencia, se logren economías de escala. Además prevén que las propuestas consideren el uso eficiente que se dará al espectro radioeléctrico en los próximos años. Por lo tanto, es más factible que los países se inclinen por apoyar las tecnologías que garantizan la eficiencia espectral en las diferentes bandas de frecuencias. Esta integración regional ha facilitado el trabajo de planeación y administración del espectro radioeléctrico internacional.

Mediante las CMRs, la UIT busca la armonización de las bandas de frecuencias sobre una base global de acuerdos. Estos acuerdos dan certidumbre a los fabricantes para trabajar en la elaboración de estándares que garanticen el cumplimiento de parámetros mínimos de operación de las tecnologías y que se puedan satisfacer las necesidades de comunicación que la sociedad demanda. En la realidad, el Reglamento de Radiocomunicaciones, que es el resultado de los acuerdos alcanzados en cada CMR, no obliga a que todos los países adopten de manera simultánea las tecnologías que fueron seleccionadas para determinadas bandas. Simplemente constituye un marco legal de referencia mediante el cual los países pueden definir sus políticas públicas de utilización del espectro en el corto, mediano y largo plazos.

Además, dicho reglamento ofrece gran flexibilidad puesto que, según las necesidades de cada país, éstos pueden tomar decisiones diferentes en cuanto a

la atribución final que le den a sus bandas y la asignación que hagan de las mismas en el momento de someterlas a un concurso. Es decir, para efectos del Reglamento de Radiocomunicaciones, cada banda cuenta por lo general con más de una atribución a un servicio de telecomunicaciones. Así, mientras que en términos generales las bandas descritas en la tabla 2 fueron seleccionadas para servicios móviles, si la banda tiene otras atribuciones, el país también puede proponer en sus políticas públicas utilizarlas para dichas funciones, sin violar el instrumento internacional de referencia.

La flexibilidad del reglamento se extiende más allá del número de atribuciones a las que tenga derecho una banda de frecuencias. También está permitida la compartición de frecuencias por distintos sistemas, siempre y cuando se respete el derecho que otorga dicho reglamento al título primario o secundario de un servicio de telecomunicaciones. El servicio que haya sido atribuido a título primario gozará de no interferencias perjudiciales por otros servicios que operen en la misma banda y además estos últimos no podrán reclamar protección de interferencias del servicio primario.

A continuación se explica parte del Reglamento de Radiocomunicaciones para ejemplificar lo descrito en el párrafo anterior.

Reglamento de Radiocomunicaciones UIT			Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias	
Cuadro Internacional de Atribución de Frecuencias				
Región 1	Región 2	Región 3	México	Notas
1710-1930	1930-1970	1930-1970	1710-1850	MEX 115
Fijo	Fijo	Fijo	Fijo	
Móvil 5.380 5.384A 5.388A 5.388B	Móvil 5.388A 5.388B	Móvil 5.388A 5.388B	Móvil 5.380 5.384A 5.388A 5.388B	
5.149 5.341 5.385 5.386 5.387	Móvil por satélite (Tierra-espacio)	5.388	5.149 5.341 5.385 5.386 5.388	
5.388	5.388			
1930-1970			1 850-1 990	MEX115A
Fijo			Fijo	MEX115B
Móvil 5.388A 5.388B			Móvil 5.380 5.384A 5.388A 5.388B	MEX116
5.388			Móvil por satélite (Tierra-espacio)	MEX117
			5.149 5.341 5.385 5.386 5.388	
			5.389A 5.389B	MEX118
1970-1980				MEX118A
Fijo				MEX119
Móvil 5.388A 5.388B				MEX120
5.388				MEX121
1980-2010			1 990 – 2 010	MEX121
Fijo			Fijo	
Móvil			Móvil	
Móvil por satélite (Tierra-espacio)			Móvil por satélite (Tierra-espacio)	
5.351A			5.351A	
5.388 5.389A 5.389B 5.389F			5.388 5.389A 4.389B	

Tabla 4.1 Fragmento del reglamento de radiocomunicaciones de la UIT de 2003 y del Cuadro Nacional de Atribución de frecuencias de México de 2007.

Lo que se muestra en la tabla 4.1 es el resultado de la decisión de políticas públicas y regulatorias que México, a través de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tomó en consideración para la banda de frecuencias entre 1710 y 2010 MHz. Se aprecia en la parte izquierda de la tabla, la atribución de las bandas de frecuencias para cada una de las tres regiones en las cuales divide al mundo de acuerdo al Reglamento de Radiocomunicaciones. México pertenece a la Región 2, por lo que las recomendaciones de la UIT se basan en la segunda columna. Si tomamos como base el Reglamento de Radiocomunicaciones para la Región 2, podemos observar variaciones en la columna que describe la situación actual de la planeación del espectro radioeléctrico en nuestro país. La columna “México” describe las diferencias, no sólo en los servicios atribuidos en las bandas ahí

mostradas, sino también la variación en los rangos de frecuencias respecto a su referencia base que es la Región 2.

Esto se debe a que en el territorio nacional cada país tiene la flexibilidad de poder adaptar sus políticas públicas y de regulación del espectro radioeléctrico en beneficio de la demanda de servicios que su población esté solicitando, de acuerdo a los servicios existentes. Si bien en la Región 2 sólo se atribuye al servicio móvil por satélite (Tierra-espacio) a título secundario a partir de la banda de 1930 MHz, en México la opción se elige desde la banda de 1850 MHz. En el rango 1970-1980 MHz las tres regiones uniforman su criterio de atribuir sólo el servicio fijo y móvil a título primario, mientras que en México se mantiene una tercera atribución a título secundario.

Otro punto que se puede observar aquí es que en el rango de 1980-2010 MHz, México también restó 10 MHz a la atribución que originalmente se tenía en la Región 2. De esta manera, los países, en la medida de sus posibilidades, se adaptan a los acuerdos internacionales, pero también ejercen su rectoría en la planeación del espectro radioeléctrico en el territorio nacional.

Antes de explicar cómo se llevan a cabo las políticas y regulación se describe a continuación el segundo papel que juega la UIT respecto de las cuatro generaciones de tecnologías móviles.

Las cuatro generaciones han tenido que pasar por un proceso de normalización. La UIT es el mecanismo internacional mediante el cual se establece el entorno de diálogo entre los gobiernos de los países, la industria y los fabricantes para llegar a acuerdos globales sobre los parámetros técnicos que deberán constituir los estándares de las tecnologías analizadas. Los resultados de estos acuerdos constituyen las especificaciones técnicas mediante las cuales podrán operar las distintas tecnologías. De esta manera se garantiza que los equipos que se

fabriquen observarán un mínimo requerido de parámetros técnicos para un correcto desempeño y calidad de servicio. Además, para acelerar el proceso de certificación e interoperabilidad la industria ha creado foros privados de ciertas tecnologías como WiMax Forum. 3GPP, entre otros, para garantizar una rápida adopción de los estándares para su comercialización.

La Oficina de Normalización de la UIT, conocida como UIT-T, es la responsable de todas las actividades de estandarización. Está constituida por personal permanente que prepara las agendas de todas las actividades orientadas a la normalización, derivadas del Plan Estratégico que aprueban los Plenipotenciarios de la UIT cada cuatro años. Además, la oficina cuenta con diversos grupos de estudio que dirigen miembros de los Estados o de la industria-academia, quienes participan como especialistas. Ellos, en coordinación con los participantes en las sesiones de los grupos, identifican las necesidades de estandarización y evolución en la normalización de los sistemas de telecomunicaciones objeto de cada grupo. De manera complementaria desde hace ya más de siete años, la UIT-T colabora estrechamente con un sinnúmero de organismos públicos y privados especializados en estándares para agilizar los resultados y poder probar y comercializar los sistemas, equipos, dispositivos, etcétera, en un tiempo razonable.

En las Asambleas Generales de Normalización se acuerdan aquellos aspectos que requieren la aprobación de los miembros de la UIT. Las recomendaciones que emite la UIT-T se consideran normas técnicas internacionales. Los países miembros de la UIT pueden utilizar estas recomendaciones como normas técnicas en caso de no contar con normas propias, para garantizar que los sistemas, equipos, dispositivos, etcétera, que sean importados, cumplan al menos con estos parámetros técnicos antes de su comercialización en el país.

4.2 Posicionamiento de LTE

Tanto WiMax como LTE han tenido que mejorar su eficiencia porque consumen mucha energía con los métodos de acceso que utilizan. WiMax, además de ser una tecnología de acceso, también es reconocida como una tecnología de transporte, a diferencia de LTE que sólo es reconocida como una tecnología de acceso. Aunque anuncie velocidades teóricas más altas que WiMax (aproximadamente 100Mbps), LTE está en el orden de las decenas de Mbps. Lo que es cierto es que en sus versiones avanzadas y cumpliendo plenamente con las características del estándar 4G publicado por la UIT-R, entonces podrán ofrecer comercialmente enlaces descendentes de hasta 100Mbps con movilidad a velocidad de automóviles y en zonas con poca movilidad podrían llegar hasta 1Gbps. Estas cifras ya son comparables con las de las redes cableadas, por lo que en un futuro no muy lejano es probable que la competencia por los usuarios de banda ancha se esté dando no sólo entre proveedores que usan la misma tecnología, sino entre redes cableadas y redes inalámbricas.

Aproximadamente en el 2015 se estuvo observando estas infraestructuras completamente convertidas a redes de siguiente generación. El tiempo entre hoy y esa fecha podría ser eficientemente utilizado por las empresas que estén en espera de ampliar sus últimas generaciones, adaptándose a los cambios que conlleva la convergencia: la transformación de la telefonía de conmutación de circuitos hacia la telefonía por conmutación de paquetes; la modificación de los sistemas de facturación por minuto o segundo según sea el caso, a esquemas que estamos viendo cada vez más en redes triple y cuádruple *play*; la tarifa plana o la posible introducción del costo por kilobit consumido.

La cuarta generación de redes móviles promete gran diversidad de aplicaciones y servicios, pero es importante que con su evolución también se propicie la

transformación de las redes de transporte y, sobre todo, aquellas que otorgan el acceso a Internet y a otros servicios multimedia como pueden ser video por demanda o la televisión móvil de forma transparente para el usuario. Uno de los equipos que llegó para quedarse en esta cuarta generación son las denominadas tabletas o Tablet PC, puesto que los usuarios demandan cada vez más acceso a Internet y otros servicios multimedia y las pantallas de los equipos terminales actuales de las redes móviles ya se vuelven insuficientes.

Sabiendo todo lo que pueden ofrecer las tecnologías que, de cuarta generación, entonces valdría la pena hacer una reflexión sobre qué políticas públicas debe considerar la autoridad reguladora para dar solución a las necesidades de comunicación que demanda el país. Esta reflexión todavía es oportuna ya que como pudimos observar en lo que respecta a los desarrolladores de estándares, aún está por consolidarse la configuración de las redes de cuarta generación.

En México el principal mercado económicamente fuerte se encuentra en las Regiones 4, 5 y 9, principalmente la 9, ya que en ésta se encuentra concentrado una gran parte de la población mexicana, así mismo, se encuentran importantes centros financieros tanto nacionales como aquellos que cubren regiones de América Latina y América del Norte.



Las regiones que se plasman en la Imagen 4.3, son definidas por la COFETEL, mismas que cada proveedor de servicio tienen que respetar y de igual forma, brindar el servicio sectorizado.

4.3 Diseño del esquema de direccionamiento IP para la red.

Al estar analizando el estándar LTE, se sabe que éste se basa en el envío de paquetes de datos, por lo que su transmisión será mucho más sencilla, ya que se usará el direccionamiento de IP/TCP, sin embargo, no toda su transmisión sobre una red será con el protocolo IP/TCP, esto a según los requerimientos que necesita cada elemento de la red.

Primeramente, para establecer un direccionamiento de IP/TCP, se deberá de saber cuántas direcciones IP/TCP se van a necesitar y hacia donde se dirigirá cada una, ya que de ello será la clase de red que utilizará. Para la implantación de un sistema piloto, se ha de considerar que lo principal es la generación de un “Clúster” o grupo de 7 hexágonos o de 7 eNodeB, de tal forma parecida a un panel de abejas.

Cada eNodeB se necesitarán 4 IPs, esto debido a que cada una llevara un:

- Plano de Usuario (UP).
- Plano de Control (CP).
- Canal de Operación y Mantenimiento (O&M).
- Sincronización (SYNC).

Para una pequeña red de LTE, también se necesita optar por el uso de VLANs, ya que las mismas, crearan subgrupos dentro de las IPs, con ello al llegar a los equipos de transmisión de Switch, Router, F.O. o Microondas, será más fácil su

enrutamiento a los elementos de la red que deben de llegar, de igual manera evitar el cruce o choque de la información del sistema dentro de la red de núcleo.

Primeramente, el direccionamiento sobre IP/TCP será a los cuatro elementos con los que se necesita tener comunicación desde el eNodeB al Core, estos son: MME, S-GW, Sincronización y O&M. el nombre de los equipos puede variar a según sea el proveedor de estos, sin embargo, por estándar, tienen que cumplir las funciones correspondientes.

A continuación, se muestra la propuesta realizada:

Elemento	MME	S-GW	Sync	O&M
IP	10.20.0.1	10.30.0.1	10.40.0.1	10.40.100.1
Mascara	255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255	255.255.255.255

Tabla 4.2 Propuesta de IP de los elementos de la red a donde se dirigirá el tráfico desde el eNodeB.

Propuesta de IP de los elementos de la red a donde se dirigirá el tráfico desde el eNodeB:

Elemento **MME S-GW Sync O&M**

IP **10.20.0.1 10.30.0.1 10.40.0.1 10.40.100.1**

Mascara **255.255.255.255 255.255.255.255 255.255.255.255 255.255.255.255**

Las IPs mostradas corresponden a las IP que serán públicas hacia la red, es decir, que podrán ver y enviar información todos los eNodeB que contengan misma IP; la Máscara o Subnet se conoce también como diagonal 32, y es de este tipo debido a que solo se quiere alcanzar a un solo elemento dentro de la red.

Para los eNB que se conectaran a éstos, es necesario no revolver las direcciones IP/TCP, y como se ve, se trabaja con IP/TCP Clase A, y donde el segundo octeto

será el que se modificará, buscando trabajar dentro del mismo segmento de red o de red continua a fin de lograr un uso razonado de las direcciones IP/TCP en la transmisión en redes ampliamente grandes, aunado a ello para un uso óptimo de la red y también hablando de protocolos de seguridad, se vuelve indispensable el uso de las VLAN, con ello, en cada medio de transmisión que se encuentre como punto intermedio del Nexthop al objetivo, solo usara la VLAN, con ello volviendo transparente la transmisión de la información que recorrerá desde el eNB al punto final que puede ser el MME, S-GW o los demás elementos de la red.

Como se ha comentado anteriormente, es necesario el ahorro en el uso de las direcciones IPs, para tener una red armonizada y sin contratiempos, usando bien todo el entorno de red que se puede usar, por ejemplo, determinar en el tercer octeto de que región pertenece cada una de las IPs que se están asignando, logrando así, que la localización de los elementos dentro de un plano geográfico sea más fácil y sencillo de lo que se pudiese programar.

Aunado a ello, es necesario darle una Identificación (ID) a cada eNB, el cual será igual o diferente a su número de eNodeB y al de sector de la antena, aunque se muestra un ID, este puede llevar mayor número de caracteres, que puede indicar: Estado, Ciudad, Estándar, Región, entre otros.

ID eNB	MME	NextHop	VLAN	S-GW	Nexthop	VLAN	Sync	Nexthop	VLAN	O&M	Nexthop	VLAN
JAL001	10.20.1.3	10.20.1.2	100	10.30.1.3	10.30.1.2	200	10.40.1.3	10.40.1.2	300	10.40.100.3	10.40.100.2	400
	255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248		
JAL002	10.20.1.5	10.20.1.4	101	10.30.1.5	10.30.1.4	201	10.40.1.5	10.40.1.4	301	10.40.100.5	10.40.100.4	401
	255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248		
JAL003	10.20.1.7	10.20.1.6	102	10.30.1.7	10.30.1.6	202	10.40.1.7	10.40.1.6	302	10.40.100.7	10.40.100.6	402
	255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248		
JAL004	10.20.1.9	10.20.1.8	103	10.30.1.9	10.30.1.8	203	10.40.1.9	10.40.1.8	303	10.40.100.9	10.40.100.8	403
	255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248		
JAL005	10.20.1.11	10.20.1.10	104	10.30.1.11	10.30.1.10	204	10.40.1.11	10.40.1.10	304	10.40.100.11	10.40.100.10	404
	255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248		
JAL006	10.20.1.13	10.20.1.12	105	10.30.1.13	10.30.1.12	205	10.40.1.13	10.40.1.12	305	10.40.100.13	10.40.100.12	405
	255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248		
JAL007	10.20.1.15	10.20.1.14	106	10.30.1.15	10.30.1.14	206	10.40.1.15	10.40.1.14	306	10.40.100.15	10.40.100.14	406
	255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248			255.255.255.248		

Tabla 4.4 Direccionamiento IP

Como se puede apreciar en la tabla 4.4 anterior, se están usando IPs de clase A, donde su máscara de red es en terminación 248, ya que se espera alcanzar a más de un elemento de la red al dirigirse a este, por ejemplo, el Nexthop, y con el uso de VLANs continuas se determinará tanto a qué elemento de la red se espera alcanzar, se tiene un total de 4094 VLANs que se pueden utilizar para este concepto. Aunque se tiene en la transmisión de cuatro IPs, se utilizarán el mismo canal, esto es, que por un cable UTP CAT 6 como mínimo se enviará toda la información.

Apreciando a la tabla 4.2, cabe detallar, que en los medios de transmisión con los que se cuentan actualmente para conformar la IP RAN a según la compañía proveedora del servicio, maneja aún enlaces de microondas, por lo que el rendimiento del despliegue del estándar de LTE no será tan amplio como se espera en dichos eNBs que se encuentren comunicados por ese medio, sin embargo, su comunicación es transparente, es decir, que transmitirá la información de las IPs sin ningún ajuste, ya que lo que hará es enviar por canales la información, éstos estarán divididos por la VLAN, con ello solucionando los problemas de latencia que se puedan presentar debido a la cantidad de brincos o cambios de medio de transmisión que se tenga que realizar.

Problemas más comunes que pueden suscitarse en la transmisión son los siguientes:

- Configuración de Cable Ethernet errónea.
- Ruptura en la fibra óptica que va del eNB al equipo de transmisión de la red.
- Inversión de los conectores de la Fibra Óptica conectada del eNB al equipo de transmisión a la red.

- Ruptura en el Cable Ethernet debido a mala colocación y manejo del mismo.
- Error en la configuración de las IPs o VLAN, ya sea del eNB o del dispositivo de transmisión a la red.
- Daño en el eNB físicamente, debido a mal manejo en la instalación en éste.
- Conexión errónea en los puertos de transmisión en el equipo de transmisión a la red.
- Falta de instalación de licencias para el uso de los equipos.

4.3.1 Planeación y Diseño de la red aérea a utilizar.

Para la planeación y Diseño de la red aérea que se usará como la interfase aérea, se tienen que tomar varios puntos en esta materia. La primera de ellas es saber en qué banda se va a trabajar y cuantos M[Hz] va a tener el canal, al determinar esto, es importante que con ello también se determine el sistema MIMO que será aplicado.

Tomando en cuenta que el proveedor de servicios cuenta con acceso a la banda 4 que consta de 1710 – 1755 M[Hz] para UL y de 2110 – 2155 M[Hz] para DL, por lo que indicado en la Tabla 4.2, donde se puede usar todo el rango de frecuencias, en este caso, se usará un BW de 20 M[Hz] que es la máxima capacidad de espectro dentro de LTE R9; usando sistema MIMO 2Tx2R y Modulaciones de tipo QAM en los usuarios más cercanos, con un Cycle Prefix Normal, obteniéndose la capacidad media en el eNodeB, y con ello un despliegado de lo que se desarrollará.

Ahora, para determinar de dónde se tomará el BW de la red, se revisa la nota que se encuentra en la Tabla 4.1, donde en caso de usar la Banda de 20 M[Hz] no se pueden usar los 100 primeros canales, ni los últimos 99 de este ancho de banda, por lo que la propuesta es que sea de la siguiente forma:

Tipo Rango de BW Canales Cantidad de NRB

Configuración de rangos de frecuencia, canales y cantidad de RB en los eNodeB.

UpLink 1720 – 1740 M[Hz] 20050 – 20250 100

DownLink 2120 – 2140 M[Hz] 2050 – 2250 100

Configuración de rangos de frecuencia, canales y cantidad de RB en los eNodeB. cómo se puede apreciar en la configuración solo la frecuencia se debe de basar en las características antes acordadas, sin embargo, en caso de algún performance, son las que sufrirán quizás menor alteración al trabajar ya en modo comercial u operativo.

Una vez que se tiene el tipo de frecuencia y cómo va a trabajar, es hora de analizar el espacio geográfico en donde se desplegará, en este caso será la ciudad de Mexicali y sus municipios conurbanos, como se mostrará a continuación:



Figura 4.4 Mapas de la ciudad de Mexicali

Contemplando que se usará una potencia promedio de 20 Watts, que tendrá una distancia eficiente de trabajo de aproximadamente de 1.5 Kmts. y la
Contemplando que se usará una potencia promedio de 20 Watts, que tendrá una distancia eficiente de trabajo de aproximadamente de 1.5 Kmts. y la zona a cubrir costará de 784 Km² por lo que entonces cada eNB tendrá una capacidad de cobertura de 4.5 Km², ésta métrica daría un aproximado de 174 eNB aproximadamente, que serán instalados para cubrir la zona antes mencionada.

Ahora, se hará el análisis sobre los parámetros de Radiofrecuencia que se deberá de tener en cuenta, estos son principalmente como estará organizado en el Clúster, sin embargo, para cada eNB su patrón de radiación se tomará en tres sectores, mismos que en modo ideal conformarán un hexágono, el primer sector se colocará hacia el norte geográfico, posteriormente según las manecillas del reloj, el siguiente se colocará en 120° y el último en 240°, a cada uno se le puede nombrar como sector **A**, **B** y **C**; **1**, **2**, y **3** o **α**, **β** y **γ**, sin embargo, ésta será solo para indicar a donde apunta cada sector, ya que cada sector debe tener un *nombre.

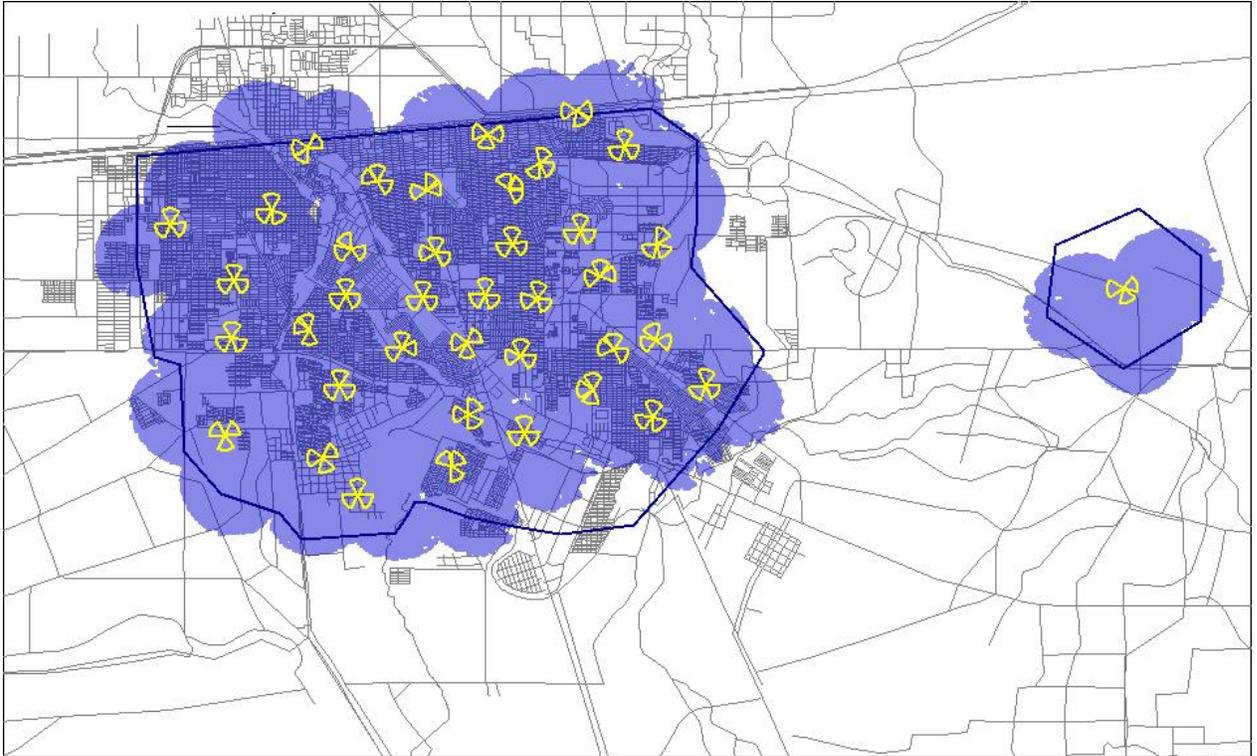


Figura 4.5 Mapa del Mexicali con énfasis en su área metropolitana con proyección de los patrones de radiación idóneos.

En la imagen 4.5 se aprecia el comportamiento idóneo de la red de comunicaciones que se generará, con principal énfasis en el clúster de 7 eNB que se encuentran en el centro, cada lado está sobre una superficie de 2.25km², la cual se ve totalmente geométrica, pero en la vida real, constará de zonas oscuras (espacios sin cobertura), zonas de gran interferencia, y zonas de servicio con distintos rangos de calidad. Para poder lograr apreciar con mayor precisión lo antes comentado, se mostrará a continuación una proyección de una imagen con patrones de radiación de una optimización realizada en una ciudad en los EEUU sobre un mapa digital del área, esto debido a que la información como ésta para el proyecto se encuentra cómo clasificada.

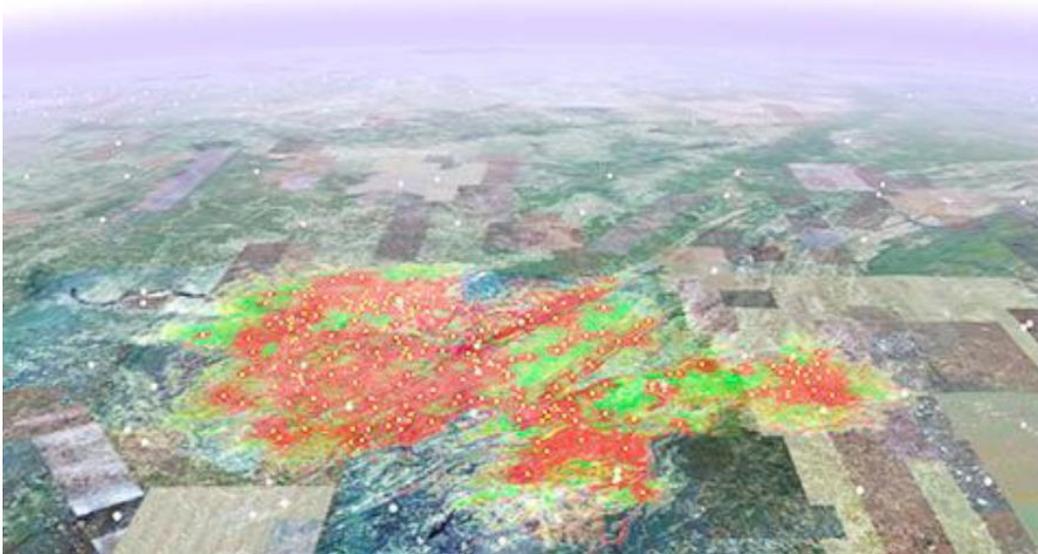


Figura 4.6 Proyección real de una propagación de la señal sobre una ciudad en los EEUU.

Al observar la figura 4.6 se ve que los puntos blancos son los sitios donde se encuentran los eNB, las manchas de colores que van desde rojo a verde, es donde está la cobertura de la red, tomando en cuenta que el rojo es con mayor potencia y calidad, y el verde con menor. Ahí se ve que hay puntos que están muy cerca, debido a la conglomeración de usuarios en la zona y que por ende se requiere mayor cantidad de accesos a la red; por el contrario, en las extensiones grandes donde con un solo eNB se satisface la demanda que se está generando sin ningún contratiempo.

Parte de la labor a realizar en la implementación de los eNB es la cuestión de atenuación de la señal debido al uso de cable coaxial, aunque la aplicación de éste se ha reducido hasta en más de un 70% en comparación de otros sistemas donde se sigue usando debido a la transición analógica – digital que tiene que sufrir la señal en las antenas, por lo que es necesario obtener un margen de entre 21 – 12.74 dB de la pérdida de potencia, que en porcentaje es del 1 – 5.5%, mayor a estos valores se estaría exponiendo la calidad de la señal, y con ello la de

transmisión en general, en general se conoce como ROE (VSWR por sus siglas en inglés).

En conjunto, es necesario conocer bien el área en donde será propagada la señal, ya que se cuenta con dos tipos de tilt (inclinación) ya sea mecánica o eléctrica. Ésta se diseña para dar inclinación a las antenas y así poder brindar una mayor calidad en la cobertura, y mayor espacio en la misma, sin embargo, en lugares internos, no es muy recomendable su uso, debido a las pérdidas que puede provocar la acción de esta consideración.

La FIGURA 4.7., que se muestra a continuación, es la representación en tercera dimensión (3D) sobre la forma de propagación de la señal en una antena de comunicación para GSM.

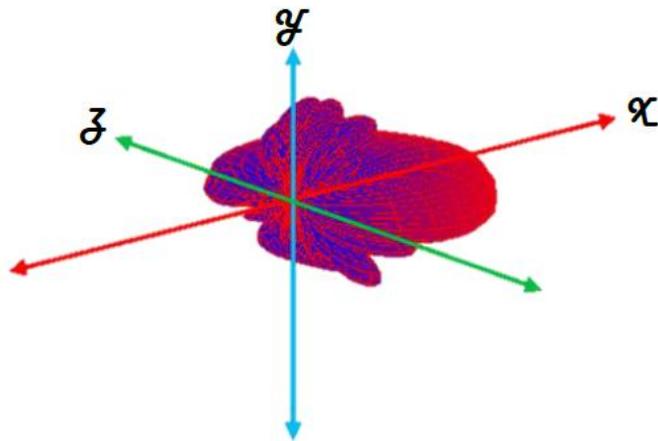


Figura 4.7 Proyección pronosticada de una propagación de una antena direccional para el estándar LTE R9.

En la figura 4.7 se puede tener una idea del comportamiento de la propagación de una señal en una antena para GSM, sin embargo, con las imágenes a continuación, se denotará explícitamente el comportamiento de sobre los dos tilts y su aplicación en estos casos.

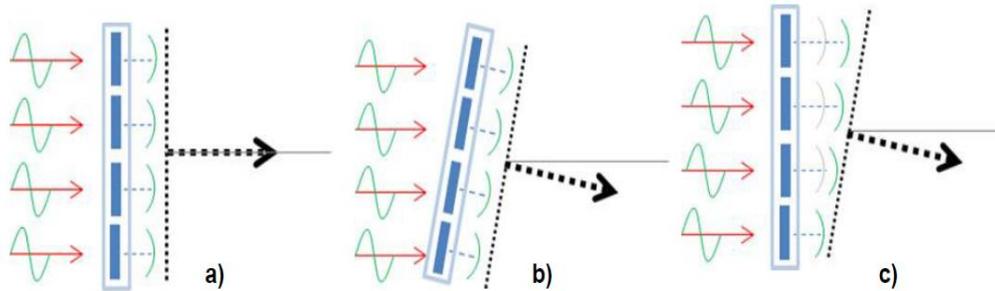


Figura 4.8 Propagación de la señal con respecto al tilt que se esté aplicando.

En la imagen del inciso a, la antena no tiene ningún tipo de tilt, por lo que la señal sale de forma ideal, para el caso b se tiene una tilt mecánica, y en el caso c, la proyección de una tilt eléctrica.

Como se observa en la *imagen a)*, no existe tilt alguna, la antena no cuenta con ningún tipo de inclinación, en la *imagen b)* se muestra el comportamiento de la tilt mecánica, la cual consta de la inclinación física de toda la antena, esto gracias al soporte con el que cuenta para la realización de éste, se obtiene una ganancia en la propagación de la señal a los costados, pero existe una pérdida en la altura y distancia de la misma. En la *imagen c)* el comportamiento de la tilt eléctrica, donde la inclinación se da de forma totalmente eléctrica modificando la fase de cada señal, esto se da a través de una varilla que se encuentra dentro de la antena y que se conoce como RET (por sus siglas en inglés), con ella se posee un direccionamiento de la señal a una zona específica, sin embargo, se puede reducir la cobertura, y la azimut se puede modificar debido al patrón de radiación.

Con lo anteriormente recalado, es fundamental conocer bien el ambiente en el cual se va a desarrollar la implementación de LTE en el territorio mexicano, no obstante es también concluyente saber con qué frecuencia y características con las que se trabajará para el desempeño de la red, ya que parte de los problemas de transmisión que se pueden aparecer, pueden ser debidos a la reflexión y difracción de la señal en espacios de alta densidad de personas o edificios, donde

al ampliar la potencia o hacer modificaciones de Azimut o de Tilt no bastarán para cubrir la demanda, sino es necesario trabajar con micro celdas, esto es, la generación de celdas dentro de una celda, para poder dar el servicio adecuado al usuario, un ejemplo de ello son las antenas que se colocan dentro de un edificio, ya que la altura o distribución de edificio puede crear una inapropiada irradiación de la señal que se espera.

4.4 Planeación y Configuración de los Elementos en el Core

Una vez, vista la forma de planeación de los elementos concernientes a la interfase aérea, se continuará con la configuración para los elementos que componen el Core, para este caso se los elementos más básicos que compondrá a la red, sin embargo, cabe recalcar que dentro de la MPLS es donde se transitará el tráfico de la red.

Los elementos involucrados serán: MME, S-GW, P-GW, HSS, EIR, PCRF, SGSN, OSS, SYNC & eNodeBs. A continuación, mediante un gráfico, se tratará de explicar los alcances y configuración mínima que se necesita en una Red LTE para comenzar la transmisión y del tamaño de muestra, esto es, incluye solo un clúster para una región.

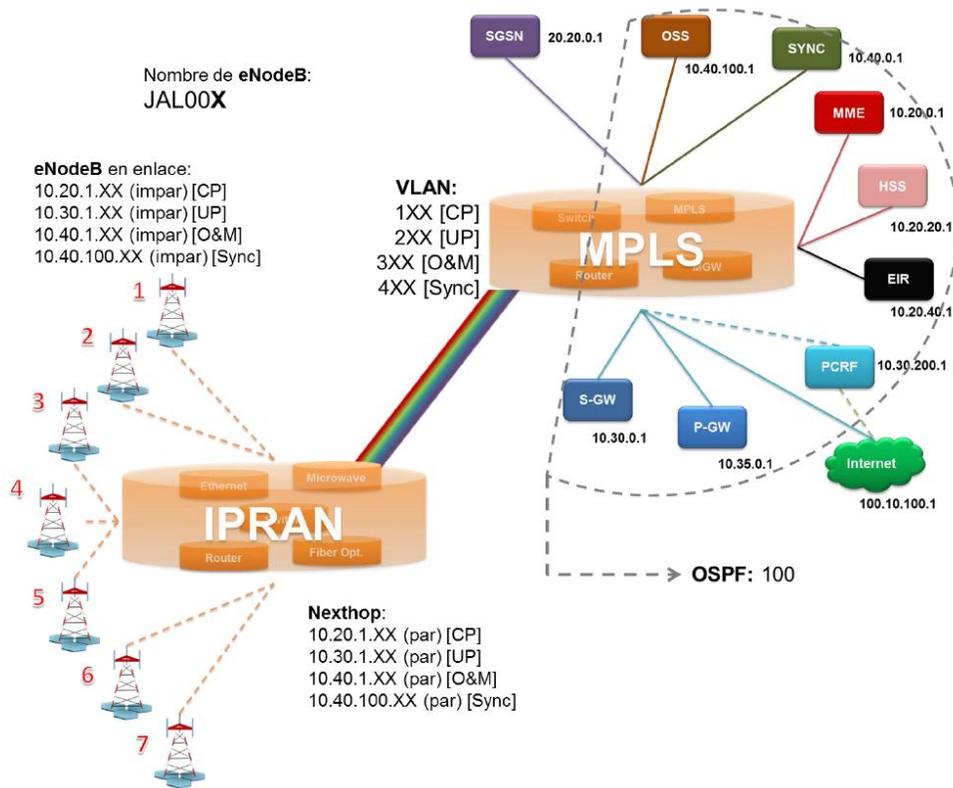


Figura 4.9 Modelo a detalle de una red LTE para una demostración de capacidad, siguiendo el patrón se puede generar una red comercial.

Con el modelo generado en la figura 4.9, se aprecia claramente el comportamiento bajo el estándar IP/TCP que se sigue en la transmisión de los datos, sin embargo, la representación de la misma es solo para una región, al generar múltiples regiones, se recomienda generar mismo número de Core y redes para evitar su saturación, así como los Delays que pueda generarse, con ello también facilitando el análisis sobre facturación y cobro a cada usuario.

Dentro de los elementos que no son ampliamente detallados, son aquellos que se encuentran en las redes IP RAN y MPLS, esto a que la comunicación dentro de los equipos debe de ser transparente.

Un ejemplo de comunicación de red transparente es aquel que se da en la transmisión de la información de un eNodeB a través de señales de microondas,

donde el medio compartirá la VLAN para indicar la pertenencia de la información, sin embargo, no modifica o altera el flujo de tráfico.

Para el caso de MPLS, se llega a tener múltiples MGW, Switch, Router, entre otros; para la transmisión de la información dentro del Core, sin embargo, hay que recordar que las IP que se muestran, son IP virtuales, es decir, se crea una pirámide de IP para diferenciar el acceso a cada tarjeta y puerto, de los elementos de la red.

Por ejemplo, la solicitud de acceso a la red llega al MME por una de sus tarjetas, sin embargo, en las telecomunicaciones se maneja la redundancia en caso de emergencia, por lo que en caso de que se llegase a dañar la tarjeta, se tendría que volver a configurar todo el flujo de información al MME, por lo que en la MPLS se configura una IP virtual para general un balance entre ambas tarjetas, éste puede ser de modo Activo/Activo o en Activo/Standby. El HSS y el EIR son los elementos que más utilizan estas configuraciones, debido al balance dedicado que requiere en sus discos duros para el resguardo, solicitud y mantenimiento de la información en ellos.

4.5 Descripción Técnica en la Instalación de Equipos enodeb WCDMA, Multiradio, huawei LTE.

4.5.1 Revisión de Seguridad y prevención de riesgo en la instalación en sitio.

Todo personal que se encuentre dentro del sitio de trabajo debe tener su carpeta con toda la documentación exigida por el operador de telecomunicaciones, estas carpetas deben ser entregadas por la empresa contratista a su personal.

Siempre se debe revisar todo el material y equipamiento de trabajo antes de iniciar la faena laboral, esto para comprobar la existencia de todo lo necesario, así como el estado de los mismos.

Todos los días de trabajos se debe dar una charla de seguridad donde el supervisor compruebe que cada integrante del grupo de trabajo acate todas las normas y procedimientos de trabajo implementados en el sitio, para evitar cualquier incidente menor o grave. Esta charla la deben firmar todos y cada uno, en un formato que cada contratista elabora, donde quede registrado que recibieron mencionada charla. Así mismo, debe quedar un registro armado y diario de todos los implementos entregados, así como el uso adecuado de cada uno de ellos y que su uso es completamente obligatorio en todas las instalaciones donde se encuentran laborando.

Todos estos reportes deben estar en el sitio cada día de trabajo, ya que en cualquier momento se pueden solicitar y la no presencia de estos puede causar sanciones al supervisor de la obra.

4.5.2 Preparación de materiales y equipamiento

Una vez iniciada la planificación, se debe llegar al sitio por lo menos 30 minutos antes, para corroborar que el sitio está completamente apto para iniciar la instalación del mismo. En este momento se debe revisar el sitio minuciosamente, tomando en cuenta

todos los detalles que pudieran presentar problemas, o que facilitarían la instalación de los equipos, feeders y antenas.

De presentarse cualquier inconveniente en esta etapa, se debe dar aviso al jefe de proyecto, para decidir si esto afecta o no la instalación, de manera que se pueda iniciar la instalación o se suspende la recepción del equipamiento.

Comprobada la posibilidad de instalación, se inicia el proceso de recepción del equipamiento. En esta etapa se debe revisar todo el equipamiento necesario que debe llegar al sitio. Debe llegar todo el material solicitado, así como el hardware necesario, dependiendo del tipo de sitio a instalar y de acuerdo a lo planificado para el mismo.

4.5.3 Manipulación de los módulos

Al manipular los módulos, usar siempre una pulsera antiestática, el gabinete debe ser puesto a tierra, caso contrario, la pulsera no va a funcionar. Cuando se instalan los módulos dentro de un gabinete, no se requiere cable de tierra individual para los módulos ya que el gabinete provee una tierra adecuada. Si la BTS tiene más de un plinth (base de instalación) por ejemplo, en instalaciones de pared o poste, conectar cada plinth a la tierra principal.

La solución Single RAN de Huawei facilita la convergencia en las redes de telecomunicaciones, permitiendo desplegar las distintas tecnologías GSM, DCS, UMTS y LTE. Single RAN simplifica la elección de tecnologías y la evolución de las redes móviles, al permitir que la misma estación base opere en distintas modalidades. Para ello se utiliza un diseño modular, basado en tarjetas dedicadas, que permite añadir soporte para una tecnología concreta mediante la instalación de una de esas tarjetas. Con ello se consiguen las características esenciales que busca un operador: bajos costes de mantenimiento y operación, eficiencia energética, ahorro de espacio y facilidad de gestión

BTS3900.

4.5.4 Descripción BTS3900

Uno de los equipos single RAN más populares en los últimos años es la serie BTS3900 del fabricante Huawei. Este equipo tiene la ventaja de disponer de una BBU completamente modular la cual se puede configurar para cualquier tecnología. Las RFU de la BTS3900 también son multimodo, esto es, dentro de una misma banda pueden operar para distintas tecnologías. Por ejemplo, una misma RFU que opere a 900MHz puede estar radiando GSM y UMTS simultáneamente.

4.5.5 Equipos Banda Base: BBU

La BBU3900 de Huawei consiste en un rack de tarjetas interconectadas por un back-panel. En este rack van montadas todas las tarjetas encargadas del procesamiento de la señal en banda base y de la transmisión. Entendemos transmisión como la conexión de una BTS/NodeB/eNodeB con el resto de la red. Además de estas dos funciones principales la BBU también se encarga de monitorizar el estado de los equipos y de reportar las alarmas pertinentes.

De esta forma las funciones principales de la BBU son:

- Gestionar los recursos de cada tecnología
- Proporcionar transmisión al equipo, esto es permitir la interconexión el resto de la red ya sea a través de BSC/RNC o directamente al Core como en el caso de LTE.
- Proporcionar recursos de O&M, operaciones y mantenimiento, tanto en local como en remoto. Reporta estadísticos y alarmas a los servidores de gestión y permite la configuración remota.
- Procesa las señales en banda base tanto las de Uplink como Downlink.

- Provee de los puertos CPRI (Common Public Radio Interface) para la interconexión de los recursos banda base con las unidades RF.
- Gestiona las alarmas externas (aquellas que no son propias de los equipos, pero puede afectar a este): Temperatura del emplazamiento, puerta abierta, incendio, ...

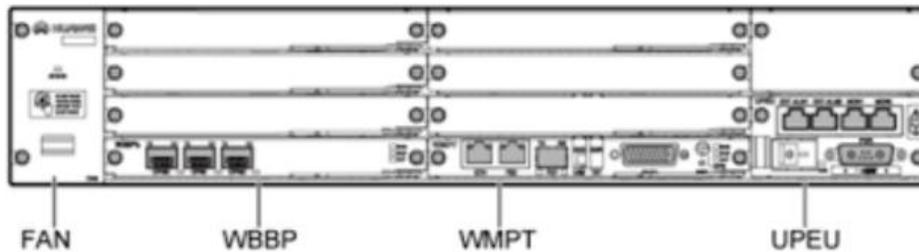


Figura 4.10 "BBU3900 configurada para UMTS", Huawei Technologies (2014), Recuperado de "3900 Series Base Station Product Documentation"

Tarjetas UMTS Las tarjetas utilizadas para UMTS son completamente distintas a las utilizadas para GSM. De la misma manera que en el caso de GSM y DCS los equipos aquí comentados son válidos para U900 y U2100. Y como ocurría en el caso anterior se suele utilizar el mismo hardware banda base para ambas frecuencias.

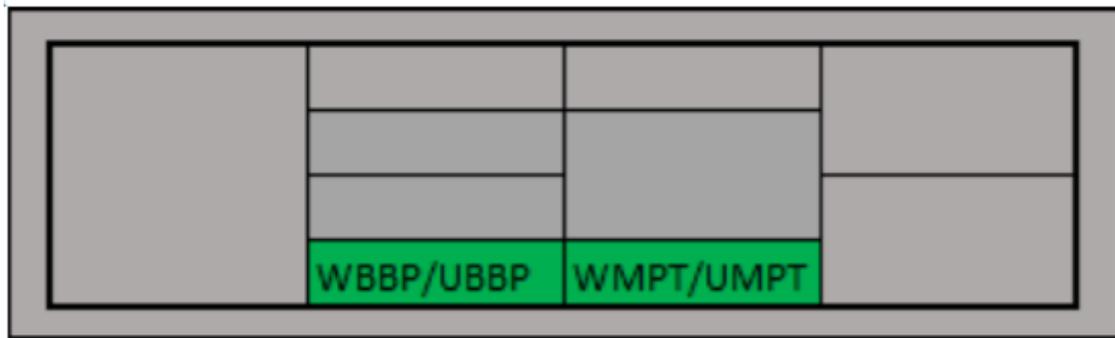


Figura 4.11. Esquema configuración UMTS

En la Figura 4.11 se muestra la configuración básica para la BBU de un NodeB. Esta está compuesta por dos tarjetas WMPT y WBBP.

4.5.6 WMPT (WCDMA Main Processes and Transmission Unit)

Es el elemento principal del NodeB, pero a diferencia del caso de GSM no es el único necesario.

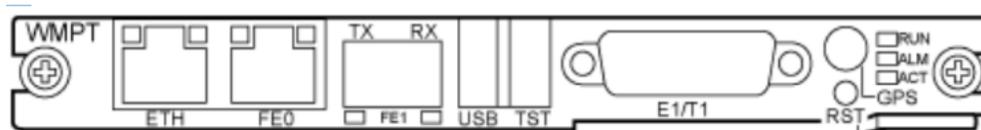


Figura 4.12 "WMPT", Huawei Technologies (2014), Recuperado de "3900 Series Base Station Product Documentation"

Las funciones que aporta la WMPT son:

- Gestiona los recursos proporcionados por el resto de tarjetas de UMTS y en el caso de compartir recursos con otras tecnologías se sincroniza con estos.
- Proporciona transmisión a través de E1's o Ethernet.
- Proporciona los recursos O&M tanto para el mantenimiento remoto del NodeB como el mantenimiento en local.

La WMPT puede ser sustituida por una UMPT (Universal Main Processes and Transmission Unit). La UMPT aporta las mismas funciones que la WMPT, con la particularidad que se puede configurar como controladora de distintas tecnologías, en el caso de este proyecto UMTS o LTE-FDD. Además, incluye el puerto CI mediante el cual se puede sincronizar para compartir recursos con otra BBU.

4.5.7 WBBP (WCDMA Baseband Processing Unit)

Es el elemento que junto a la WMPT/UMPT forma la BBU del NodeB

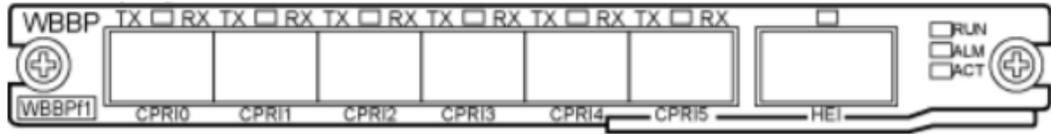


Figura 4.13 "WBBP", Huawei Technologies (2014), Recuperado de "3900 Series Base Station Product Documentation"

Las funciones de la WBBP son:

- Procesa las señales WCDMA en banda base, tanto para el UL como el DL.
- Provee la BBU de seis puertos CPRI para la conexión de las unidades RF. Existen diferentes tipos de WBBP dependiendo de la capacidad de tráfico que soportan y se pueden insertar hasta un total de seis tarjetas WBBP por BBU. Insertando más tarjetas se consiguen dos cosas, ampliar la capacidad de tráfico del NodeB y ampliar el número de puertos CPRI de la BBU. Al igual que ocurre con la WMPT/UMPT la evolución de las WBBP nos lleva a las UBBP. Tienen las mismas funciones que las WBBP, pero se pueden configurar para distintas tecnologías. En el caso de este proyecto UMTS y LTE-FDD.

4.5.8 Tarjetas LTE

La configuración de la BBU de LTE es bastante similar a la de UMTS y en el caso de utilizar tarjetas universales a nivel hardware es idéntica.

4.5.8.1 UMPT (Universal Main Processes and Transmission Unit)

Es la controladora principal de LTE y sus funciones son muy similares a las de la WMPT en UMTS.

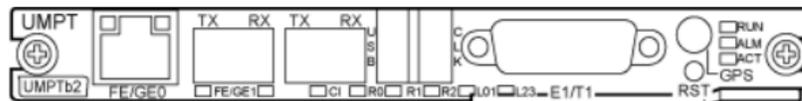


Figura 4.14 "UMPT", Huawei Technologies (2014), Recuperado de "3900 Series Base Station Product Documentation"

- Gestiona los recursos de LTE y se sincroniza con el resto de controladoras para utilizar los recursos compartidos.
- Proporciona la transmisión a través de Ethernet. Aunque la tarjeta tenga puerto de E1 LTE no soporta este tipo de transmisión.
- Proporciona los recursos O&M tanto remoto como locales para el eNodeB.

Aclarar que existe una controladora de LTE específica llamada LMPT, la cual no se detalla por no haber sido utilizada en el desarrollo del proyecto.

4.5.8.2 LBBP (LTE Baseband Processor Unit)

Su función es similar la WBBP de UMTS, aunque tiene algunas diferencias en cuanto a capacidad.



Figura 4.15 "LBBP", Huawei Technologies (2014), Recuperado de "3900 Series Base Station Product Documentation"

- Procesa las señales en banda base tanto UL como DL.
- Provee la BBU de seis puertos CPRI para la conexión de las unidades RF.

Cada tarjeta LBBP soporta hasta un máximo de tres celdas, independientemente del tráfico que cursen. De esta manera si se quieren tener más de tres celdas en un mismo eNodeB se deberán instalar más LBBP.

Al igual que en el caso de UMTS las LBBP son intercambiables por las UBBP. La única diferencia es que hay UBBP de más capacidad que pueden soportar hasta seis celdas

LTE. 2.3.1.4 Tarjetas comunes Hay una serie de tarjetas que o bien pueden ser utilizadas por todas las tecnologías o bien son tarjetas de control de la BBU.

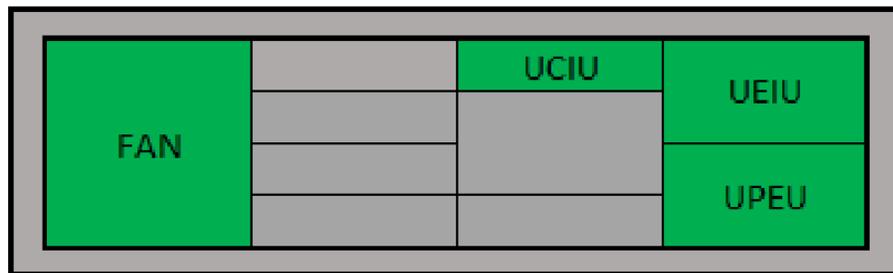


Figura 4.16 Esquema de situación de tarjetas comunes

En la Figura 4.16 podemos ver un esquema de la colocación de estas tarjetas en la BBU. A continuación, se explicará la función de cada una.

- UEIU: Universal Environment Interface Unit. Esta tarjeta proporciona dos puertos para conectar las alarmas externas del emplazamiento. Además, dispone de dos puertos de monitorización para conectar las tarjetas que monitorizan el gabinete.
- UPEU: Universal Power Environment Unit. Además de proporcionar los mismos puertos que la UEIU suministra la alimentación DC a la BBU. En caso de que la BBU necesite más potencia se puede instalar una segunda UPEU en vez de la UEIU.
- FAN: Esta tarjeta dispone de un ventilador para regular la temperatura de la BBU y además monitoriza la temperatura de esta.
- UCIU: Dispone de cuatro puertos para interconectar la BBU en la que se encuentra con otra BBU a través del puerto CI de una UMPT. La interconexión se hace necesaria en el caso de que varias tecnologías compartan recursos RF.

4.5.9 Unidades de Radio Frecuencia

Las unidades de radiofrecuencia, RF, forman la segunda unidad imprescindible en una estación base de telefonía móvil. Su función es modular la señal en banda base

generada por la BBU, amplificarla y adaptarla para poder ser radiada por las antenas. También realiza la función inversa, convierte las señales de radiofrecuencia captadas por la antena a banda base para así poder ser procesadas por la BBU. Así las unidades RF se pueden clasificar por la potencia máxima que son capaces de entregar o la banda de frecuencia en la que operan.

Por otro lado, también podemos encontrar unidades RF diseñadas para montar dentro de un rack para lo que se llaman soluciones macro o diseñadas para ser montadas en el exterior para lo que se llaman soluciones distribuidas. Estas última tienen la ventaja que se pueden instalar en el propio mástil de la antena, reduciendo así la distancia de cable RF utilizado. Por lo general este tipo de cable es más caro e introduce más pérdidas en la señal.

El fabricante Huawei dispone de los dos tipos de unidades para la serie 3900. A las unidades macro las llama RFU (Radio Frequency Unit) y a las distribuidas RRU (Radio Remote Unit).

4.5.9.1 RRU (Radio Remote Unit)

Las RRU están diseñadas para instalarse en el exterior, ya que al contrario de las RFU cuentan con su propio sistema de alimentación y refrigeración. Suelen instalarse en el propio mástil de las antenas para así reducir la atenuación introducida por los cables RF, aunque se pueden encontrar instaladas en cualquier otro punto del sistema radiante. La conexión con la BBU se realiza con fibra óptica.

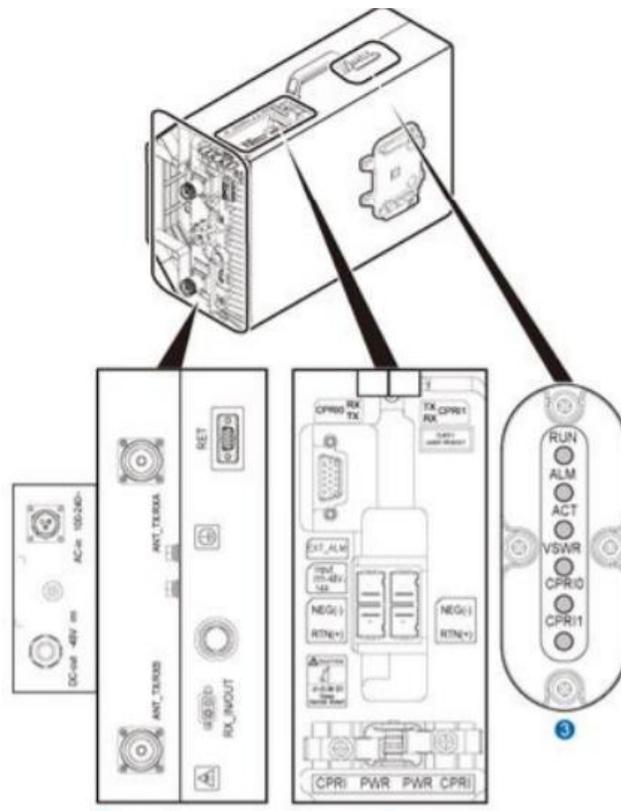


Figura 4.17 "RRU3908", Huawei Technologies (2014), Recuperado de 3900 Series Base Station Product Documentation"

Las funciones que realizan las RRU son las mismas que realiza una RFU, la única diferencia remarcable es que todas funcionan modo 2T2R. En la Tabla 2 vemos los tipos de RRU utilizados en este proyecto y sus características.

Tipo	Frecuencia	Potencia	Modo TXRX	Tecnologías
RRU3908	900MHz 1800 MHz	80W	2T2R	GSM,UMTS, DCS, LTE
RRU3838	2100 MHz	80W	2T2R	UMTS
RRU3961	800 MHz	80W	2T2R	LTE
RRU3929	900MHz 1800 MHz	120W	2T2R	GSM,UMTS, DCS, LTE
RRU3839	2100 MHz	120W	2T2R	UMTS

Tabla 4.4 Tipos de RRU

4.6 Descripción del escenario 2G/3G en la R1 Mexicali

En el desarrollo de este proyecto integraremos LTE en emplazamiento que ya cuenta con 2G y 3G en servicio. Hay multitud de disposiciones que nos podemos encontrar a la hora de integrar LTE en un emplazamiento, aunque la mayoría se pueden meter dentro de los cinco escenarios siguientes.

4.6.1 Indoor Macro

Es un tipo de emplazamiento de interior, esto es que los equipos se instalan dentro de un cuarto o caseta y al ser macro utiliza RFU como unidades de radiofrecuencia. En este tipo de emplazamiento se instala un gabinete conocido como BTS3900.

El BTS 3900 tiene capacidad para albergar dos BBU y 6 RFU, si fuese necesario instalar más de 6 RFU sería necesario instalar otro BTS3900. En nuestro caso serían necesarias 9 RFUs (3 de 900 MHz, 3 de 1800 MHz y 3 de 2100 MHz) por lo tanto en este escenario cuenta con dos BTS3900.

El esquema de la BBU se muestra en la Figura 4.18 Podemos ver que cuenta con dos controladoras.

- La GTMU para el GSM y DCS
- La WMPT para el U2100 y U900

Se muestran 5 WBBP instaladas, en este caso el mínimo a instalar por hardware sería una y el resto se instalarían en función del número de portadoras de U2100 integradas y del tráfico que curse la estación.



Figura 4.18 Esquema BBU indoor macro

El número de RFU instaladas viene dado por el número de sectores y de tecnologías integradas en el emplazamiento, se instala una RFU por sector y banda de frecuencia de esta manera GSM y U900 comparten RFU.

La disposición típica de las RFU se muestra en la Figura 4.18. El gabinete de la izquierda es el compartido con la BBU mientras que en el gabinete de la derecha solamente nos encontraríamos las RFU de 2100.

La conexión de las RFU con la BBU se realizaría mediante los puertos CPRI, las RFU de 1800 MHz se conectan a la GTMU mientras que las de 2100 MHz se conectan a la WBBP del slot 3. Las RFU de 900 MHz se han de conectar simultáneamente a la GTMU y a la WBBP del slot 3 ya que es un recurso compartido por ambas tecnologías.

Para facilitar la instalación y configuración de los equipos se hace coincidir en la manera de lo posible el número de puerto CPRI usado con el Slot donde está situada la tarjeta.

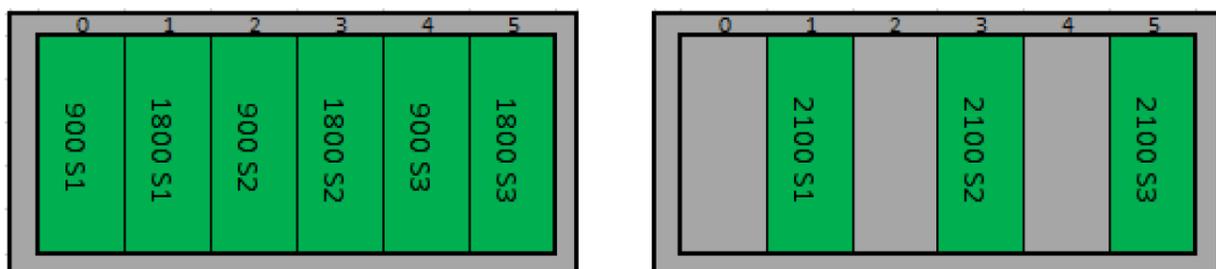


Figura 4.19 Disposición de RFU en Indoor Macro

El gabinete BTS3900 no dispone de sistema propio de alimentación, es decir, debe conectarse a un cuadro eléctrico externo que lo alimente. Tampoco es capaz de generar alarmas externas, es decir, alarmas provocadas por el entorno y no por el equipo. Estas alarmas las genera una red de sensores instalados en la habitación que están conectados a un controlador llamado panel de alarmas.

En este tipo de escenario no es habitual encontrarse ninguna tecnología distribuida, aunque existen algunos casos en el que la banda de 2100MHz se instala mediante RRUs montadas en la torre. En este caso el segundo gabinete BTS3900 no sería necesario y la conexión de las RRUs se realizaría a los mismos puertos que si fuesen RFU.

4.6.2 Outdoor Macro

Este emplazamiento es de exterior, los equipos utilizados se montan a pie a la intemperie a pie de torre, por lo tanto, deben ser equipos preparados para aguantar esta situación. Lo que se hace en este caso es instalar un gabinete del tipo APM30. Este gabinete en realidad está compuesto por varios armarios de los que destacamos tres:

- APM30: En este armario se instalan la BBU y los equipos de alimentación de la estación los cuales suministrarán energía al resto de elementos.
- RFC: Este armario monta las RFU necesarias y los sistemas de refrigeración de estas
- IBBS: Monta las baterías de respaldo por si el emplazamiento sufriese un corte de alimentación. Este gabinete no se encuentra instalado en todos los emplazamientos ya que no es indispensable, aunque es muy recomendable.



Figura 4.20 "Cabinet APM30", Huawei Technologies (2014), Recuperado de "3900 Series Base Station Product Documentation"

La distribución de tarjetas en la BBU y de las RFU es idéntica al caso indoor y al igual que ocurría en este puede ser necesario añadir otro gabinete, en este caso un RFC, si se instalan más de 6 RFU.

En este tipo de escenario es muy común que nos encontremos que la banda de 2100MHz es distribuida y menos común, aunque no es extraño encontrarse la banda de 900MHz también distribuida. Al igual que ocurre en el caso indoor no haría falta añadir la segunda RFC y las conexiones se realizarían igual.

4.6.3 Indoor Distribuido

En este caso nos encontramos con un emplazamiento de interior en el que todas las tecnologías son en modo distribuido. Al ser interior nos encontramos con las mismas condiciones que en el caso Indoor Macro, cuarto protegido de la intemperie y sistema externo de alimentación.

La diferencia principal es que en este escenario no hay RFUs, por tanto, no se necesita un gabinete para ellas con su alimentación y ventilación. Por este motivo este operador

recurre a un rack genérico para estas situaciones, más sencillo y barato de instalar que el BTS3900, ya que únicamente se requiere de un soporte para la BBU. Esto es posible ya que la BBU tiene su propio adaptador de alimentación y su sistema de refrigeración, por tanto, no requiere de ningún tipo de gabinete especial para funcionar. Este tipo montaje impide por completo que existan casos que tengan alguna tecnología en modo Macro.

En cuanto a las RRU's la conexión es similar a los casos anteriores. Las RRU900 se conectarán a la GTMU y WBBP, las RRU1800 a la GTMU y las RRU2100 a la WBBP.

Es muy común en estos emplazamientos que no exista la tecnología de DCS y por lo tanto no existan las RRU1800.

4.6.4 Outdoor Distribuido

Este escenario está a la intemperie por lo que al igual que en el caso outdoor macro necesitamos un gabinete que soporte estas condiciones. El elegido en este caso vuelve a ser el APM30.

Al no haber necesidad de instalar RFU no se instala el gabinete RFC, instalando únicamente los gabinetes APM30 e IBBS para las baterías de respaldo.

En cuanto a la conexión de las RRU se realiza de la misma manera que en el caso indoor y al igual que este no hay casos con alguna tecnología en modo Macro.

4.6.5 Microceldas

Las microceldas son emplazamientos de carácter reducido que generalmente cuentan con una sola celda omnidireccional. Están destinadas a cubrir huecos en el mapa de cobertura de un operador o para dar cobertura en el interior de edificios. Utilizan un

pequeño gabinete llamado OMB, el cual dispone únicamente de espacio para una BBU, el sistema de alimentación del emplazamiento y el control de temperatura y ventilación.

El sistema radiante es distribuido en todos los casos. Esto hace que desde el punto de vista de configuración las microceldas se traten de manera idéntica que los Outdoor distribuido.

4.7 Integración de tecnología LTE

En este capítulo trataremos la integración de LTE en cada escenario, detallando paso a paso los procedimientos a seguir para minimizar el impacto sobre la red en funcionamiento y las pruebas a realizar una vez finalizada la integración para asegurarnos de que el emplazamiento no se ve degradado tras nuestra intervención.

4.7.1 Requisitos previos

Antes de comenzar el procedimiento del swap hay que verificar que se cumplen ciertos requisitos. El objetivo de estas comprobaciones es el de detectar de antemano posibles problemas que se pueden dar durante el swap y que por lo tanto retrasarían la instalación pudiendo afectar a los servicios actuales de la estación.

Las comprobaciones son las siguientes:

- **Crear el fichero de comisionado:** Este fichero contiene toda la configuración LTE tanto de transmisión como radio. Para crear el fichero con antelación se hace necesaria una planificación a una semana para que todos los equipos tengan listo el diseño a implementar.
- **Comprobar el estado actual de las celdas:** Se hará una comprobación previa a la intervención en la que se comprobará el número de celdas definidas y cuantas de estar se encuentran en activo, también se comprobará que no se esté reportando alguna alarma previa a la actuación.

- Comprobar el sistema radiante: Es necesario asegurarse de que hay posibilidad de conectar los módulos RF de LTE a las antenas. Debe haber una tirada libre conectada a las bocas de 1800MHz de las antenas. También ha de comprobarse el estado actual de todo el sistema radiante, para lo cual se medirán valores de ROE en todas las bocas y niveles de ruido para comprobar que nuestra intervención no ha afectado negativamente al sistema radiante. En la Figura 4.21 vemos como una RRU se encuentra de antemano con un valor alto de ROE, en este caso se reportaría el problema y se seguiría con la integración sin la necesidad de ser reparado.

VSWR Query Result						
BS Name	Sector No.	Cabinet No.	Subrack No.	Slot No.	TX Channel No.	VSWR(0.01)
[Redacted]	3	0	60	0	0	125
	3	0	60	0	1	120
	0	0	80	0	0	183
	0	0	80	0	1	104

Figura 4.21 Prueba previa de ROE, se aprecia una RRU OK mientras otra excede el máximo

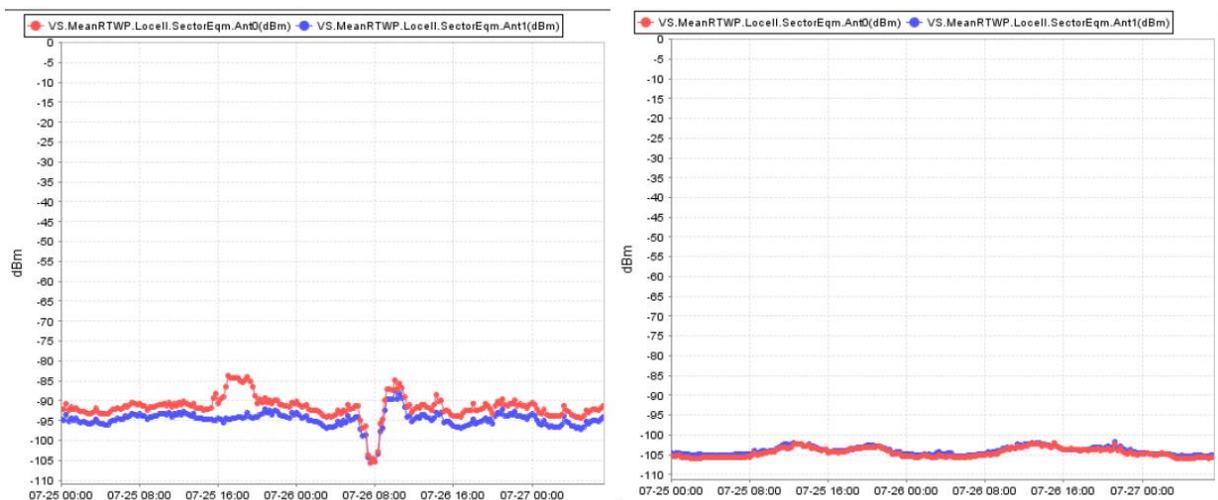


Figura 4.22 Medidas de RTWP previas

El RTWP es una medida de potencia que indica la cantidad de ruido que hay dentro de la celda. En la Figura 4.22 vemos dos casos, el de la derecha refleja una celda de

UMTS que está funcionando correctamente mientras que en la izquierda corresponde a una celda con alto nivel de ruido.

El fichero de comisionado se puede crear con días de antelación ya que únicamente se necesitan los datos del diseño LTE los cuales son:

- Tipo de escenario
- Nombre y ID de red del eNodeB
- IP de eNodeB
- IP de GateWay
- IP de destino
- Número de celdas y ID de cada celda
- Relaciones de vecindad de las nuevas celdas con el resto de la red

Estos datos son introducidos en una plantilla que añade la información que es fija para todos los casos y se importa en el editor integrado en el gestor U2000. Una vez importado el nuevo nodo a través de la citada plantilla podremos exportar el fichero de configuración del nodo correspondiente.

4.7.2 Adecuaciones en el emplazamiento

Una vez realizados los pasos previos se puede comenzar con la integración de la nueva tecnología en el emplazamiento.

El primer paso para esto es la instalación del nuevo hardware necesario, así como la sustitución de alguno ya existente o reubicación en caso necesario. Para todas estas labores se hace necesaria la colaboración de un técnico de campo, en esta fase la comunicación entre operador remoto y técnico de campo es crucial ya que cualquier modificación del hardware ha de repercutirse de forma coherente en la configuración para evitar degradar el servicio actual.

Por este motivo una vez el técnico de campo se encuentra en el emplazamiento se pondrá en contacto con el operador remoto, este tras comprobar que todo es correcto dará el visto bueno y se comenzará con la adecuación del hardware actual para posteriormente poder instalar el nuevo. Esta adecuación depende del tipo de emplazamiento por lo que detallaremos cada uno de los cuatro emplazamientos tipo.

4.7.2.1 Indoor Macro

Como vimos anteriormente este emplazamiento se caracteriza por estar en una ubicación interior y usar módulos RF del tipo RFU. En este emplazamiento habrá que realizar modificaciones tanto en la BBU como en el sistema RF.

4.7.2.2 BBU

Lo más común en estos casos es encontrarnos las siguientes tarjetas instaladas en la BBU: 1xWMPT, 1xGTMU, 3xWBBP.



Figura 4.23 Ejemplo de BBU para Indoor Macro

En la Figura 4.23 podemos ver una típica BBU en el caso de indoor macro. Para realizar la integración de LTE es necesario que no haya más tarjetas instaladas (puede haber menos) en la BBU de las indicadas y han de estar en el orden mostrado.

En el supuesto de que las tarjetas estuviesen en otro orden el primer paso a realizar sería proceder a su reordenación. En el caso de que hubiese más tarjetas instaladas se trataría como un caso especial y diseño debería darnos una solución. Es típico

encontrarse WBBP en los slots que han de quedar libres, en este caso la solución típica es eliminar alguna WBBP o sustituir dos por una de más capacidad.

Una vez tenemos la BBU tal y como se muestra en la Figura 4.24 procedemos a insertar dos nuevas tarjetas, una UCIU y una UBRI. La UCIU se inserta para permitir que la BBU existente y la nueva BBU de LTE puedan sincronizarse para usar simultáneamente las RFU de 1800MHz. La UBRI se usará para conectar nuevas RFU de 1800MHz como veremos más adelante.



Figura 4.24 BBU tras instalar UCIU y UBRI

En la Figura 4.24 vemos cómo ha de quedar la BBU existente. Es importante que antes de continuar nos aseguremos que ambas tarjetas están correctamente instaladas y configuradas. La forma de comprobar esto es asegurarnos de que el gestor la pinta en verde en el diagrama y de que estas no están reportando ninguna alarma por mal funcionamiento, también es importante que el técnico local nos confirme que la tarjeta está encendida con los LEDs de funcionamiento encendidos y que no hay ningún LED de alarma activo.

Con esto la BBU existente ya estaría preparada y podríamos pasar a la adecuación del sistema RF.

4.7.2.3 Sistema RF

Hasta el momento los trabajos realizados en el emplazamiento no han conllevado pérdida de servicio ya que no ha sido necesario desconectar ningún equipo que se encuentre radiando. Esto ya no es así en las adecuaciones del sistema RF, por lo tanto,

es importante que estas se realicen con celeridad y teniendo claros los cambios a realizar.

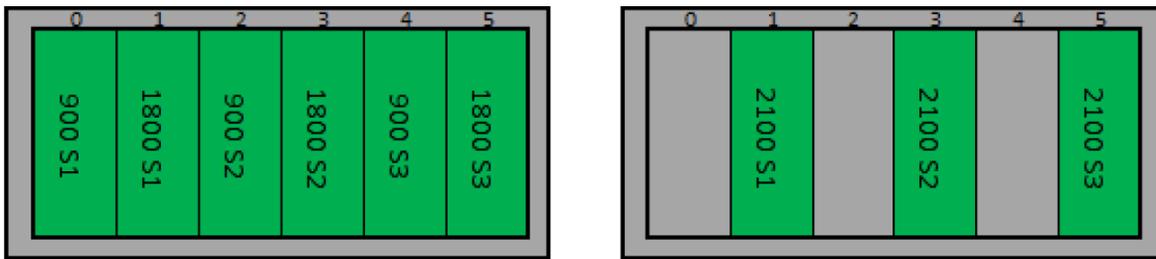


Figura 4.25 Disposición de RFU en indoor macro

En la Figura 4.25 vemos la disposición inicial de las RFU que ya vimos en el capítulo anterior. El problema de esta distribución es que únicamente dispone de 1 RFU 1800MHz por sector, que tal como vimos son 1T2R. LTE requiere una configuración 2T2R para lo cual requiere de dos RFU montadas en paralelo por lo que hay que redistribuir las RFU de 1800MHz y 900MHz.

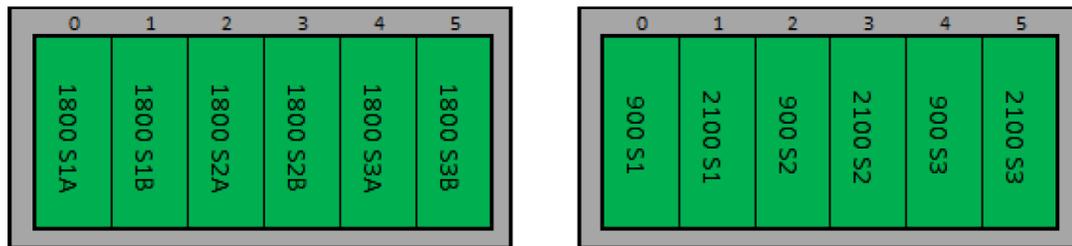


Figura 4.26 Disposición objetivo de las RFU en Indoor Macro

El objetivo es dejar las RFU de 1800MHz solas en un bastidor para así disponer de hueco para el montaje en paralelo. Para lograr esto es necesario mover las RFU de 900MHz al bastidor donde se encuentran las RFU de 2100MHz, durante esta operación el GSM y el U900 se verá interrumpido.

Una vez se han liberado los slots podemos instalar las nuevas RFU 1800MHz junto a las antiguas tal y como se muestra en la Figura 4.26. Para conectar las nuevas RFU a la BBU antigua tenemos el problema de que la GTMU ya tiene sus puertos en uso por tanto hay que liberar slots en la GTMU. La forma de realizar esto es trasladando los

CPRI de las RFU 900MHz a la tarjeta UBRI que instalamos anteriormente, dejando así tres puertos libres para las tres nuevas RFU en la GTMU.

El siguiente paso sería interconectar las RFU de 1800MHz para tener un conjunto 2T2R y una vez este activo se procedería a mover el latiguillo RF de la boca B de la primera RFU a la boca A de la segunda, de esta forma ya estaría disponible el conjunto 2T2R para DCS y LTE. Como ahora disponemos de un sistema 2T2R para DCS tendremos que balancear los TRX de este para evitar que la potencia esté descompensada.

Finalizados los trabajos en el Sistema RF debemos asegurarnos de que los parámetros RF están dentro de los márgenes permitidos. Estos son ROE < 1.5 y RTWP < -95 dBm. Es un caso bastante común encontrarse valores altos de ROE en la boca que antes no transmitía, este tipo de ROE no es fácilmente reparable ya que en la mayor parte de los casos existía antes de la intervención, pero no se pudo detectar debido a que dicha boca no transmitía y por tanto no reportaba ROE.

VSWR Query Result									
BTS Index	BTS Name	Cell No.	Cell Index	Board No.	Cabinet No.	Subrack No.	Slot No.	Antenna Tributary No.	VSWR
				0	0	4	0	Tributary A	1.17
				1	0	4	2	Tributary A	1.15
				2	0	4	4	Tributary A	1.15
				3	0	60	0	Tributary A	1.18
				3	0	60	0	Tributary B	1.12
				4	0	61	0	Tributary A	1.12
				4	0	61	0	Tributary B	1.32
				5	0	62	0	Tributary A	1.11
				5	0	62	0	Tributary B	1.15
				6	0	4	1	Tributary A	1.24
				7	0	4	3	Tributary A	1.16
				8	0	4	5	Tributary A	1.10

Figura 4.27 Prueba de ROE de 900MHz y 1800MHz

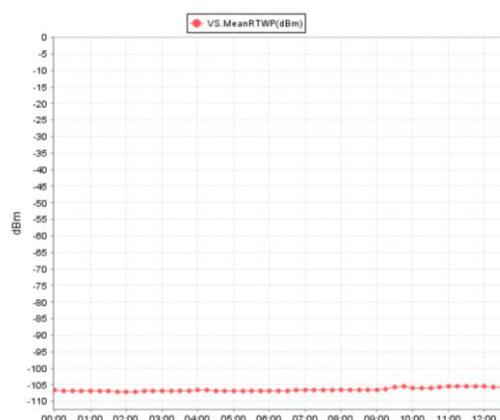


Figura 4.28 RTWP de una celda de U900

4.7.3 Outdoor Macro

Este tipo de emplazamiento es exterior y utiliza RFU para las tecnologías de 1800MHz. La configuración típica de este sitio es 2100 distribuido y 900-1800 macro, por tanto, vamos a usar esta como modelo.

4.7.3.1 BBU

Este caso es idéntico al caso indoor macro ya que se hace necesario instalar UBRI y UCIU. Por tanto, el caso representado en la Figura 4.23 y Figura 4.24 es válido aquí. Hay una pequeña diferencia que consiste en que hay que añadir un APM30 completo donde irá la nueva BBU.

4.7.3.2 Sistema RF

La adecuación del sistema RF cambia ligeramente respecto al caso indoor macro. En esta situación nos vemos obligados a instalar un nuevo gabinete APM30 completo ya que al no estar el 2100 en macro sólo dispones de seis slots en el rack RFC.

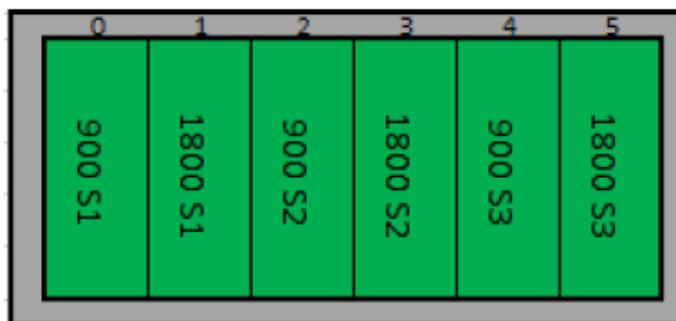


Figura 4.29 Disposición de RFU en Outdoor Macro

Con el nuevo gabinete ya disponemos de doce slots de nueve necesarios, pero al igual que nos ocurría anteriormente hay que reubicar RFUs dado que es necesario instalar las nuevas de 1800MHz junto a las antiguas. Esta vez desplazamos las RFU de 1800MHz al nuevo bastidor dejando las de 900MHz en su posición original evitando así

el gran corte de servicio que se producía en el caso Indoor Macro. Haciendo esto ya dispondremos de espacio para montar las nuevas RFU junto a las antiguas como se ve en la Figura 4.29.

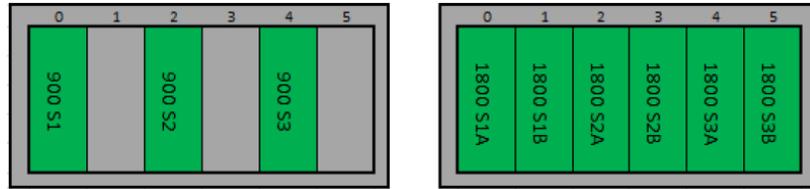


Figura 4.30 Disposición final de RFU en Outdoor Macro

Las conexiones con la BBU se realizan de igual manera que en el caso anterior, se migran las RFU de 900MHz a la UBRI y se conectan todas las RFU de 1800MHz en los CPRI de la GTMU.

Una vez estén todas las RFU operativas y sin reportar alarmas se conectará la actual boca B de las RFU 1800MHz a la boca A de la nueva RFU 1800MHz teniendo así el conjunto 2T2R.

Como igualmente hemos tocado el sistema radiante se hace necesario comprobar los valores de ROE y de RTWP en todas las tecnologías para asegurarnos de que todo queda radiando como estaba.

Si se diera el caso atípico de que la banda de 2100MHz es macro se procedería del mismo modo que en el caso indoor macro.

4.7.4 Indoor Distribuido y Outdoor Distribuido

En este caso nos encontramos el DCS en modo distribuido y con él todas las tecnologías existentes en el emplazamiento ya que como vimos el gabinete usado no permite RFU. Esto afecta directamente a las adecuaciones que hay que hacer tanto a la BBU como al sistema RF.

4.2.3.1 BBU

Este caso difiere principalmente de los casos macro en que al ser las RFU 2T2R no es necesario instalar más hardware RF. Esto implica directamente que la UBRI no es necesaria y por lo tanto se permite una WBBP más tal y como se muestra en la Figura 4.31.

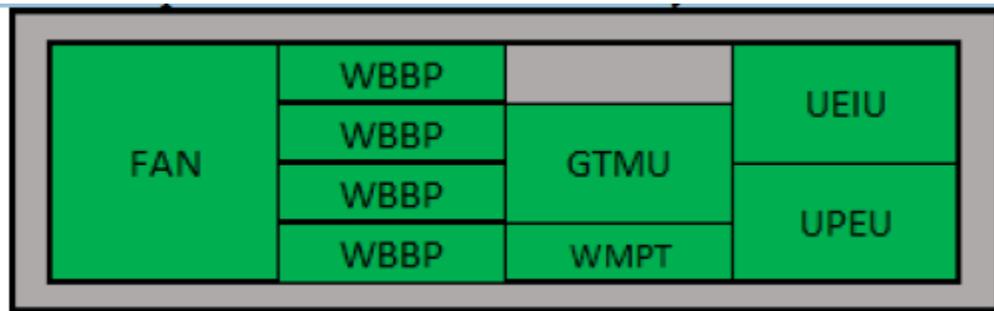


Figura 4.31 Disposición BBU en Indoor Distribuido y Outdoor Distribuido

Como en los casos anteriores si el punto de partida no es el mostrado en la Figura 4.31 habrá que realizar los cambios oportunos, ya sea reubicar tarjetas o sustituirlas. Desde este punto de partida únicamente habría que insertar la UBRI.

Como en los casos anteriores hay que asegurarse de que la instalación de la BBU queda correctamente antes de continuar para evitar las posibles degradaciones no previstas de la red.

4.7.4.1 Sistema RF

La adecuación del sistema RF en este caso es totalmente diferente a los casos Macro. En este escenario no van a existir los problemas de falta de slots ni habrá que reubicar tecnologías para hacer espacio ya que las RRU no van sobre racks, si no que se anclan directamente a la torre.

En este escenario podemos distinguir dos casos:

- No existen RRU de 1800 MHz
- Existen RRU de 1800MHz de 80W

En el primer caso la solución es sencilla, hay que montar nuevas RRU de 1800MHz de 80W o 120W que usará el LTE en exclusiva. Dicho trabajo no influye en el servicio por lo que se dispone de todo el tiempo que sea necesario.

El segundo caso es algo más complejo ya que una RRU de 80W no dispone de la potencia necesaria para funcionar LTE y DCS con la potencia mínima de ambos. Por lo que la solución pasa por sustituir las actuales RRU de 80W por RRU de 120W. Este es un trabajo lento y con un gran impacto sobre el servicio ya que durante el tiempo en el que se está sustituyendo la RRU no hay servicio ninguno.

Para minimizar los impactos se sigue un procedimiento estricto durante la intervención.

- Esta se realizará siempre sector a sector y nunca cortando varios sectores al mismo tiempo.
- Cuando se pueda se instalará la nueva RRU en su soporte antes de desconectar la actual. Si no hay espacio físico no queda más remedio que desmontar la existente.
- Cada vez que se termine con un sector el técnico de campo avisará a operaciones para comprobar que esta queda radiando y sin alarmas. Además de comprobar ROE y RTWP de la misma manera que se revisó en el caso Indoor Macro.

Una vez se han instalado las nuevas RRU de 1800MHz se puede dar paso a la integración de LTE.

4.7.5 Adecuación del sistema radiante

Hay ocasiones en las que el sistema radiante instalado no se puede utilizar para radiar LTE y por lo tanto hay que modificarlo o sustituirlo completamente en según qué casos.

Estas situaciones se dan cuando no existe DCS previo integrado en el emplazamiento, por lo cual no hay tirada de 1800MHz instalada. A la hora de instalar la tirada RF de 1800MHz hay tres casos diferentes

- La antena no tiene banda de 1800MHz: Es necesario en este caso cambiar la antena
- La antena dispone una banda dual 1800-2100 MHz que está en uso por la banda de 2100 MHz: En este caso se instala un combinador en la base de la torre para radiar ambas tecnologías por la misma boca de la antena.
- La antena dispone de una banda de 1800MHz libre: Esta situación se solventa combinando 1800MHz y 2100MHz abajo para después diplexarlo arriba. De esta forma se ahorra instalar una nueva tirada que es costosa de poner.

4.7.6 Antenas

Es la adecuación más común que se realiza ya que se aprovecha la intervención para modernizar el sistema radiante y dotarlos con los nuevos sistemas de RET (Remote Electrical Tilting).

Si las antenas actuales no disponen de banda de 1800MHz se procede a desinstalar las existentes y a instalar una nueva antena que disponga de esta banda. La antena a instalar depende de las tecnologías del emplazamiento, el espacio disponible y las condiciones de diseño.

Las antenas más utilizadas en este proyecto son de la marca Andrew

El cambio de antenas es una operación larga y delicada ya que afecta a todos los servicios del sector en curso durante varias horas, además es un trabajo de altura por lo que es necesaria la luz del día por lo que no se pueden utilizar las horas nocturnas para

minimizar impacto. Generalmente y salvo excepciones estos trabajos se realizan desde primera hora de la mañana.

Al igual que en las adecuaciones del emplazamiento es necesario comprobar el estado previo del emplazamiento para asegurarnos que no se degrada ninguno de los servicios actuales.

Las antenas no disponen de gestión a través de U2000 por tanto es un trabajo que tendrá que realizar el técnico de campo siguiendo el diseño que le hayan facilitado. Una vez el técnico nos informe que el trabajo ha finalizado se debe comprobar que las celdas quedan arriba, que el ROE no es elevado en ninguna tirada y que el RTWP tiene valores similares a los anteriores.

Al cambiar la antena se afecta al área de cobertura ya que el diagrama de radiación de ambas antes no tiene por qué ser el mismo. Para solventar esto todas las antenas instaladas disponen de RET integrado, este mecanismo permite modificar la inclinación de la antena remotamente. Para ello es necesario que sean configurados, configurar los RETs del vendedor Huawei es bastante sencillo debido a que con un simple comando el U2000 escanea y te muestra los números de serie de cada RET instalado en el emplazamiento.

Teniendo los números de serie simplemente se trata de emparejar estos con un ID, este ID es el que usará U2000 para localizar el RET y modificar el Tilt eléctrico. La importancia de los RETs reside en que tras el cambio de antena un equipo de monitorización sigue la evolución de las celdas del emplazamiento y modifica el tilt que sea necesario para obtener un alcance de cobertura lo más similar posible al que había antes del cambio de antenas.

Result	ALD Device Type	Vendor Code	Serial No.
SUCCESS	STMA	HW	F400403714707CC
SUCCESS	SINGLE_RET	HW	M1360EC044988668r
SUCCESS	SINGLE_RET	HW	M1360EC044A5254rr
SUCCESS	SINGLE_RET	HW	M1360EC044C689yyR
SUCCESS	SINGLE_RET	HW	M1360EC044B4926yL
SUCCESS	STMA	HW	F150385314707FE
SUCCESS	SINGLE_RET	HW	M1360EC042P22288r
SUCCESS	SINGLE_RET	HW	M1360EC042Q5555rr
SUCCESS	SINGLE_RET	HW	M1360EC042S733yyR
SUCCESS	SINGLE_RET	HW	M1360EC042R8127yL

Figura 4.32 Ejemplo de escaneo de RET en un emplazamiento

```

Display RET Dynamic Information
-----
Device No. Device Name Actual Vendor Code Actual Device Serial No.
3          RET_800_S1  HW          M1360EC044988668r
4          RET_900_S1  HW          M1360EC044A5254rr
5          RET_1800_S1 HW          M1360EC044C689yyR
6          RET_2100_S1 HW          M1360EC044B4926yL
7          RET_800_S2  HW          M1360EC042P22288r
8          RET_900_S2  HW          M1360EC042Q5555rr
9          RET_1800_S2 HW          M1360EC042S733yyR
10         RET_2100_S2  HW          M1360EC042R8127yL

```

Figura 4.33 Asociación Número de Serie con ID del RET

4.7.7 Diplexores y combinadores

Un diplexor y un combinador es en realidad el mismo elemento, el cual se puede utilizar para combinar dos bandas por una misma tirada de cable RF o bien para separar ambas bandas en sendas tiradas de cable RF.

El uso de combinadores está muy extendido ya que permite ahorrar en las grandes tiradas de cable al meter varias bandas por el mismo. Como contrapartida hay que remarcar que son propensos a elevar el nivel de ruido que encontramos en la tirada.

Existen multitud de ellos en función de las bandas a combinar por lo que no podemos poner aquí todos los usados durante el proyecto. La instalación de estos afecta en igual medida que el cambio de antenas, con la diferencia que suelen llevar bastante menos

tiempo. El procedimiento de instalación desde operaciones no difiere en absoluto al del cambio de antenas, ya que habrá que comprobar el estado previo del radiante y final una vez haya terminado.

A diferencia de las antenas estos elementos no afectan al alcance de la estación, por lo que una vez instalados y todos los parámetros comprobados correctamente no afectan al servicio.

Una vez se han adecuado las tecnologías existentes podemos comenzar con la integración de LTE.

4.8 Instalación hardware LTE

Comenzaremos añadiendo el hardware necesario, en este caso una nueva BBU equipada con una UMPT y una LBBP tal como se puede ver en la Figura 4.34.

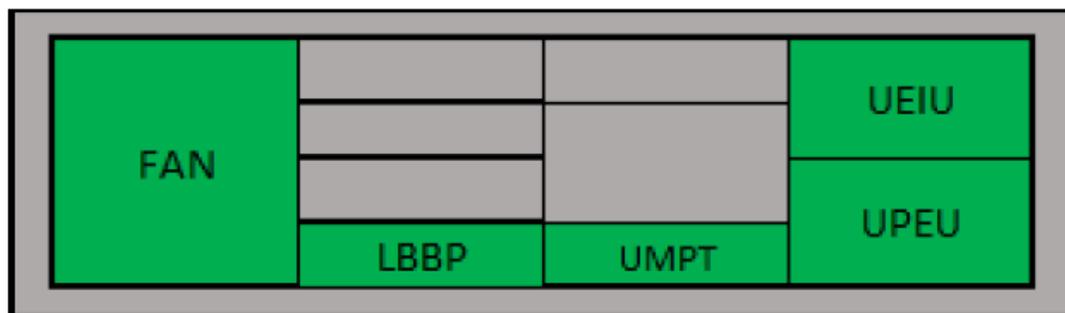


Figura 4.34 BBU para LTE

Esta UMPT se ha de conectar a la UCIU instalada a través del puerto CI como ya se indicó en un capítulo anterior. A la LBBP se deben conectar las 6 MRFU 1800MHz ya preparadas en modo 2T2R o las 3 RRU 1800MHz de 120W.

4.8.1 Comisionado UMPT

Cuando está el nuevo hardware instalado y conectado se procede al comisionado de la nueva UMPT, este procedimiento consiste en cargarle el fichero de configuración conectando un PC en local.

Durante el comisionado el PC se configura como un servidor FTP que contiene el fichero, acto seguido por línea de comando se fuerza a la UMPT a descargar dicho fichero desde la IP del PC, una vez lo descargue la UMPT reiniciará y cargará la nueva configuración.

Tras esta carga el nuevo equipo estará configurado y podrá tener gestión remota pero antes hay que configurar la parte del gestor U2000 y conectar la nueva UMPT al enlace RTN.

Debido a la ausencia de controladoras en LTE la configuración en el gestor se hace muy sencilla siendo necesario únicamente proporcionarle el nombre del eNodeB y la IP que tiene el eNodeB. Aunque esta es la información necesaria el gestor permite introducir información de cara a organizar la red como puede ser la localización física del emplazamiento o indicar que el eNodeB cuelga de un grupo como puede ser una provincia.

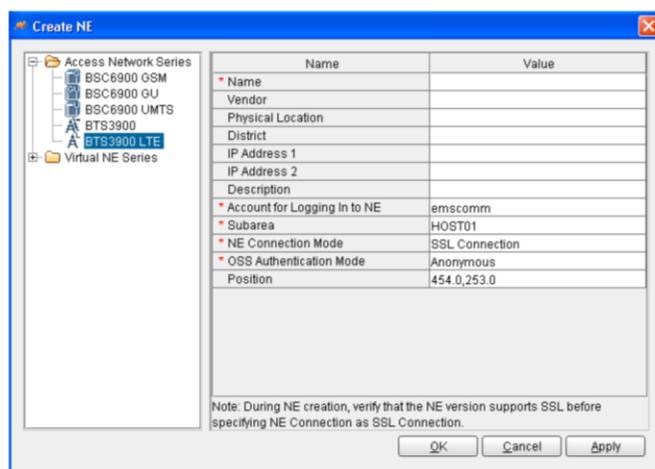


Figura 4.35 Configuración nuevo eNodeB en U2000

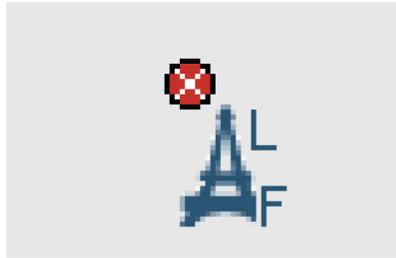


Figura 4.36 eNodeB configurado sin gestión

Con el eNodeB configurado en ambos extremos podemos realizar la conexión física, esta se realiza mediante un cable Ethernet desde la UMPT al puerto asignado por diseño en el RTN. Si la configuración es correcta en ambos extremos el nodo entrará en gestión y pasará a estar representado como en la Figura 4.36. El color rojo indica que el eNodeB está reportando alarmas, estas alarmas son normales y habrá que limpiarlas en los siguientes pasos.

4.8.2 Actualización de Software y carga de licencia

Lo primero que debe hacerse una vez tenemos el eNodeB en gestión es actualizar la versión de software a la versión que esté desplegada en red. Es un proceso que se puede

realizar de forma semiautomática a través del gestor U2000 indicando eNodeB y versión objetivo. El proceso tarda entre 15 y 30 minutos dependiendo de la versión actual de la UMPT y de la versión objetivo.

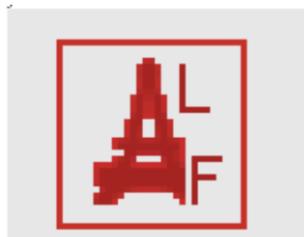


Figura 4.37 eNodeB en gestión alarmado

Mientras dura la actualización es recomendable no realizar ninguna configuración ya que se pueden producir reinicios.

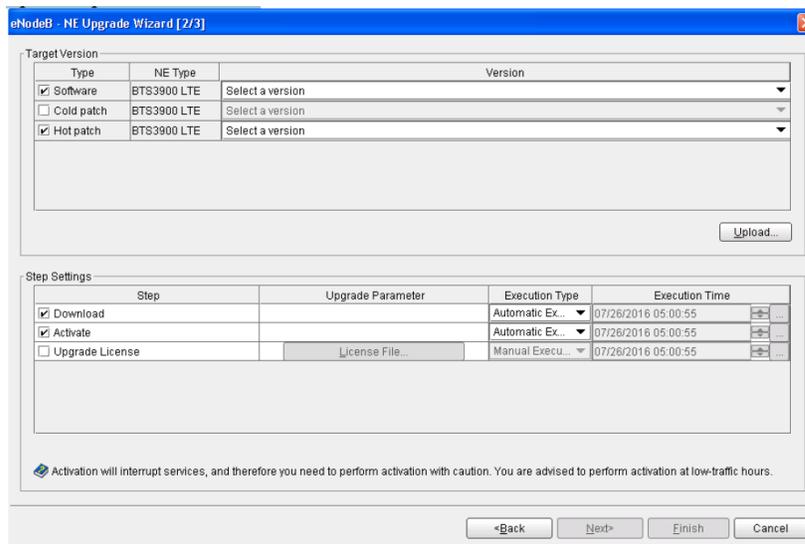


Figura 4.38 Ventana del asistente de actualización

Una vez concluida la actualización deberemos cargarle una licencia al eNodeB para que se puedan activar las celdas. Estas licencias las suministra Huawei específicamente para cada eNodeB en función de lo que el operador haya contratado para el emplazamiento. Debido a que la obtención de la licencia comercial definitiva puede tardar varias horas incluso días en estar disponible se caga una versión trial. Esta licencia permite activar el eNodeB y realizar las pruebas pertinentes durante un tiempo limitado.

4.8.3 Configuración RRU/RFU

Es frecuente tener que configurar las RRU/RFU debido a que la plantilla usada para crear el fichero de configuración no es consistente con la instalación real. Esto se debe a que hay emplazamientos en los que por algún problema no se puede seguir la configuración estándar.

Las RRU/RFU se configuran sobre un chain, el chain a su vez está asignado a un CPRI concreto de la LBBP. A las RRU/RFU también hay que indicarles el modo de trabajo, esto es, si van a funcionar sólo para LTE o son de uso compartido con DCS. En la Figura 4.39 vemos un ejemplo de RRUs configuradas sólo para LTE (LTE_FDD)

mientras que en la Figura 4.40 vemos el ejemplo de seis RFU trabajando en modo dual (GSM_LTE).

```

List RRU/RFU Configure Information
-----
Cabinet No.  Subrack No.  Slot No.  Administrative State  RRU Topo Position  RRU Chain No.  RRU Position  RRU type  RF Unit Working Mo
0             70             0         Unblocked             TRUNK              0              0            LRRU     LTE_FDD
0             71             0         Unblocked             TRUNK              1              0            LRRU     LTE_FDD
0             72             0         Unblocked             TRUNK              2              0            LRRU     LTE_FDD
(Number of results = 3)

```

Figura 4.39 Asignación de RRU a chain

```

List RRU/RFU Configure Information
-----
Cabinet No.  Subrack No.  Slot No.  Administrative State  RRU Topo Position  RRU Chain No.  RRU Position  RRU type  RF Unit Working
0             4             0         Unblocked             TRUNK              0              0            MRFU     GSM_LTE
0             4             1         Unblocked             TRUNK              1              0            MRFU     GSM_LTE
0             4             2         Unblocked             TRUNK              2              0            MRFU     GSM_LTE
0             4             3         Unblocked             TRUNK              3              0            MRFU     GSM_LTE
0             4             4         Unblocked             TRUNK              4              0            MRFU     GSM_LTE
0             4             5         Unblocked             TRUNK              5              0            MRFU     GSM_LTE
(Number of results = 6)

```

Figura 4.40 Asignación de RFU a chain

```

List RRUCHAIN Configure Information
-----
Chain No.  Topo Type  Backup Mode  Head Cabinet No.  Head Subrack No.  Head Slot No.  Head Port No.  Tail Cabinet No.  Tail Subrack No.
0          CHAIN    COLD         0                 0                 3              0              NULL             NULL
1          CHAIN    COLD         0                 0                 3              1              NULL             NULL
2          CHAIN    COLD         0                 0                 3              2              NULL             NULL
(Number of results = 3)

```

Figura 4.41 Asignación de chain a puerto de LBPP

Con la licencia trial cargada correctamente y el sistema RF configurado el eNodeB presentará un aspecto en el gestor como el que se aprecia en la Figura 4.42. El aspa ha desaparecido y el color azul nos indica que no hay ninguna alarma.



Figura 4.42 Aspecto de un eNodeB en gestión y sin alarmas en U2000

Se puede dar el caso que la instalación en el emplazamiento no coincida exactamente con la plantilla tipo usada para crear el fichero de configuración, eso provocaría que en este punto tuviésemos alguna alarma de Hardware. Estas alarmas se pueden dar por tres casos:

- Existe algún elemento hardware configurado que no se ha instalado realmente.
- Algún elemento hardware se ha tenido que instalar en una posición diferente a la habitual.
- Existe algún elemento hardware instalado que no se encuentra configurado.

En ambos tres casos la solución es la misma, ponerse en contacto con el técnico en campo para bien modificando la configuración o la instalación hacer que ambas sean coherentes.

Existen otro tipo de alarmas frecuentes llamadas Intersystem estas alarmas lo que nos están indicando que algún elemento compartido por dos o más tecnologías está configurado de distinta manera en cada uno. Esto ocurre porque desde el gestor vemos dicho elemento como independiente para cada tecnología, pero físicamente es el mismo, por lo que la configuración remota de dicho elemento deberá ser idéntica en todas las tecnologías que la utilicen. Este fallo puede ser por dos causas:

- Configuración remota no consistente.
- Existe un cruce en el cableado local, por lo cual se cruza la configuración de dos o más tarjetas.

Es difícil detectar a priori en cuál de los dos casos estamos, por lo que el procedimiento es avisar al técnico local para que revise el cableado mientras en remoto se revisa la configuración. Es importante que la configuración de RRU/RFU que se aplica a LTE sea la misma que en DCS en caso de que compartan el sistema RF.

List BTS RXU Board									
BTS Index	BTS Name	Cabinet No.	Subrack No.	Slot No.	Board Type	RXU Specification	RXU Spec Value	RXU Spec Name	RXU Name
		0	4	0	MRFU	MRFU V2 SPEC	61	MRFU_V2	0-4-0
		0	4	1	MRFU	MRFU V2 SPEC	61	MRFU_V2	MRFU-0-4-1
		0	4	2	MRFU	MRFU V2 SPEC	61	MRFU_V2	0-4-2
		0	4	3	MRFU	MRFU V2 SPEC	61	MRFU_V2	MRFU-0-4-3
		0	4	4	MRFU	MRFU V2 SPEC	61	MRFU_V2	0-4-4
		0	4	5	MRFU	MRFU V2 SPEC	61	MRFU_V2	MRFU-0-4-5

Figura 4.43 Asignación RFU en DCS

En la Figura 4.43 vemos la configuración de la parte DCS del caso mostrado en la Figura 4.40 donde se ve que las RFU están configuradas en el mismo gabinete/subrack/slot.

Una vez solucionados los problemas que nos hemos podido encontrar la integración de LTE ya estaría realizada a falta de realizar las pruebas para darla por completada.

4.8.4 Pruebas Pre-Activación

Antes de activar los sectores de LTE hay que comprobar los niveles de ROE en la banda LTE. El gestor U2000 nos permite comprobarlo fácilmente lanzando un comando. Ninguna tirada debe superar el valor 1.5, el cual es el establecido por el operador para garantizar la calidad del servicio.

Si el valor de ROE obtenido sobrepasa el máximo permitido y en las pruebas previas a la intervención este era correcto habrá que revisar la instalación en local para subsanar el fallo. Si el valor obtenido es del orden de 25 no está indicando que el circuito está abierto o bien la tirada tiene instalado un componente que filtra la frecuencia de LTE.

VSWR Query Result						
BS Name	Sector No.	Cabinet No.	Subrack No.	Slot No.	TX Channel No.	VSWR(0.01)
	1	0	4	0	0	116
	1	0	4	1	0	130
	2	0	4	2	0	106
	2	0	4	3	0	110
	3	0	4	4	0	113
	3	0	4	5	0	113

Figura 4.44 Prueba de ROE correcta

Para evitar degradaciones del servicio hay que comprobar que las vecinas que se cargan mediante el fichero realmente se han cargado. Se comprueba fácilmente listándolas por comando, no es necesario que estén todas las del diseño ya que el diseño puede contener vecinas contra nodos que aún no existen, pero la mayor parte deberían entrar.

4.8.5 Pruebas durante activación

Si el eNodeB tiene vecinas cargadas y el ROE está dentro de los valores permitidos se podrán activar las celdas para continuar las pruebas. Con las celdas activadas hay que comprobar dos puntos:

- El técnico en local es capaz de conectarse a las celdas con un teléfono 4G
- El nivel de RSSI medido en remoto no es superior a -115dBm

Si esto no fuera así se deberá apagar las celdas inmediatamente para evitar degradaciones en la red.

Si se cumplen ambos puntos las celdas se quedan activadas y se realizarán cinco pruebas de velocidad en cada sector para comprobar que cumple con la calidad requerida. Estas pruebas deberán darnos como resultado un mínimo de 36Mbps para el DL y 18 Mbps para el UL.



Figura 4.45: Prueba de velocidad realizada a una celda LTE

En la Figura 4.45 vemos una prueba de velocidad en la que los valores obtenidos cumplen holgadamente con los mínimos de calidad (derecha) mientras en la otra no se cumplen en ninguno de los intentos (izquierda). Si todas las pruebas radio (ROE, RTWP e interferencia externa) cumplen los valores exigidos y la prueba de velocidad no mejora se dejarían las celdas activadas reportando la situación a Huawei para analizar el caso.

Adicionalmente mientras se hacen las pruebas de descarga en local se comprueba mediante una APP llamada G-Net Track la celda a la que se conecta en cada sector, esta prueba simple y rápida permite descartar posibles cruces de sectores en el radiante.

Una vez las pruebas de velocidad se han completado se puede dar la integración de LTE por finalizada y se deja el nuevo eNodeB radiando.

4.8.6 Pruebas Post-Activación

Tras la activación es necesario comprobar varios KPIs para asegurarnos de que la nueva tecnología funciona correctamente y que no hay interferido en el normal funcionamiento de las anteriores.

Para comprobar los KPIs se usa el gestor U2000, este gestor tiene un servidor FTP que periódicamente recoge los KPIs de todos los emplazamientos que gestiona. Esto permite comprobar rápidamente los KPIs de varios emplazamientos.

El primer KPI de LTE que se debe comprobar es el conocido como FallBack (CSFB). El CSFB es el contador que recoge los intentos y éxitos de salto de la red LTE a la 3G. Recordemos que LTE actualmente no cursa llamadas de voz y por tanto requiere usar la red 3G. Si el contador de intentos de CSFB es muy superior al de éxito está indicando que los intentos de llamada a través de LTE están fallando. Este fallo se produce cuando no están bien configuradas las vecinas entre las dos redes.

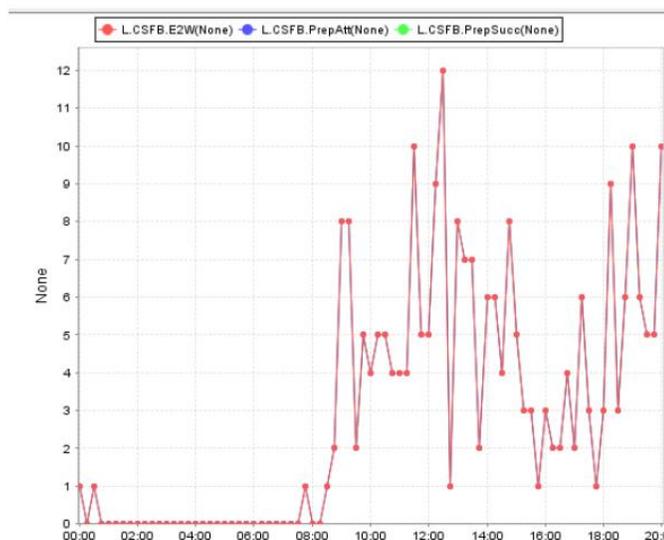


Figura 4.46: KPI de CSFB de una celda LTE.

El CSFB que vemos en la Figura 4.46 coincide exactamente en número de intentos como de éxitos por lo que comprobamos que se están realizando correctamente las llamadas de voz estando conectado a la red LTE.

Por seguridad, pasada una hora se comprueban de nuevo los valores de RSSI en el histórico para descartar problemas. Estos valores deben seguir siendo inferiores a -115dBm y no puede presentar extensos picos por encima de este umbral (Se aceptan pequeños picos aislados no prolongados en el tiempo).

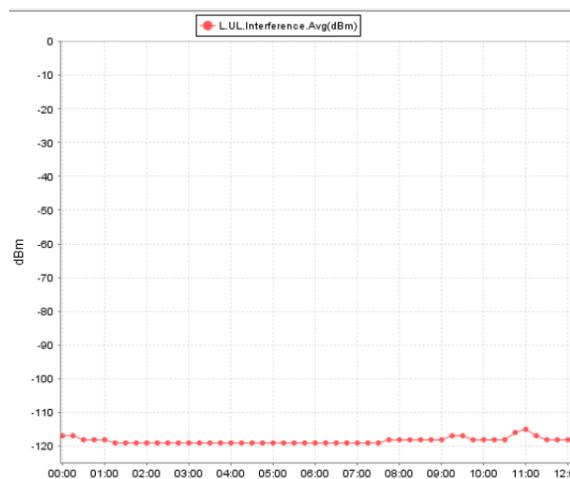


Figura 4.47: Gráfico de RSSI en LTE

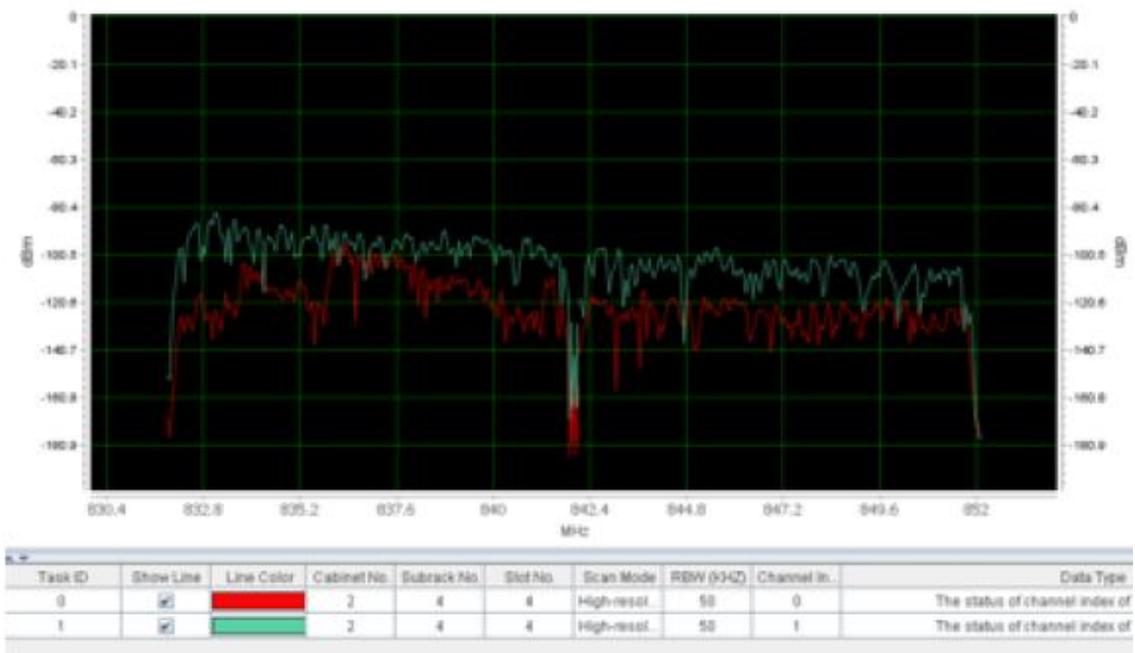
La gráfica de la Figura 4.47 muestra el valor medio del RSSI en toda la banda de LTE, esto es útil para detectar problemas, pero aporta poca información. Ya que en caso de tener problemas con el RSSI no sabríamos si se encuentra en toda la banda o es focalizado en unas frecuencias determinadas o si afecta a ambas tiradas del sistema radiante por igual o sólo a una de ellas.

Por lo tanto, en el caso de tener un problema de RSSI se debe monitorizar en tiempo real para poder sacar conclusiones. En general podemos encontrarnos tres situaciones:

- El RSSI afecta a toda la banda y de manera desigual a cada tirada: Algún elemento está introduciendo ruido o PIM en la tirada afectada. Figura 4.48
- El RSSI afecta a ambas tiradas por igual y se focaliza en unas frecuencias determinadas: Por lo general estas situaciones se deben a una interferencia

externa que puede estar provocada por otro sector de la misma estación, por otra estación vecina del mismo o distinto operador o por algún sistema radiante cercano destinado a otro propósito. Figura 4.49

- El RSSI afecta a toda la banda por igual y ambas tiradas: Suele deberse a problemas de saturación en recepción, se soluciona fácilmente atenuando la señal a la entrada de la RFU/RRU.



142Figura 4.48: RSSI en LTE desigual en ambas tiradas que afecta a toda la banda

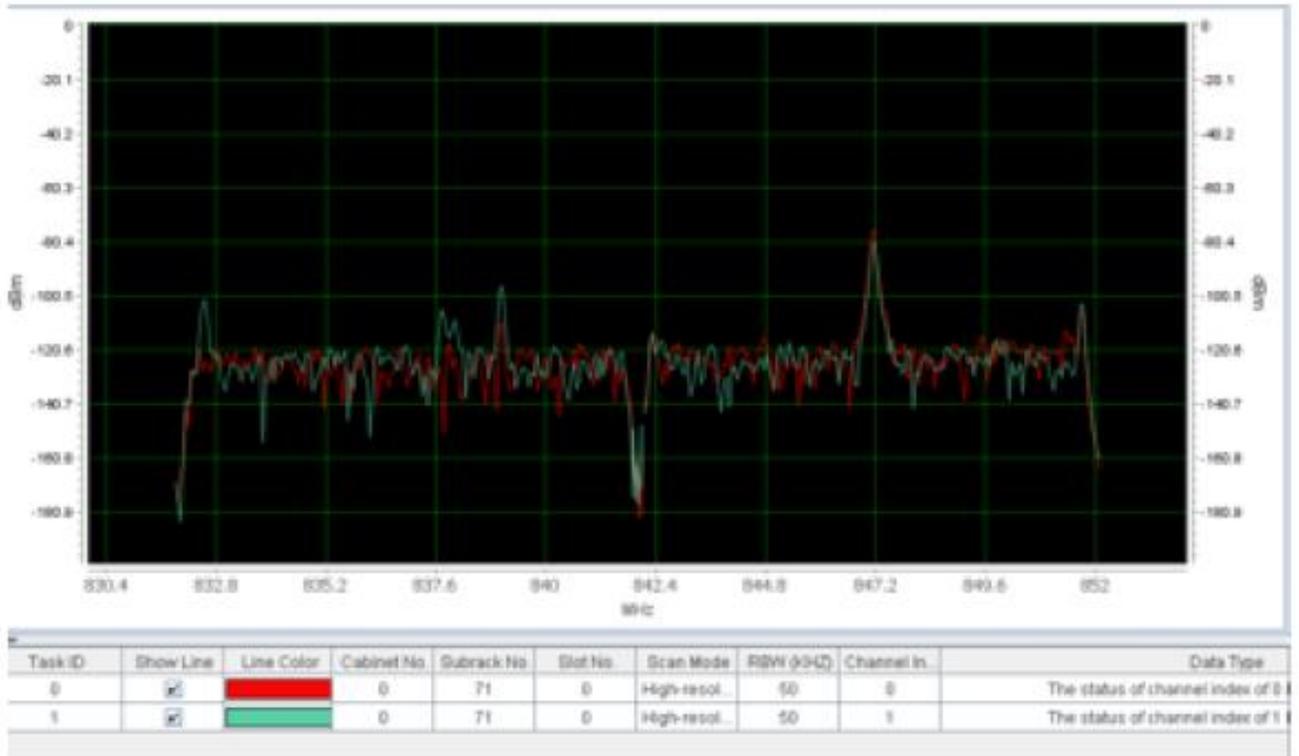


Figura 4.49 RSSI en LTE concentrado en una frecuencia

También es aconsejable comprobar que los KPIs de DCS no se han visto degradados, sobre todo el que mide la accesibilidad de la celda, al igual que los KPIs de LTE estos son fácilmente accesibles a través de U2000.

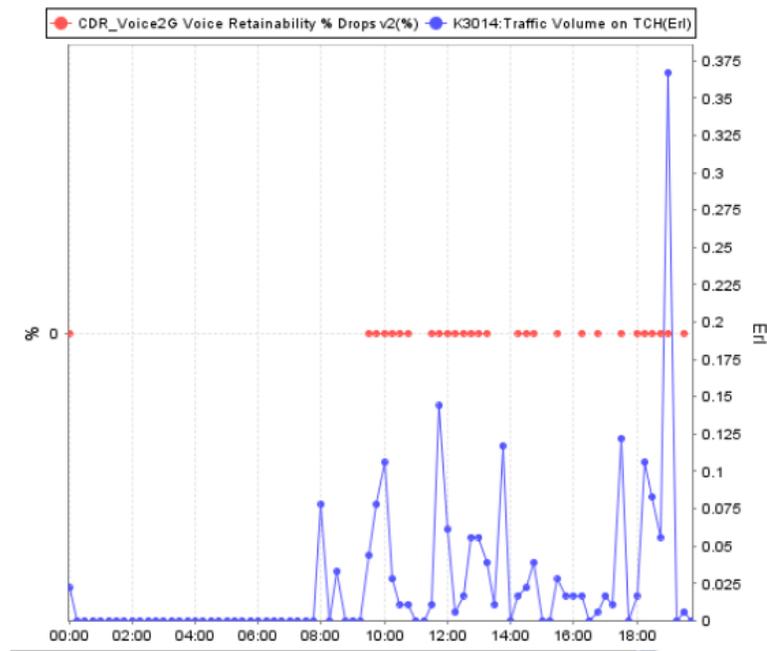


Figura 4.50 KPIs básicos de una celda 2G

En la Figura 4.50 se muestra un ejemplo de KPIs en 2G. La línea azul representa el tráfico en Erlangs mientras que la roja es el porcentaje de conexiones rechazadas. Como se ve la celda está cursando tráfico y no tira conexiones lo que nos permite afirmar que se encuentra funcionando sin problemas.

En el caso de que la celda no estuviese funcionando como debería lo primero que apreciaríamos es que descartaría un gran número de conexiones. Se permite y es normal encontrarse casos que el Drop esté en torno al 1-2% debido a tráfico intenso.

4.8.7 Posibles problemas durante la integración

Durante la realización del proyecto nos hemos tenido que enfrentar a diferentes problemas que pueden retrasar e incluso llegar a retrasar la integración. Vamos a explicar brevemente las más habituales y sus soluciones frecuentes.

4.8.7.1 El nuevo eNodeB no entra en gestión

Puede ocurrir que tras comisionar el nodo en local y configurarlo en remoto este no llegue

a sincronizar y no podamos obtener gestión remota de él. Este problema es bastante habitual y se puede solucionar fácilmente en la mayoría de los casos.

Lo primero de todo es comprobar que el cable Ethernet que se utiliza para la transmisión del eNodeB está correctamente instalado, hay dos formas de comprobar esto.

- Físicamente en local con inspección visual.
- Remotamente accediendo a la gestión del equipo de transmisión puedes comprobar que haya un cable conectado en el puerto correspondiente.

El siguiente paso sería comprobar que la configuración IP cargada en el eNodeB coincide con el diseño. En este punto habrá que prestar especial atención a las máscaras de subred y etiquetas de VLAN.

De ser correcta la configuración en el eNodeB se comprobará que la IP configurada en el Gateway se corresponde con la de diseño. Si en ambos extremos la IP está bien configurada y ambas están dentro de la misma subred delimitada por la máscara correspondiente habrá que revisar los saltos intermedios por si alguno estuviese bloqueando la VLAN.

Estas comprobaciones solucionan el problema en la mayoría de los casos, si tras estas el problema persiste habrá que ponerse en contacto con el equipo encargado de los equipos de transmisión para que revisen su configuración.

4.8.7.2 Las celdas de LTE no se activan

En algunos casos al activar las nuevas celdas de LTE estas reportan fallos y no levantan. Puede deberse a múltiples fallos, pero los más habituales son los siguientes.

En un primer paso nos aseguraremos que el hardware está debidamente conectado, esto se hará visualmente por parte del técnico y en remoto se comprobará que no haya alarmas de hardware y que todos los equipos están activos y sincronizados con la controladora.

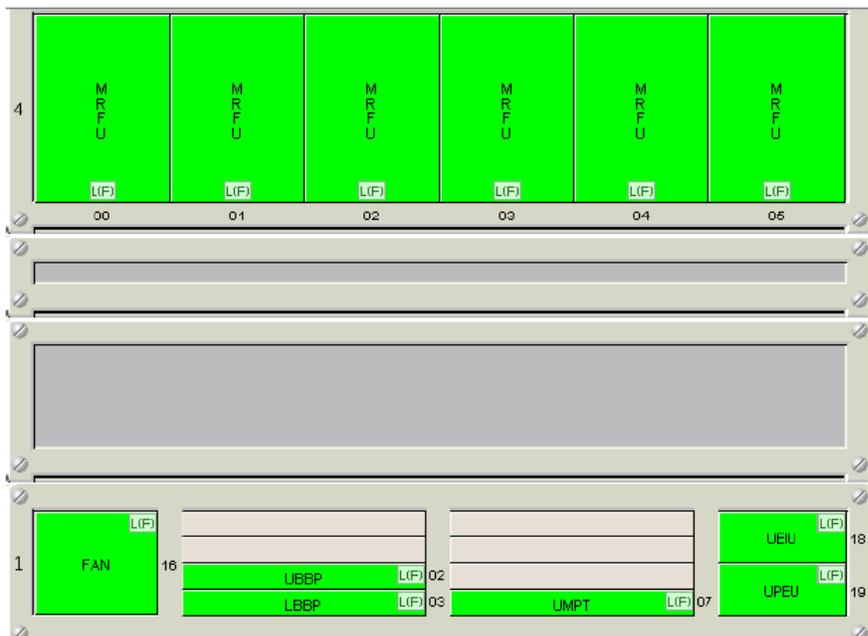


Figura 4.51 Ejemplo de un eNodeB sin alarmas Hardware.

Si el problema no está en el Hardware se revisará la capacidad de la licencia, U2000 permite comprobar rápidamente si la configuración actual excede algún parámetro de la licencia.

```

Configuration Data Check Result
-----
Check Result = The data configured is not out of range of the License.
(Number of results = 1)

---   END

```

Figura 4.52 Comprobación de licencia

Lo siguiente será comprobar que la potencia asignada a la RRU/RFU correspondiente no excede sus especificaciones técnicas. Para ello habrá que sumar la potencia de LTE más la de todos los TRX de DCS si hubiese. Si continua el error se revisará que no haya ningún TRX de DCS que solape en frecuencia con LTE ya que de ser así no levantaría ninguna de las dos tecnologías.

4.8.7.3 El técnico no consigue conectarse a las nuevas celdas LTE

Si el técnico en local no es capaz de conectarse a las nuevas celdas LTE lo primero es comprobar que estas estén activas, que salgan reflejadas como Normal en su estado.

```

Display dynamic parameters of cells
-----
Local Cell ID  Cell instance state  Reason for latest state change  |
6              Normal          Cell setup succeeded.           |
7              Normal          Cell setup succeeded.           |
8              Normal          Cell setup succeeded.           |

```

Figura 4.53 Comprobación de estado de celdas

De estar activas se debe acotar el problema al eNodeB o al teléfono utilizado para realizar las pruebas. Es muy sencillo comprobar si el eNodeB tiene otros usuarios conectados a través de las aplicaciones de monitorización de U2000.



Figura 4.54 Número de usuarios conectados a una celda LTE

Además, podemos comprobar el CSFB para asegurarnos que está redirigiendo llamadas a la red 3G. Si todo esto funciona acota el problema al teléfono de pruebas.

De residir el problema en el eNodeB lo más sencillo es realizar una recarga de todas las vecindades y volver a comprobar. De persistir el problema se apagarán las celdas y se informará del caso ya que probablemente se deba a algún problema en el Core de la red.

4.8.7.4 Las RFU/RRU de 1800MHz caen continuamente al activar las celdas de LTE

Este problema se debe la mayor parte de las veces a que la UCIU no está bien configurada o a un defecto de la fibra que conecta esta con la UMPT de LTE. Al no estar funcionando la UCIU tanto DCS como LTE intentan acceder al sistema RF sin sincronizarse mutuamente lo que provoca la caída del equipo.

Si este no es el problema habrá que comprobar que la potencia del emplazamiento sea suficiente para alimentar todos los equipos de los que disponga.

Conclusiones

En este proyecto se describió el despliegue de la red LTE PARA REGIÓN 1, con énfasis en un equipo instalado en la central de Mexicali, para el operador de telefonía móvil MOVISTAR, bajo una serie de condiciones. Estas condiciones derivaban en unos objetivos a cumplir en la realización del proyecto.

Estudiando los diferentes escenarios de los que dispone el operador hemos visto que se pueden agrupar en cuatro tipos principalmente dependiendo principalmente de si se usaban equipos de interior o de exterior y el tipo de sistema RF utilizado. A la hora de ver la forma de integrar LTE rápidamente se llega a la conclusión de pese a ser escenarios distintos la integración se realiza de una manera muy similar en todos gracias a la versatilidad de los equipos que se encuentran instalados. Los cambios y añadidos en la BBU son básicamente los mismos en todos los casos.

La diferencia principal se encuentra en el sistema RF ya que según sea macro o distribuido se procederá de manera completamente distinta. La integración es algo más complicada en los emplazamientos macro debido a que LTE radia en modo 2T2R mientras que las RFU que se encuentran desplegadas son 1T2R, pese a esto hemos visto una forma relativamente sencilla y que permite seguir utilizando el equipo instalado para solventar este problema.

Para minimizar costes hemos visto que en la mayor parte de los casos se puede hacer un uso compartido del sistema RF instalado para DCS. Durante la integración se ha tratado de evitar afectar al servicio del operador, aunque como hemos visto hay situaciones que es necesario desconectar un sector por un tiempo prolongado incluso horas, como en el caso de las antenas. En esta situación la única solución que se ha propuesto es la de finalizar completamente un sector antes de comenzar con el siguiente. Esta forma de trabajar aumenta el tiempo total de la intervención, pero minimiza el impacto en el servicio ya que al menos habrá siempre disponibles dos sectores de los tres.

Todas las operaciones que afectan al servicio son en realidad de adecuación del equipo actual para poder integrar los nuevos y en su mayor parte consisten en reubicación de equipos. Hemos visto por escenarios la forma más eficiente de realizar estas reubicaciones intentando afectar solo a una tecnología o bien en el peor de los casos el tener que cortar dos simultáneamente pudiendo hacerse secuencialmente.

Para detectar prematuramente fallos en la integración se ha propuesto comprobar una serie de KPIs tanto antes de activar, justo tras la activación y tras la activación transcurrida una hora.

Estos KPIs son fácilmente accesibles gracias a que el gestor los recoge e indexa de forma automática. Estas comprobaciones abarcan tanto las nuevas celdas desplegadas como las celdas existentes. En este punto es importante centrarse en las celdas de DCS ya que estas pasan a compartir banda con el LTE.

Las conclusiones en este aspecto son que la integración de LTE no afecta al servicio dado hasta el momento pese a utilizar los mismos equipos. Por tanto si se detectara alguna degradación sería necesario revisar tanto la configuración como la instalación en buscar de inconsistencias y defectos.

A lo largo del trabajo realizado en este proyecto he podido comprobar las comodidades que aportan los equipos modulares singleRAN y especial la BTS3900 de Huawei. Como hemos visto permite desplegar una nueva red utilizando recursos existentes sin perjudicar los servicios que ya se encuentran en funcionamiento. Para compartir estos recursos son necesarios unos pequeños cambios en comparación de lo que implicaría tener que desplegar la red utilizando equipos completamente independientes como ya paso en el despliegue de la red UTRAN.

La aplicación de este nuevo estándar en las telecomunicaciones generará múltiples posibilidades en nuevos proyectos y alcances, no sólo para ciertos sectores de la población, sino para un marco más amplio. La complejidad de la que se conforma el estándar, confirma que los avances tecnológicos en su mayoría, obliga a usar teorías cada vez más complejas, y con aspectos de aplicación menos úsales, para redituarse en una simpleza tan real, que hace su uso muy común.

La aplicación del estándar LTE tomará aun varios años para que alcance un nivel de desarrollo considerado, no solo para la descarga y carga de datos a alta velocidad, o por los recursos económicos y su proceso de instalación y despliegue; sino por lo intereses múltiples internacionales que existen en cada país a ser aplicados, y el poco, o casi inexistente control que cuentan las autoridades de éstos para poder crear un ambiente regulatorio y de normalización que permitan a una convolución simple y sencilla que conlleve al acceso libre de todos los ciudadanos al internet, y los servicios que de éste se puedan desprender.

La comprensión de estándar, tanto para su ejecución como aplicación no es difícil, al contrario, se simplifica. La evolución de las telecomunicaciones en México llega algo tarde, sin embargo, es parte de su comportamiento constante al no existir una demanda cómo tal del servicio y de una visión que pueda satisfacer los ámbitos público y privado. Las convergencias de las comunicaciones son parte fundamental, no solo para la interconexión e interrelación de las mismas, sino para la evolución y transición de un estándar a otro sin afectar a la población, ejemplo de ello ha sido la transición de TDMA hasta HSPA+ que son estándares que se han usado en México.

Trabajo futuro

A la finalización de este proyecto se estaba comenzando el despliegue de LTE sobre la banda de 800MHz en otras regiones de la republica, todo apunta a que este despliegue se realizará de forma rápida debido a la infraestructura de LTE1800 que ya se encuentra desplegada y que se puede utilizar.

Respecto a los equipos de telefonía móvil caminan a poder integrar en un solo equipo todas las tecnologías de acceso radio que hay hasta la fecha. Eso facilitaría la

integración de nuevas tecnologías y la reconfiguración de emplazamientos incluso de forma remota en algunos casos.

Bibliografía.

- [1] Huidobro, José Manuel, “Comunicaciones móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE”, 2012
- [2] Web de 3GPP [En línea] <http://www.3gpp.org>
- [3] Antonio Luis Flores Galea, “Evolución de las redes de telefonía móvil”, 2009, Junta de Andalucía: Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa.
- [4] Web de Ericsson [En línea] <http://www.ericsson.com>
- [5] “3900 Series Base Station Product Documentation”, 2014, Huawei Technologies.

[1] **Understanding LTE and its Performance.**

Tara Ali-Yahija
254 p., New York, USA. 1ra Edición, 2011.
ISBN 978-1-4419-6456-4

[2] **4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband**

Erik Dahlman, Stefan Parkvall and Johan Sköld.
455 p., Inglaterra, UK. 1ra Edición, 2011.
ISBN: 978-0-12-385489-6

[3] Revista de Administración Pública.

“El Instituto Mexicano de Comunicaciones: Una opción al Futuro.”

Ing. Eugenio Méndez Docurro.
Págs. 27 – 29, México, D.F., 1991, número 79
ISSN 0482-5209

[4] COFETEL.

**Título de Concesión y Autorización de la SCT a:
Servicio Organizado Secretarial, S.A. de C.V. (S.O.S. actual Iusacell)**
México, D.F., con fechas 1957 y 1989.

[5] COFETEL.

**Título de Concesión y Autorización de la SCT a:
Radiomovil Dipsa, S.A. de C.V. (Telcel)**
México, D.F., 1989.

[6] NGMN Publications.

Brochure NGMN
Germany and United Kingdom, 2011.

Referencias.

- [1] http://www.cofetel.gob.mx/es/Cofetel_2008/Cofe_antecedentes - COFETEL.
- [2] <http://www.itu.int> – ITU.
- [3] <http://www.itu.int/ITU-R/> – ITU-R.
- [4] <http://www.3gpp.org/> - 3GPP.
- [5] <http://www.4gamericas.org/> - 4G Americas.

- [6] <http://www1.ahciet.net/> - AHCJET.
- [7] <http://portal.oas.org/Topic/CITEL/tabid/378/Default.aspx> - CITEL.
- [8] <http://www.gsmworld.com/> - GSMA.
- [9] <http://www.ngmn.org/home.html> - NGMN
- [10] http://www.cofetel.gob.mx/swb/Cofetel_2008/CNAF - CNAF.
- [11] http://www.cofetel.gob.mx/work/models/Cofetel_2008/Resource/4168/1/118.pdf - Ley Federal de Telecomunicaciones de los Estados Unidos Mexicanos.
- [12] <http://www.sct.gob.mx/fileadmin/normatividad/web/telecomunicaciones/76.pdf> - Reglamento de Telecomunicaciones.
- [13] http://www.cofetel.gob.mx/wb/Cofetel_2008/Cofe_reglamento_interno_de_la_cofetel - Reglamento Interno de la Comisión Federal de
- [14] <http://consejoconsultivocofetel.mx/wp-content/uploads/2011/04/Consejo-Consultivo-Lineamientos-2011-04-11.pdf> - Lineamientos Operativos del Consejo Consultivo de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.
- [15] http://www.cofetel.gob.mx/es_mx/Cofetel_2008/resolucion_y_reglas_de_operacion_del_ccnt_p140410 - Reglas de Operación del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones (CCNN-T).
- [16] <http://www.mobileworldcongress.com/index.html> - Mobile Word Congress 2012.
- [17] http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1645-0-200306-!!PDFE.pdf – Recomendación ITU-R M1645 sobre IMT-Advance.

LTE Advanced.

- [1] <http://www.huawei.com/en/static/hw-094163.pdf> - por Huawei.
- [2] <http://www.huawei.com/spain/catalog.do?id=1675> – por Huawei.
- [3] <http://www.huawei.com/spain/catalog.do?id=1668> – por Huawei.
- [4] <http://www.ericsson.com/news/1526485> - por Ericsson.
- [5] http://www.ericsson.com/news/111222_lte_series_244188808_c - por Ericsson.
- [6] http://www.ericsson.com/res/thecompany/docs/publications/ericsson_review/2010/next-generation-lte.pdf - por Ericsson.
- [7] <http://www.nokiasiemensnetworks.com/news-events/press-room/pressreleases/lte-advanced-carrier-aggregation-on-commercial-equipment-a-wor> - por Nokia.
- [8] <http://www.nokiasiemensnetworks.com/news-events/press-room/pressreleases/4g-speed-record-smashed-with-14-gigabits-per-second-mobilecall-mwc12> - por Nokia.
- [9] <http://www.nokiasiemensnetworks.com/portfolio/products/mobilebroadband/single-ran-advanced> - por Nokia.

Instituto Politécnico Nacional E S I M E

Página |139

- [10] <http://www.qualcomm.com/solutions/wireless-networks/technologies/lteadvanced> - por Qualcomm.
- [11] <http://www.qualcomm.com/about/research/projects/lte-advanced> - por Qualcomm.
- [12] <http://www.qualcomm.com/media/documents/lte-advanced-heterogeneousnetworks-0> - por Qualcomm.
- [13] http://www.alcatellucent.com/wps/portal/!ut/p/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKL

d4w3MfQFSYGYRq6m-pEoYgbxjgiRIH1vfVP_
NxU_QD9gtzQiHJHR0UAAD_zXg!!/delta/base64xml/L0lJayEvUUd3QndJ
QSEvNEIVRkNBISEvNI9BXzdNVC9IbI93dw!!?LMSG_CABINET=Bell_Labs
&LMSG_CONTENT_FILE=News_Features/News_Feature_Detail_000462.x
ml - Alcatel-Lucent.

[14] http://www2.rohde-schwarz.com/file_13924/1MA169_2E.pdf - por ROHDE & SCHWARZ.

[15] http://www.tcs.com/SiteCollectionDocuments/White%20Papers/EIS_Whitepaper_LTE_Advanced_Future_of_Mobile_broadband_09_2009.pdf - por TATA Consultancy Services.

[16] <http://business.motorola.com/experiencelte/pdf/LTEAirInterfaceWhitePaper.pdf> - por Motorola.

Acrónimos.

Acrónimo Significado

3GPP 3rd Generation Partnership Project.

3GPP-2 Tecnologías no pertenecientes a 3GPP.

NON 3GPP.

AHCIET Asociación Iberoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones.

ATIS The Alliance for Telecommunications Industry Solutions.

BCCH Broadcast Control Channel

BCH Broadcast Channel

BPSK Binary Phase Shift Keying.

CAPEX Capital Expenditures (Gastos de Capital)

Carrier Nombre usado para determinar a los prestadores de servicios de telecomunicaciones.

CCCH Common Control Channel

CCNN-CTI Comité Consultivo Nacional de Normalización de Comunicaciones y Tecnologías de la Información.

CCNN-RTSP Comité Consultivo Nacional de Normalización de Radiodifusión, Telegrafía y Servicios Postales

CCNN-T Comité Consultivo Nacional de Normalización de Telecomunicaciones.

CCP Comité Consultivo Permanente.

CCSA China Communications Standards Association.

CDM Code Division Multiplexing

(Multiplexaje por División de Código)

CDMA2000 Code Division Multiple Access version 2000.

CEPT Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones
CIDET Centro de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones.
CITEL Comisión Interamericana de Telecomunicaciones.
Clúster Consta de una celda central hexagonal, rodeada a su vez de otras 6, en conjunto son 7 eNB que crean un Clúster.
CNAF Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.
COFETEL Comisión Federal de Telecomunicaciones (Gobierno Mexicano).
COM/CITEL Comité Directivo Permanente de la CITEL.
CP Cyclic Prefix ó Prefijo Cíclico.
CQI Channel Quality Indicator
DCCH Dedicated Control Channel
DFT Discrete Fourier Transform
(Transformada Discreta de Fourier)
DGIDT Dirección General de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
DL Down Link
(Descarga)
DL-SCH Downlink Shared Channel

DTCH Dedicated Traffic Channel
EARFCN E-UTRAN Absolute Radio Frequency Channel Number
eNB Evolved NodeB
eNodeB Evolved NodeB
EPC Evolved Packet Core.
ETSI European Telecommunications Standards Institute
(Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones)
EUA Estados Unidos de Norteamérica.
EUTRA Evolved Universal Terrestrial Radio Access
EUTRAN Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
E-UTRAN Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network.
FAC Final Assembly Code
(Código de Ensamblado Final)
FDD Frequency Division Duplex
FDM Frequency Division Multiplexing
(Multiplexaje por División de Frecuencia)
FFT Fast Fourier Transform
(Transformada Rápida de Fourier)
GB Gigabyte
GSMA Global System Mobile Association.
GTP – C GPRS Tunneling Protocol for the Control Plane
GTP – U GPRS Tunneling Protocol for the User Plane
GUTI Globally Unique Temporary UE Identity
HSPA High Speed Packet Access.
HSS Home Subscriber Server
IDFT Inverse Discrete Fourier Transform
(Transformada Inversa Discreta de Fourier)
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IFFT Inverse Fast Fourier Transform
(Transformada Inversa Rápida de Fourier)

IMC Instituto Mexicano de Comunicaciones.

IMSI International Mobile Subscriber Identity

IMT – Advanced International Mobile Telecommunications – Advanced.

IP RAN Internet Protocol for Radio Access Network

ITU International Telecommunication Union.

ITU – R ITU – Radiocommunication.

Kc Ciphering Key

L1 Capa Física

L2 Capa de Transmisión.

LTE Long Term Evolution.

MAC Medium Access Control

MBMS Multimedia Broadcast Multicast Services

MBSFN MBMS Single Frequency Network

MCC Mobile Country Code

MCCH Multicast Control Channel

MCH Multicast Channel

MIMO Multiple Input Multiple Output.

MME Mobility Management Entity

MMSE Minimum Mean Square Error
(Mínimo Error Cuadrático Medio)

MNC Mobile Network Code

MPLS Multi-Protocol Label Switching

MTCH Multicast Traffic Channel

NAS Non-Access Stratum

NCR Neighbor Cell Relation List

NGMN Next Generation Mobile Networks.

O&M Operation & Maintenance
(Operación y Mantenimiento)

OEAS Organización de los Estados Americanos.

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing
(Multiplexaje por División de Frecuencia Ortogonal)

OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access
(Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales)

OPEX Operational Expenditures (Gastos de Operación)

Padding Cualquier espacio extra entre los encabezados de las capas se conoce como Padding.

PBCH Physical Broadcast Channel

PCCH Paging Control Channel

PCFICH Physical Control Format Indicator Channel

PCH Paging Channel

PCI Physical Cell Identity

PDCCH Physical Downlink Control Channel

PDCCP Packet Data Convergence Protocol

PDSCH Physical Downlink Shared Channel

P-GW PDN Gateway

PHICH Physical Hybrid ARQ Indicator Channel
PMCH Physical Multicast Channel
PS Packet Switch
PSK Phase Shift Keying.
QAM Quadrature Amplitude Modulation.
QPSK Quadrature Phase Shift Keying.
RET Remote Electrical Tilt
(Tilt Eléctrico Remoto)
RIT Red Interamericana de Telecomunicaciones.
RLC Radio Link Control
RRC Radio Resource Control
S1-AP S1 Application Protocol.
SAE System Architecture Evolution.
SC-FDMA Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
(Acceso Múltiple por División de Frecuencia en una Portadora)
SCT Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Gobierno mexicano)

Stream Control Transmission Protocol.
S-GW Serving Gateway
SNR Serial Number Registry
SPARE Número de confirmación del IMEI
Sync Synchronization
(Sincronización)
TAC* Type Allocation Code
(Código de Tipo de Ubicación)
TB Terabyte
TDD Time Division Duplex
TDM Time Division Multiplexing
(Multiplexaje por División de Tiempo)
TIC Tecnologías de la Información y la Comunicación.
Tilt Inclinación
TS Technical Support.
TTA Telecommunications Technology Association.
TTC Telecommunication Technology Committee.
UDP User Datagram Protocol
UE User Equipment.
UL Up Link
(Carga)
UMTS Universal Mobile Telecommunications System.
Vendor Vendedores, nombre usual a las compañías generadoras de equipos de comunicaciones.
WCDMA Wideband Code Division Multiple Access.
WiMax Worldwide Interoperability for Microwave Access.

Anexos.

A1.- Marco Regulatorio de las Telecomunicaciones en México

Como se vio al principio de este trabajo, las comunicaciones en México han tenido un gran impacto en su desarrollo, y actualmente son la punta de la lanza para la generación de más y mejores empresas en el territorio nacional. Teniendo una aplicación del estándar LTE a nivel nacional, el alcance de aplicaciones, desarrollo de sistemas y fidelidad en la información, se incrementó más allá de lo sustancialmente viable, con lo que se crea una eficacia mas fuerte en las empresas.

Siendo una nación con vocación a ser país un país desarrollado, es imperante la aplicación de este tipo de estándares lo más pronto posible, cabe recalcar que no solo el gobierno está obligado a la generación de esta tecnología, sino que funge solo como regulador del espectro radioeléctrico correspondiente a México, y que cae la responsabilidad por completo en las compañías concesionadas y permisionadas de frecuencias del espectro radioeléctrico, las encargadas de satisfacer las necesidades del país y por ende, tener una mayor calidad de los servicios que pueda ofrecer.

A.2.- Marco de Trabajo en el Espectro Radioeléctrico de México.

En México, el Gobierno en turno, a través de sus instituciones, es el encargado de la administración, renta, explotación, uso y seguridad del espectro radioeléctrico que se ejerce a nivel Nacional, incluyendo sus territorios comprendidos tanto como terrestres y acuíferos.

Por ende, en el CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias) de forma comparativa explicita se muestra el uso de los rangos de frecuencias correspondientes a México en cotejo al aplicado de forma internacional, con ello se obtiene un mayor margen de la aplicación de los rangos de frecuencias.

Para ser más precisos, en el CNAF se encuentra el uso y aplicación de las tecnologías a ocupar en los rangos de frecuencias, que van desde los sistemas más simples como los sistemas de radio de banda corta, pasando por los sistemas de radiodifusión en AM y FM, hasta llegar a las comunicaciones por microondas y de enlaces satelitales; el ancho de banda que se trabajará en el estándar corresponde la mayoría a la familia de microondas, sin embargo, en general se maneja una amplia gama de frecuencias como se plasma en el documento de *3GPP TS 36.101 versión 10.5.0*, tanto muestra las combinaciones de frecuencias a utilizar como en qué sistema de operación sería el más conveniente.

Para concretar, en México, los proyectos de 4G (Conocido comercialmente así a el estándar LTE) se desarrollan en bandas que estarán entre los 1700 MHz a los 2700 MHz, aproximadamente, esto dependio de las frecuencias que se encontraron disponibles en México y la asignación por parte de los concesionados.

Se debe de aclarar que entre mayor es la frecuencia, es menor su penetración y mayor su difracción, por lo cual, se tienen pérdidas considerables, de igual forma, se necesitará más eNB para cubrir las áreas en donde se brindará el servicio, esto a que su atenuación se acentúa por su alta frecuencia.

A.3.- Organismo Gubernamentales Regulatorios Mexicanos.

Como parte de los organismos que son los encargados del uso del espectro y por ende, del uso que se le brindara a este, el primer encargado por parte del gobierno federal de México es la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT en siglas, Ministerio Federal, de la Republica o Nacional), la encargada como tal, de administrar en lo generar el espectro radioeléctrico. Como órgano descentralizado de la SCT está la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL en siglas) la encargada de designar y especificar el uso, sobre todo en cuestiones técnicas, mantener al margen el uso ilegal o no autorizado del espectro y la actualización continua de los concesionados y permisionados activos en la nación.

A3.1.- Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La *Secretaría (Ministerio) de Comunicaciones y Transportes* (SCT), tiene como función principal la de salvaguardar por el bien común sobre los bienes de la nación en pro de los gobernados. Esto indica que es el encargado de ratificar, dar o denegar el otorgamiento de las concesiones y permisos sobre el uso de los antes mencionados.

Actualmente las funciones sobre las Comunicaciones recae sobre la subsecretaría de comunicaciones, derivada de la S.C.T., que se encarga exclusivamente del área de las telecomunicaciones y coadyuva en la toma de decisiones sobre las concesiones y permisionarios.

Todas las funciones y características de esta dependencia vienen enmarcadas en la Ley Federal de Telecomunicaciones de los Estados Unidos Mexicanos, de igual forma tiene un organismo descentralizado llamado Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL en siglas) quien es el responsable de la actualización, supervisión, recomendación y análisis de todo lo relacionado tanto a los concesionados y permisionados.

A3.1.1.- Subsecretaría de Comunicaciones.

La subsecretaría tienen como función principal el coadyuvar en todos los aspectos relacionados con las telecomunicaciones, esto abarca desde las comunicaciones radioeléctricas o de espectro hasta las de fibra óptica y derivados.

Anteriormente la conformación y funciones de la subsecretaria eran más extensas, sin embargo debido a la continua evolución de las Telecomunicaciones, fue necesario desplazar ciertas responsabilidades a un órgano descentralizado con fines o tintes preferentes generara imparcialidad en los análisis y tomas de decisiones. Actualmente la subsecretaria también funge como intermediario entre la COFETEL y la SCT para las cuestiones relacionadas a las concesiones brindadas, denegadas y que serán suprimidas.

A3.2.1.- Comisión Federal de Telecomunicaciones.

Es una entidad que citando a la letra de la Ley Federal de Telecomunicaciones, Artículo 9-A dice... *es el órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría, con autonomía técnica, operativa, de gasto y de gestión, encargado de regular, promover y supervisar el desarrollo eficiente y la cobertura social amplia de las telecomunicaciones y la radiodifusión en México, y tendrá autonomía plena para dictar sus resoluciones.* Por lo anterior, se entiende que proviene de la SCT y coadyuva en la regulación, promoción y supervisión no solo del espectro radioeléctrico, sino de las tecnologías que son ejercidas en dicho espectro, sus concesionados y permisionados.

Para poder tener un mayor criterio se definirá lo que es un concesionado y un permisionado. Concesionado es una figura ya sea en persona física o moral a la cual se le brinda una concesión del espectro radioeléctrico de un región en específico sobre el territorio nacional, a fin de instalar, operar y explotar redes públicas de telecomunicaciones, sin embargo se necesita un permiso que permita el poder instalar, operar y explotar una comercializadora de servicios de telecomunicaciones sin tener el carácter de red pública, así como las estaciones terrenas transmisoras, por ambos conceptos, el gobierno recibirá una compensación económica como contraprestación.

Es necesario también el conocer su ámbito de acción citado de su sitio web oficial... *“Que todos los mexicanos tengan acceso a servicios integrales de telecomunicaciones, prestados en un ambiente de sana competencia y donde prevalezcan condiciones propicias para el desarrollo de mayor infraestructura, la eficiente prestación de los servicios y la introducción de nuevas tecnologías.”*... Con esto se refuerza la imparcialidad de este organismo descentralizado.

A3.2.2.1.- Pleno de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.

Como previamente se vio, al ser un órgano descentralizado, necesita un Pleno, en el cual, por ley se encontrarán cinco consejeros, y de entre ellos se votará al consejero que presidirá la Comisión (Presidente de la COFETEL). Este Pleno será la máxima autoridad dentro de la comisión, y será quien también desarrolle y coordine las actividades correspondientes a la comisión, siempre apegado al margen de derecho enmarcado en el Reglamento Interno de la COFETEL.

A3.2.2.2.- Consejo Consultivo de la Comisión Federal de Telecomunicaciones.

Como un medio de comunicación más directo entre los actores del sector, la sociedad civil y por el interés general se crea el Consejo Consultivo, este órgano de consulta

permanente de la COFETEL, brindará opinión, asesoría y ayuda sobre los alineamientos, reglamentos y promoción de las políticas públicas por parte del gobierno, citando el texto del Artículo 1 del Lineamiento del Consejo Consultivo de la COFETEL... *“El Consejo Consultivo es un órgano de consulta permanente de la Comisión Federal de Telecomunicaciones. Su función es brindar opinión, asesoría y ayuda a la promoción de políticas públicas en materia de telecomunicaciones.*

Su objetivo principal es fungir como organismo de consulta en temas clave para el desarrollo y fomento de la industria de telecomunicaciones en México. En la persecución de estos objetivos, buscará fomentar un debate abierto, imparcial y transparente.

Las opiniones, posturas y recomendaciones que formule el Consejo Consultivo serán preeminentemente prospectivas, serán facultativas y no tendrán carácter vinculatorio, ni para la Comisión, ni para sus órganos o funcionarios.” ... Con ello, su principal característica será crear también foros de interés común, donde se generen diversos puntos de vista sobre los problemas, necesidades y bondades de los sistemas actuales de las telecomunicaciones donde la COFETEL tengo injerencia y pueda aplicar un campo de acción, esto no significa que tenga carácter obligatorio las conclusiones obtenidas por dicho consejo, sino que serán totalmente personales del este sin involucrar ningún órgano gubernamental.

A3.2.2.3.- Comité Consultivo Nacional de Normalización en Telecomunicaciones.

Como previamente se vio en la historia de las comunicaciones en México, han existido diversas necesidades en la forma de organización y control de las nuevas tendencias de las tecnologías, como respuesta a ello es la creación del CCNN-T, quien es presidido por el presidente de la COFETEL en conjunto con representantes de diversas Asociaciones Mexicanas de Ingeniería, Centros de Investigación, centros de estudios y actores del sector; se encarga de la normalización de las nuevas y actuales tecnologías en México, creando así Normas Oficiales Mexicanas, que cuentan con la experiencia y conocimientos de los antes mencionados, esto a fin de adaptar las nuevas tecnologías y estándares a las necesidades de la nación, siempre y cuando no modifiquen como tal al

estándar original para que su interacción con otros sistemas no se vea perjudicado.

Su división es sencilla y directa, ya que después del Presidente, se divide en subcomités, éstos son lo que verán a detalle parte de las diversas tecnologías presentes con influencia en el desarrollo de la nación, sus subcomités son:

Subcomité de Redes de Telecomunicaciones, Subcomité de Radiocomunicación y Servicios Satelitales, Subcomité de Tecnologías de la Información y Subcomité de Radiodifusión; cada uno abocado a las principales necesidades del país.

A5.- Recomendación de la UIT consultada.

[1] ITU E.212 - Plan de identificación internacional para redes públicas y suscripciones.