



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

**CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO
2G Y 3G INDEPENDIENTES A UNA SOLA RED DE ACCESO MÓVIL
MULTITECNOLOGÍA A TRAVÉS DE *SINGLE RAN***

Ivonne Alejandra Palacios Rodríguez

Asesorado por el Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

Guatemala, mayo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO
2G Y 3G INDEPENDIENTES A UNA SOLA RED DE ACCESO MÓVIL
MULTITECNOLOGÍA A TRAVÉS DE *SINGLE RAN***

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

IVONNE ALEJANDRA PALACIOS RODRÍGUEZ
ASESORADO POR EL ING. GUILLERMO ANTONIO PUENTE ROMERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, MAYO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

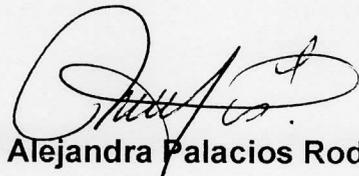
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO 2G Y 3G INDEPENDIENTES A UNA SOLA RED DE ACCESO MÓVIL MULTITECNOLOGÍA A TRAVÉS DE *SINGLE RAN*

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha de noviembre de 2010.



Ivonne Alejandra Palacios Rodríguez

Guatemala, 21 de abril de 2015.

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

Ingeniero Guzmán:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **"CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO 2G Y 3G INDEPENDIENTES A UNA SOLA RED DE ACCESO MÓVIL MULTITECNOLOGÍA A TRAVÉS DE SINGLE RAN"**, desarrollado por la estudiante Ivonne Alejandra Palacios Rodríguez con carné No. 2002-17675, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos, por lo que el autor y mi persona *somos responsables del contenido y conclusiones del mismo.*

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,



Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
ASESOR
Colegiado 5898

Guillermo A. Puente R.
INGENIERO ELECTRONICO
COL. # 5898



Ref. EIME 20. 2015
Guatemala, 29 de abril 2015.

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

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO 2G Y 3G INDEPENDIENTES A UNA SOLA RED DE ACCESO MÓVIL MULTITECNOLOGÍA A TRAVÉS DE SINGLE RAN, del estudiante Ivonne Alejandra Palacios Rodríguez, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



STO



REF. EIME 20. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; IVONNE ALEJANDRA PALACIOS RODRÍGUEZ titulado: CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO 2G Y 3G INDEPENDIENTES A UNA SOLA RED DE ACCESO MÓVIL MULTITECNOLOGÍA A TRAVÉS DE SINGLE RAN, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 7 DE MAYO 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **CONSIDERACIONES PARA LA MIGRACIÓN DE UNA RED DE ACCESO 2G Y 3G INDEPENDIENTES A UNA SOLA RED DE ACCESO MÓVIL MULTITECNOLOGÍA A TRAVÉS DE SINGLE RAN**, presentado por la estudiante universitaria: **Ivonne Alejandra Palacios Rodríguez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 28 de mayo de 2015



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

Nederlanda de Palacios, por impulsarme a seguir adelante, por ser mi inspiración y mi ejemplo de vida.

Mi padre

Pedro Palacios, por guiarme con su amor y paciencia.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Porque toda la gloria y honra en mi vida son para Él.
- Mis padres** Por su apoyo incondicional e infinito amor.
- Mis hermanas** Stefany y Mónica Palacios, por hacer que mis días de estudio estuvieran rodeados de sonrisas.
- Mi esposo** Carlos Ramírez, por su amor y paciencia. Por siempre creer en mí, y por hacer que mi vida esté llena de alegrías y éxitos.
- Mis tíos** Alejandro Rodríguez y Denizard Aqueche, por ser una importante influencia en mi vida y en mi carrera.
- Mis amigas** Mayly Gómez y Andrea Xitumul, por todas las veces que las necesité y estuvieron para mí incondicionalmente.
- Alfonso León** Por toda su ayuda en mi carrera, y por su leal y sincera amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
1. FUNDAMENTOS DE 2G Y 3G	1
1.1. Características básicas de un sistema móvil	1
1.2. GSM	3
1.2.1. Definición y características	4
1.2.2. Espectro de frecuencias	5
1.2.3. Arquitectura del sistema	7
1.2.4. Servicios y su clasificación	10
1.2.5. GPRS y EDGE	13
1.2.6. Interfaces y protocolos	15
1.3. UMTS	22
1.3.1. Definición y características	23
1.3.2. Servicios y su clasificación	27
1.3.3. Espectro y su distribución	29
1.3.4. Arquitectura del sistema	32
1.3.5. Interfaces y protocolos	39
1.4. GSM <i>versus</i> UMTS.....	45
1.5. Introducción a RAN	46

2.	FUNDAMENTOS DE <i>SINGLE</i> RAN.....	49
2.1.	¿Qué es <i>single</i> RAN?	49
2.1.1.	Definición y características.....	49
2.1.2.	Radio definida por software (SDR)	51
2.2.	MBTS y MBSC, en <i>single</i> RAN	52
2.3.	¿Cómo se implementa?.....	53
2.4.	Protocolos e interfaces.....	54
2.5.	Requisitos para proveedores	55
3.	TOPOLOGÍA DE UNA RED DE ACCESO MULTITECNOLOGÍA....	57
3.1.	Arquitectura de la red de acceso multitecnología	57
3.2.	Beneficios de la extensibilidad	60
3.3.	Visión a futuro, nuevas plataformas y crecimiento	61
4.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA RED MULTITECNOLOGÍA	63
4.1.	Comparación económica entre una red 2G-3G independiente contra una <i>single</i> RAN	63
4.2.	Ventajas y desventajas de costos y de operación	66
4.3.	Retorno de inversión	68
	CONCLUSIONES.....	73
	RECOMENDACIONES	75
	BIBLIOGRAFÍA.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tecnología celular	2
2.	Línea del tiempo de tecnologías	3
3.	FDMA y TDMA	5
4.	Estructura básica de la red GSM	8
5.	Arquitectura de una PLMN	8
6.	Elementos de una red GSM	10
7.	Arquitectura básica de GPRS	14
8.	Elementos de una red GSM-GPRS/EDGE.....	15
9.	Interfaces entre diferentes elementos	17
10.	Pila de protocolos.....	22
11.	La evolución de UMTS	23
12.	WCDMA, FDD y TDD	26
13.	Arquitectura de una red UMTS.....	32
14.	Interfaces de una red UMTS	40
15.	Conexión de las interfaces de una red UMTS	42
16.	Protocolos de aplicación e interfaces de la red UMTS	44
17.	Arquitectura de la RAN.....	47
18.	Tecnologías de acceso por radio	50
19.	Antenas en <i>single</i> RAN	51
20.	MBTS	52
21.	MBSC	53
22.	Interfaces para <i>single</i> RAN	55
23.	Red multitecnología.....	58

24.	Arquitectura de <i>single</i> RAN para estaciones base	59
25.	Arquitectura de <i>single</i> RAN	60
26.	Gráfica de consumo de energía	64
27.	Esquema de ventajas de <i>single</i> RAN	67

TABLAS

I.	Bandas de frecuencias GSM	6
II.	Interfaces y protocolos GSM-GPRS	18
III.	Bandas de frecuencia para UMTS-FDD	31
IV.	Bandas de frecuencia para UMTS-TDD	31
V.	Interfaces de la red UMTS	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Kbps	Kilobits por segundo
KHz	Kilohertzio
Mbps	Megabits por segundo
MHz	Megahertz
W	Watt o vatio

GLOSARIO

Antena	Dispositivo usado para la recepción y/o transmisión de señales de radio.
Banda	Transmisión digital de una señal.
Canal	Medio de transmisión de señales entre dos puntos.
CAPEX	Gastos de capital (<i>Capital expenditures</i>).
<i>Downlink</i>	Enlace o conexión de bajada.
FDMA	Acceso múltiple por división en frecuencia (<i>Frequency division multiple access</i>).
<i>Gateway</i>	En español, pasarela. Dispositivo para interconectar dos o más redes diferentes.
GGSN	Interfaz hacia las redes de paquetes de datos externas (<i>Gateway GPRS support node</i>).
<i>Handoff</i>	Proceso que ocurre cuando el utilizador se mueve de una célula a otra.
<i>Handover</i>	Se usa para indicar una conmutación de llamadas y significa traspaso o transferencia.

<i>Location update</i>	Actualización de la localización de un móvil.
Operador	Es el responsable de la gestión de un servicio de telecomunicaciones.
OPEX	Gastos de operación (<i>Operational expenditure</i>).
<i>Roaming</i>	Itinerancia o capacidad de los teléfonos móviles de desplazarse entre redes de diferentes países.
<i>Router</i>	Enrutador o ruteador.
SGSN	Nodo de servicio GPRS que da acceso a los terminales móviles (<i>Serving GPRS support node</i>).
SIM	Microchip que hace posible que el teléfono móvil funcione (<i>Subscriber identity module</i>).
<i>Trunking</i>	Es una función para conectar dos <i>switches</i> , <i>routers</i> o servidores.
<i>Uplink</i>	Enlace o conexión de subida.
<i>WiMAX</i>	Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (<i>Worldwide interoperability for microwave access</i>).

RESUMEN

El presente trabajo de graduación desarrolla las consideraciones necesarias para la puesta en funcionamiento de una red de telecomunicaciones, que ofrece servicios de voz y datos, sobre una infraestructura única que permitirá entrar a competir en el mercado sin la necesidad de desplegar desde cero dicha infraestructura, reduciendo así los altos costos de inversión que generalmente este tipo de iniciativas implica.

A partir de esta idea, se presenta una plataforma de radio definida por software sobre la que se sustentan tecnologías actuales independientes, como 2G y 3G. Esta posibilita la coexistencia de todas ellas, al realizarse una migración hacia una sola plataforma multitecnológica con convergencia tecnológica y económica que asegura una solución óptima, llenando las expectativas de usuarios y operadores de servicios.

En el capítulo 1, se brindan los fundamentos de las redes 2G y 3G. Se desarrolla la definición y se describen las características de estos sistemas. También se presentan los servicios que incluyen cada uno y su clasificación, así como sus interfaces y protocolos.

En el capítulo 2, se describe el sistema general de *single* RAN. Se presenta su definición, características, en especial la radio definida por software (SDR), los elementos que la conforman y su implementación.

En el capítulo 3, se presenta la topología de una red de acceso multitecnología y los beneficios que su migración representa. También se

plantean una serie de ventajas y desventajas que los operadores pueden tener en cuenta en la implementación de este tipo de arquitectura.

Por último, en el capítulo 4 se realiza y presenta un análisis económico, básico y general para este tipo de redes, donde se brinda una comparación de costos y de inversión entre una red 2G-3G independiente y una *single* RAN.

OBJETIVOS

General

Presentar las consideraciones para la migración de una red de acceso 2G y 3G independientes, a una sola red de acceso móvil multitecnología a través de *single* RAN.

Específicos

1. Describir los fundamentos de un sistema móvil 2G y 3G.
2. Definir y presentar las características de *single* RAN.
3. Presentar la arquitectura de una red de acceso móvil multitecnología y sus beneficios.
4. Presentar un análisis económico básico de la red multitecnología.

INTRODUCCIÓN

La tecnología y economía tienen un papel muy importante en el actual mercado de las telecomunicaciones, ya que las comunicaciones móviles son el área de crecimiento más rápido dentro de este. Por lo tanto, es necesario conocer la evolución tecnológica reciente, la cual ha creado ambientes y arquitecturas nuevas altamente competitivas para los proveedores de servicios de telecomunicaciones, quienes se han encontrado con una gran variedad de tecnologías que coexisten, pero que suponen para ellos un riesgo.

Dicho riesgo es porque la industria evoluciona rápidamente y se debe buscar solución real que reduzca el costo de implementación y operación de la red, que a la vez permita la migración a redes futuras sin la necesidad de desplegar una nueva infraestructura del todo. Es por esta razón que surge la necesidad de realizar una propuesta para la integración de infraestructuras existentes e independientes.

Este trabajo de graduación proveerá conceptos técnicos y operativos sobre redes de acceso con tecnologías independientes, así como de una nueva tecnología de integración. Todo esto con el fin de proponer las consideraciones necesarias que se deben evaluar para la migración de una red de este tipo y la terminología necesaria de ingeniería económica, como una herramienta para analizar la solución de la inversión a presente y a futuro.

1. FUNDAMENTOS DE 2G Y 3G

Los sistemas celulares o sistemas de comunicación móviles se entienden como el intercambio de información entre dos o más usuarios de los que, al menos un equipo de un usuario, no se encuentra en una posición fija y se puede mover en cualquier dirección. Pero, más allá de la simple movilidad, permiten al usuario disponer de conexión telefónica con independencia de su localización física, el terminal empleado y el medio de transmisión.

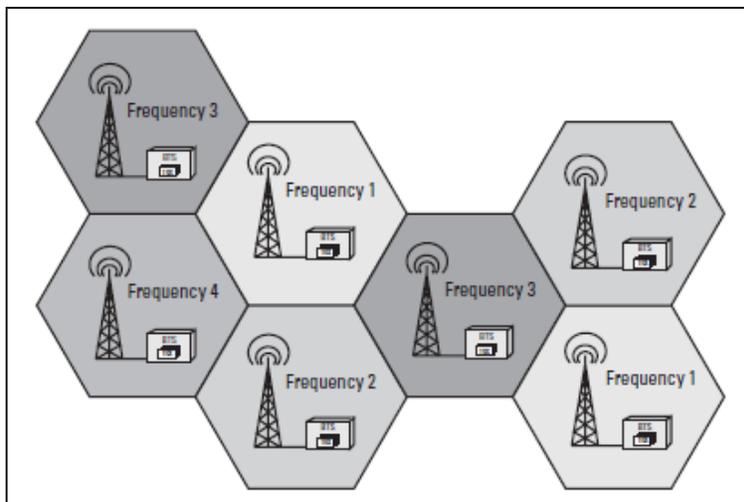
1.1. Características básicas de un sistema móvil

En estos sistemas, el intercambio de la información se realiza por medio de ondas de radio, a través del espectro radioeléctrico. Para llevarlo a cabo, se necesita contar con una estación móvil (MS) y una estación fija, que se conoce como estación base de radio (RBS).

Los sistemas de comunicaciones móviles se han desarrollado empleando tecnologías que extienden el servicio gracias a la superposición de la cobertura circular (o celular) de una estación base sobre una determinada zona.

Al área geográfica en la que una estación móvil es capaz de intercambiar señales de radio con una estación de base de radio, se le llama una celda. De esta forma, las tecnologías celulares (figura 1) emplean un despliegue de redes, al dividir el territorio en estas celdas que incrementan la capacidad de la red al reutilizar las mismas frecuencias en diferentes celdas.

Figura 1. **Tecnología celular**



Fuente: GUNNAR, Heine. *GSM Networks: protocols, terminology, and implementation*. p. 4.

Lamentablemente, el espectro radioeléctrico es un recurso limitado cuya utilización racional solo ha sido posible mediante una reglamentación muy estricta, que permite la optimización de la asignación de frecuencias. Los sistemas de comunicación móviles han evolucionado hacia sistemas basados fundamentalmente en un aprovechamiento mejor del espectro disponible.

El aprovechamiento del espectro radioeléctrico se conoce como el concepto celular. La idea celular permite aumentar la capacidad del sistema, para adaptarse a futuros incrementos del número de usuarios, mediante sucesivas divisiones o fragmentaciones de las células. De esta forma, puede aumentarse la reutilización de las frecuencias disponibles en zonas con mucho tráfico, aumentando la capacidad inicial.

El primer avance significativo fue la introducción del *trunking* automático, el cual consiste en la asignación de un canal libre existente dentro de un conjunto

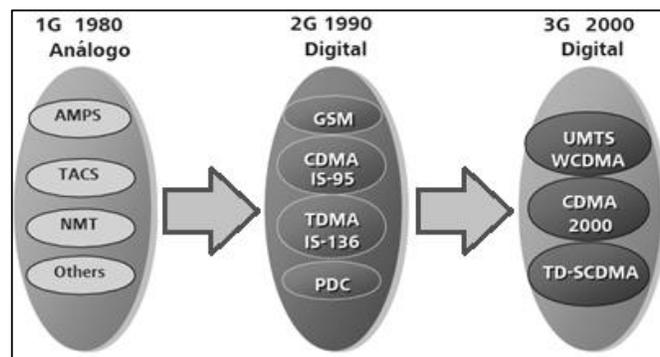
de canales disponibles. Este se mantiene ocupado solamente durante el tiempo en que está siendo utilizado en la conversación, pasando al estado de disponible para otro usuario cuando haya terminado la conversación que se desarrollaba. De este modo, el número de canales por instalar y ocupar en el espectro se reduce notablemente.

Este aprovechamiento del espectro radioeléctrico, permite una inversión gradual y un crecimiento armonizado en función de la demanda.

1.2. GSM

La primera red GSM fue lanzada en 1991. Para 1992, GSM ya se había estandarizado para operar en tres regiones principales, utilizando las frecuencias 900 MHz, 1 800 MHz y 1 900 MHz. En 1993 ya habían 36 redes GSM en 22 países, como se ve en la figura 2. Así, más del 80 % de todos los usuarios de móviles en el mundo son atendidos por GSM.

Figura 2. Línea del tiempo de tecnologías



Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

1.2.1. Definición y características

GSM es un sistema de telefonía estándar que se desarrolló como el reemplazo de sistemas de redes análogas de primera generación (1G). Su tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) presta servicio de voz de alta calidad de forma digital. También brinda servicios de datos conmutados por circuitos, utilizando canales de 200 KHz divididos en intervalos de tiempo de 25 KHz, en las bandas de 450, 850, 900, 1 800 y 1 900 MHz.

La tecnología de GSM permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio por medio de la multiplicación por división de tiempo (TDM). Este proceso realiza la asignación de una ranura de tiempo específica, permitiendo así que varias llamadas compartan un canal al mismo tiempo sin interferirse unas con otras. De este modo, se garantiza el uso efectivo del espectro.

El sistema GSM posee varias funcionalidades que pueden ser implementadas por los operadores en sus redes. Sus características incluyen:

- Soporte para un rango nuevo de servicios y facilidades
- Buena calidad de voz
- Transmisión de datos
- Servicio de mensajes cortos o mensajes de texto
- Eficiencia espectral
- Soporte de enlaces internacionales
- Bajo costo en terminales y servicios
- Compatibilidad con ISDN

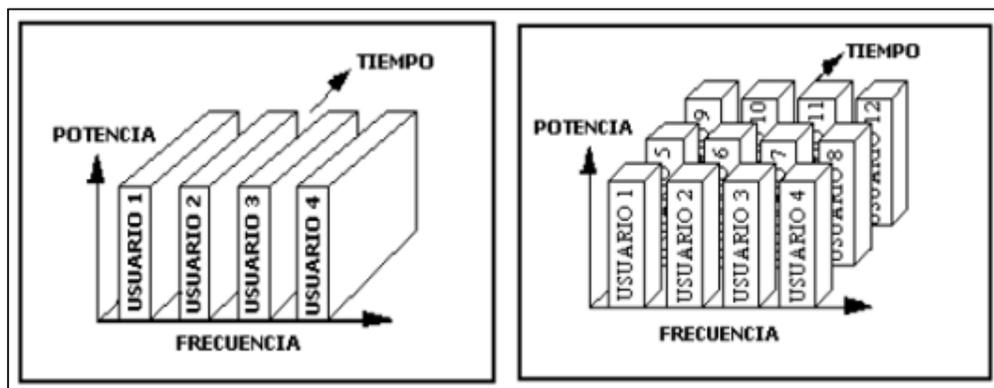
GSM se puede considerar como la base genérica para denominar a una familia de tecnologías que incluye a GPRS (*general packet radio service*) y EDGE

(*enhanced data rates for GSM evolution*), además de una evolución fluida y rentable a la tercera generación (3G).

1.2.2. Espectro de frecuencias

El método utilizado en GSM para administrar frecuencias es una combinación FDMA/TDMA. Utiliza el FDMA (*frequency division multiple access*), el cual divide los 25 MHz disponibles de frecuencia en 124 frecuencias. Una de estas es atribuida a cada BTS (*base transceiver station*) y dividida de nuevo en cuestión de tiempo, tal y como se muestra en la figura 3 a), utilizando el TDMA (*time division multiple acces*), en ocho espacios de tiempo (*time slots*), como se ve en la figura 3 b).

Figura 3. **FDMA y TDMA**



a) FDMA

b) TDMA

Fuente: *Time division multiple acces*. www.iec.org/online/tutorials. p. 3. Consulta: 14 de diciembre de 2010.

El terminal utiliza un *time slot* para recepción y otro para emisión, están separados temporalmente para que el móvil no reciba y transmita al mismo

tiempo. Esta división de tiempo también es denominada *full-rate*. Las redes también pueden dividir las frecuencias en 16 espacios, proceso designado *half-rate*, pero la calidad de transmisión es inferior.

GSM también utiliza una técnica llamada salto de frecuencia, que minimiza la interferencia de las fuentes externas y hace que los escuchas no autorizados sean virtualmente imposibles.

GSM utiliza una amplia gama de bandas del espectro, en la tabla I, se muestran las bandas de frecuencias GSM, así como el número de canal.

Tabla I. **Bandas de frecuencias GSM**

Sistema	Banda	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Número de canal
GSM-450	450	450,4–457,6	460,4–467,6	259–293
GSM-850	850	824,0–849,0	869,0–894,0	128–251
P-GSM-900	900	890,2–914,8	935,2–959,8	1–124
E-GSM-900	900	880,0–914,8	925,0–959,8	975-1023, 0-124
R-GSM-900	900	876,0–914,8	921,0–959,8	955-1023, 0-124
T-GSM-900	900	870,4–876,0	915,4–921,0	dinámico
DCS-1800	1800	1710,2–1784,8	1805,2–1879,8	512–885
PCS-1900	1900	1850,0–1910,0	1930,0–1990,0	512–810

Fuente: *Bandas de frecuencia GSM*. http://es.wikipedia.org/wiki/Bandas_de_frecuencia_GSM.

Consulta: 15 de diciembre de 2010.

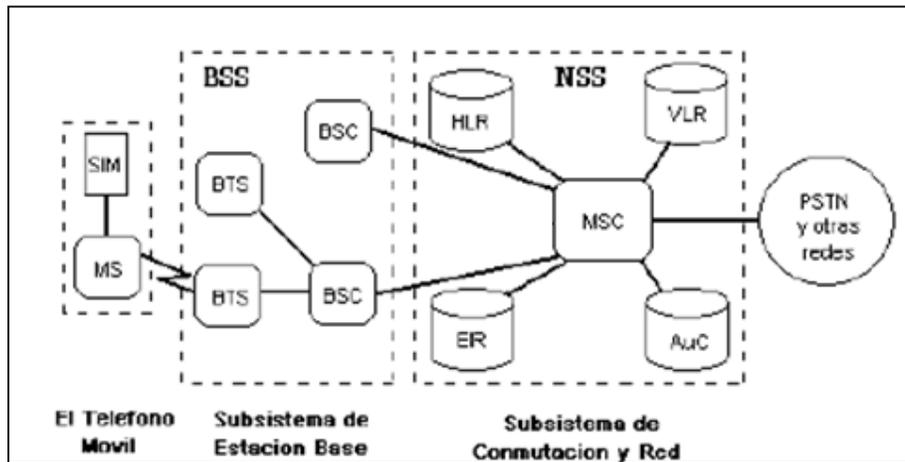
1.2.3. Arquitectura del sistema

La arquitectura de la red GSM posee dos capas, la primera es llamada capa de control y control de radio, la segunda capa es llamada subsistema de red y conmutación o NSS (*network subsystem*), también llamada *core network*.

La primera capa de red, es el conjunto de BTS + BSC (*base station controller*) + terminal; se denomina subsistema de estaciones base o BSS (*base station subsystem*). La segunda capa de red, subsistema de red, realiza la conmutación de llamadas entre usuarios móviles, y entre usuarios móviles y fijos de la red.

Estas dos capas, a su vez, se componen de varias partes funcionales, las cuales se relacionan entre sí, tales como: la estación móvil (*MS-mobile station*), el subsistema de estaciones base, la central intercambiadora de servicios móviles (*MSC-mobile services switching center*), registro de localización de llamada (*HLR-home location register*), registro de localización del visitante (*VLR-visitor location register*) y registro de identificación del equipo (*EIR-equipment identity register*), como se observa en la figura 4, la cual muestra una red GSM genérica.

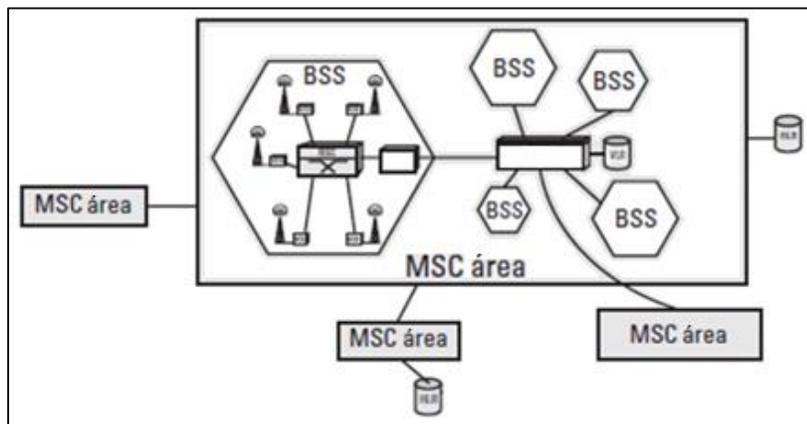
Figura 4. Estructura básica de la red GSM



Fuente: SCOURIAS, John. *GSM History*. www.privateline.com. Consulta: 20 enero de 2011.

Juntos, forman lo que se conoce como red móvil terrestre pública (PLMN- *public land mobile network*), como se puede observar en la figura 5.

Figura 5. **Arquitectura de una PLMN**



Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

La estación móvil, o terminal, contiene la tarjeta SIM, que es utilizada para identificar al usuario dentro de la red. Esta también le confiere movilidad,

permitiéndole acceder a los servicios de la red independientemente del teléfono móvil que use o su localización.

La estación base controla la conexión radio entre el teléfono móvil y la red, y es también conocida como célula, ya que cubre una determinada área geográfica. Una BSS está constituida por dos elementos: la BTS y la BSC. Cada BSS puede tener una o más BTS. Las BTS albergan el equipo de transmisión / recepción (los TRX o *transceivers*) y gestionan los protocolos de radio con el terminal móvil.

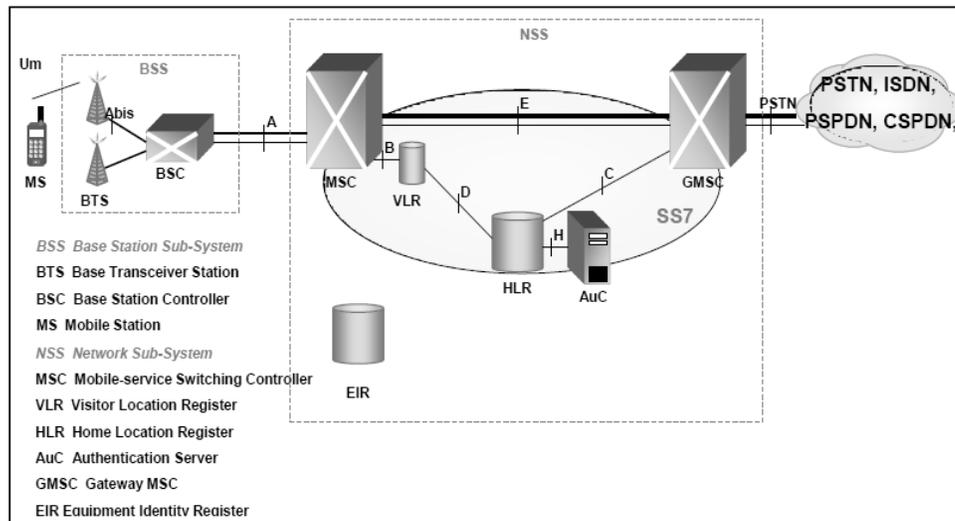
Cada estación utiliza técnicas digitales para permitir que varios utilizadores se ligan a la red, así como para permitir que hagan y reciban llamadas simultáneamente. Esta gestión se denomina *multiplexing*.

La BSC administra los recursos de radio de una o más BTS. Entre sus funciones se incluyen el *handoff* (que ocurre cuando el utilizador se mueve de una célula a otra, permitiendo que la ligación se mantenga), el establecimiento de los canales de radio utilizados y cambios de frecuencias. Finalmente, permite la ligación entre el móvil y el *mobile service switching center* (MSC), el corazón del sistema GSM, este establece la llamada realizada por el móvil hacia las otras redes fijas o móviles. Además, posee una serie de equipos destinados a controlar varias funciones, como el cobro del servicio, la seguridad y el envío de mensajes SMS.

El HLR contiene toda la información administrativa sobre el cliente del servicio y la localización actual del terminal. Es a través de este que la red verifica si un móvil que se intenta ligar posee un contrato de servicio válido que pertenece a algún operador.

En la figura 6, se pueden observar todos estos elementos que componen la red GSM y cómo se interconectan entre ellos.

Figura 6. Elementos de una red GSM



Fuente: GIANNATTASIO, Gustavo. *Wireless de banda ancha*. p. 20.

1.2.4. Servicios y su clasificación

Estos se dividen en servicios portadores y suplementarios.

Los servicios portadores son los que proporcionan capacidad de transmisión de señales entre puntos de acceso, usando conjuntamente recursos de las redes conmutadas y de la red GSM.

Estos se clasifican en:

- Modo circuito, donde la voz es codificada usando 13 Kbps en la interfaz radio y 64 Kbps en la red fija. Es digital sin restricciones, para el envío de datos de forma transparente y no transparente. Utiliza una frecuencia de 3,1 KHz para el envío de datos vía módem.
- Modo paquete, que utiliza un circuito entre el terminal móvil DTE (data terminal equipment) y el DCE (data circuit-terminating equipment) situado en la red de conmutación de paquetes. Se emplea la capacidad portadora digital sin restricciones.
- Teleservicios, que proporcionan facilidades de comunicación total, incluyendo las funciones del terminal, entre usuarios de la red GSM y usuarios de otras redes.
- Telefonía, que facilita la realización de llamadas telefónicas hacia usuarios de la red fija y de la red móvil.
- Llamadas de emergencia, permite la realización de una llamada telefónica, independientemente de las restricciones impuestas, hacia un centro de atención especialmente habilitado (policía, bomberos, entre otros).
- Mensajes cortos, facilitando la transmisión de un mensaje alfanumérico de hasta 160 caracteres, desde un usuario móvil hacia un centro de servicio donde se almacena o entre un centro de servicio y un usuario móvil concreto. La composición del mensaje puede realizarse mediante mensajes predefinidos, utilizando un teclado auxiliar o por un terminal externo.

Los servicios suplementarios modifican o complementan a los servicios básicos. Estos pueden ser ofrecidos con carácter exclusivamente nacional o puede tener carácter internacional, con base en acuerdos bilaterales entre operadores.

Las recomendaciones GSM identifican 28 servicios suplementarios diferentes; no todos ellos pueden ser utilizados independientemente.

Algunos de estos se clasifican en:

- Identificación del llamante, el usuario recibe el número telefónico del llamante.
- Restricción de la presentación, el usuario puede impedir, en las llamadas que lo desee, la presentación de su identidad al llamar.
- Desvío incondicional, si el usuario no contesta o si está ocupado se puede hacer un desvío de llamada entrante.
- Llamada en espera, el usuario es notificado, mientras mantiene una conversación previa, de la llegada de una nueva llamada entrante.
- Conferencia múltiple, el usuario puede pasar de una llamada a otra, o bien pasar la conferencia a tres usuarios (tripartita).
- Prohibición de llamadas, donde es posible restringir todas o algunas de las llamadas, solo llamadas internacionales, entre otras.

1.2.5. GPRS y EDGE

GPRS (*general packet radio service*) es una tecnología de datos inalámbricos la cual se convierte en una solución para datos móviles que ofrece eficiencia espectral para nuevos y más veloces servicios.

Esta tecnología está basada en paquetes, lo que significa que los datos están divididos en paquetes que son transmitidos en breves ráfagas sobre una red IP (*internet protocol*). GPRS está basado en un tipo de modulación conocida como modulación por desplazamiento gaussiano mínimo (*GMSK-gaussian minimum shift keying*), el cual solo permite el incremento moderado en los rangos de bit por intervalo de tiempo, ofreciendo velocidades de datos máximas de 115 Kbps y un *throughput* promedio de 30-40 Kbps.

El sistema GPRS no establece un canal exclusivo para cada usuario, por lo que este se comparte entre los usuarios que hagan uso de él, de manera que la conexión se establece únicamente en el momento de la utilización del canal, de esta manera la facturación se realiza por volumen de datos.

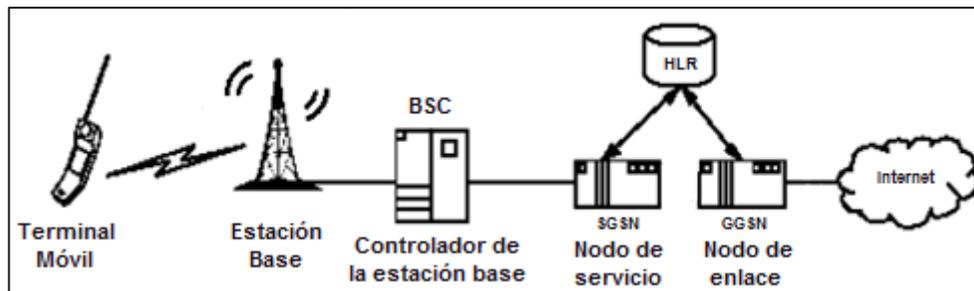
GPRS provee una conexión siempre activa que no exige que el usuario deba conectarse cada vez que desea obtener acceso a datos. A la vez, los usuarios solo pagan por los datos en sí, en lugar de pagar por el tiempo de aire empleado en establecer una conexión y descargar datos. Este sistema presenta una solución parcial a los problemas de velocidad de transmisión. Esta constituye el primer paso de un operador GSM hacia la tercera generación (3G).

El sistema GPRS incorpora dos nuevos elementos a las redes GSM: el SGSN (nodo de soporte de servicio GPRS) y el GGSN (nodo de soporte *gateway* GPRS). De esta manera, un dispositivo móvil se comunica con la BSC mediante la BTS; el SGSN, a su vez, se comunica con el GGSN, mediante un protocolo llamado *GPRS tunnel protocol* (GTP) que encapsula paquetes IP para ser

transmitidos entre estos. Finalmente, el GGSN es quien mantiene al sistema conectado a redes como internet y otras redes privadas.

La figura 7 muestra la arquitectura de esta tecnología y la interacción entre cada uno de sus elementos.

Figura 7. **Arquitectura básica de GPRS**



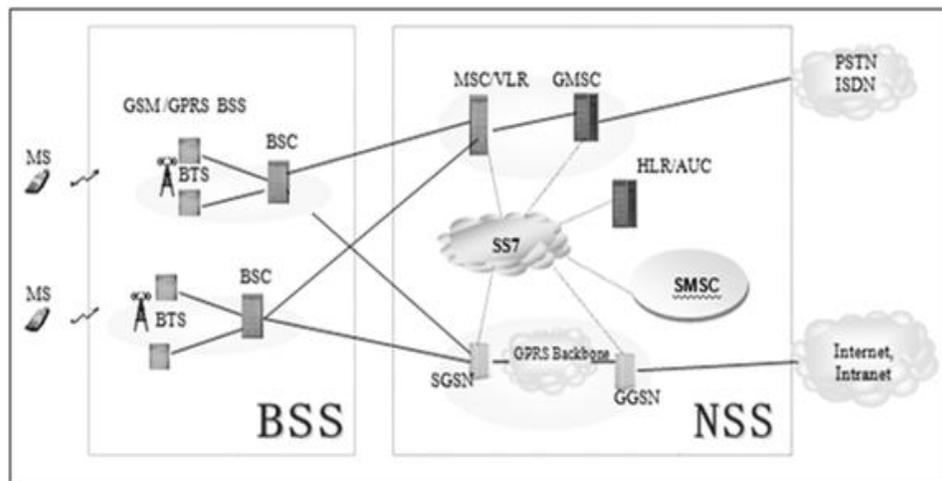
Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

Por último, EDGE (*enhanced data rates for GSM evolution*) es una tecnología de datos móviles y acceso a internet de alta velocidad, con velocidades pico de 473 Kbps y *throughput* promedio de 80-130 Kbps. Las velocidades promedio son lo suficientemente rápidas como para soportar una amplia gama de servicios avanzados de datos, incluyendo *streaming* de audio y video, acceso veloz a internet y descarga de archivos de gran tamaño.

EDGE, por su parte, está basado en una nueva técnica de modulación conocida como *eight phase shift keying* (8PSK) que permite un rango de bit mucho mayor a través de la interfaz aérea. Este cambio de modulación de GMSK a 8PSK es el principal con el cual EDGE prepara al mundo GSM y TDMA en general para UMTS, siendo capaz de lograr tasas más altas de datos sobre la portadora de GSM de 200 KHz, cambiando el tipo de modulación utilizado.

EDGE es una solución diseñada específicamente para integrarse al espectro existente, permitiendo así que los operadores ofrezcan nuevos servicios con licencias de frecuencia existentes, al desarrollar la infraestructura inalámbrica actual y, a la vez, ofrecer servicios de datos a velocidades cercanas a las disponibles en las redes UMTS, tal como se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Elementos de una red GSM-GPRS/EDGE**



Fuente: Huawei Technologies. *GSM fundamentals*. p. 20.

1.2.6. Interfaces y protocolos

Cada elemento de GSM está designado a comunicarse a través de una interfaz especificada por los estándares de GSM. Esto provee flexibilidad y permite a los operadores de sistemas adaptar elementos de diferentes fabricantes.

La interfaz de aire, Um, es utilizada para intercambios entre el MS y la BSS, por medio de la transmisión de radiofrecuencia.

La interfaz Abis, es una interfaz interna de la BSS que conecta a la BSC con la BTS. Permite el control del equipo de radio y la asignación de frecuencia de radio en la BTS.

La interfaz A, se encuentra entre la BSS y la MSC, administra la asignación de recursos de radio adecuados para los MS y la gestión de la movilidad.

La interfaz B administra la señalización entre la MSC y el VLR. La mayoría de las MSC están asociadas a un VLR, haciendo que la interfaz B se vuelva interna. Siempre que el MSC necesita acceder a datos con respecto a una MS que se encuentra en su área, interroga al VLR usando el protocolo MAP/B sobre la interfaz B.

La interfaz C se encuentra entre el HLR y la GMSC o el SMSC. Cada llamada que se origina fuera de GSM (por ejemplo, una llamada de terminación en la MSC desde la PSTN) debe pasar por un *gateway* para obtener la información de encaminamiento que es necesaria para completar la llamada, y el protocolo MAP/C sobre la interfaz de C se utiliza para este propósito. Asimismo, la MSC puede enviar información de facturación al HLR después de dar por terminada la llamada.

La interfaz D se encuentra entre el HLR y el VLR, y utiliza el protocolo MAP/D para el intercambio de datos relacionados con la ubicación de la MS y subconjuntos de datos de abonado.

Tabla II. Interfaces y protocolos GSM-GPRS

INTERFAZ	RELACIÓN DE ELEMENTOS	PROTOCOLO
Um	MS - BTS	DTAP (<i>direct transfer application part</i>)
Abis	BTS – BSC	<i>Internal protocol</i> (LAPD)
A	BSC – MSC	BSAP (<i>base station application part</i>)
B	MSC – VLR	<i>Internal protocol</i>
C	MSC – HLR	MAP (<i>mobile application part</i>)
D	VLR – HLR	MAP (<i>mobile application part</i>)
Gb	BSS – SGSN	SNDCP (<i>subnetwork dependent convergence protocol</i>), BSSGP (<i>BSS GPRS protocol</i>)
Gr	SGSN – HLR	MAP (<i>mobile application part</i>)
Gs	SGSN - MSC	BSSAP+ (<i>base station subsystem application part</i>)

Fuente: elaboración propia, con programa Excel.

El protocolo de señalización de GSM está estructurado en tres capas generales, dependiendo de la interfaz. La capa 1 es la capa física, que utiliza las estructuras de canal sobre la interfaz aérea. La capa 2 es la capa de enlace de datos.

A través de la interfaz Um, la capa de enlace de datos es una versión modificada del protocolo de acceso al enlace en el canal D (LAP-D) protocolo utilizado en ISDN, llamado protocolo de acceso al enlace en el canal Dm (LAP-Dm). A través de la interfaz A, la parte de transferencia de mensajes, capa 2, de

SS7 se utiliza. La capa 3 del protocolo de señalización GSM se divide en tres subcapas: radio de gestión de recursos (*RR-radioresource management*), la gestión de la movilidad (*MM-mobility management*), y gestión de conexión (*CM-connection management*).

La capa RR supervisa el establecimiento de un enlace, tanto de radio y fijos, entre la MS y el MSC. Los principales componentes funcionales implicados son la MS, la BSS, y la MSC. La capa RR se ocupa de la gestión de una sesión RR, que es el tiempo que un móvil está en modo dedicado, así como la configuración de los canales de radio, incluyendo la asignación de canales dedicados.

La capa MM se encuentra en la parte superior de la capa de RR y maneja las funciones que se derivan de la movilidad del abonado, así como los aspectos de autenticación y seguridad. La gestión de ubicación está relacionada a la habilitación del sistema para permitir que se conozca la ubicación actual de un MS encendido para que el enrutamiento de una llamada entrante puede ser completada. La actualización de la ubicación (*location update*) se da cuando un móvil encendido está siendo informado de una llamada entrante, mediante un mensaje de búsqueda enviado por el canal PAGCH de una célula.

La capa CM es la responsable del control de llamadas (*CC-control call*), la gestión de servicio suplementario, y la gestión de servicios de mensajes cortos (SMS). Cada uno de estos puede ser considerado como una subcapa independiente dentro de la capa CM. Otras funciones de la subcapa de CC incluyen el establecimiento de llamada, la selección del tipo de servicio (incluyendo alternar entre los servicios durante una llamada) y la liberación de la llamada.

Después de que la información se transmite desde la BTS a la BSC, un conjunto diferente de interfaces se usa. La interfaz Abis se utiliza entre la BTS y la BSC. En este nivel, los recursos de radio en la parte inferior de la capa 3 se intercambian desde la RR hacia la gestión de la BTS (*BTSM-base transceiver station management*). Los protocolos RR son responsables de la asignación y reasignación de canales de tráfico entre la MS y la BTS. Estos servicios incluyen el control de acceso inicial al sistema, de paginación para llamadas MT, el traspaso de llamadas entre sitios de células, control de potencia y la terminación de llamadas.

Los protocolos RR proporcionan los procedimientos para el uso, asignación, reasignación y la liberación de los canales GSM. La BSC realiza parte de la gestión de recursos de radio, asignación de frecuencias y la gestión de la capa de red global para las interfaces de la capa 2.

Desde la BSC, el protocolo de transferencia de mensajes MTP (*message transfer protocol*) de las capa 1 a la 3, que se encarga del enrutamiento básico de la señalización de mensajes para enlaces punto a punto, de la discriminación y distribución de los mismos, se utiliza como arquitectura subyacente; y la parte de aplicación móvil de la BSS o la parte de aplicación directa se utiliza para comunicar desde el BSC hacia el MSC.

En la interfaz A, una parte de la aplicación conocido como el BSSAP se utiliza. BSSAP puede separarse adicionalmente en la BSSMAP (*base station subsystem management application*) y la parte de transferencia de la aplicación directa (*DTAP-direct transfer application part*).

Tanto las BTS como la BSC pueden realizar la interpretación de CM y mensajes de MM. Simplemente se intercambian con la MSC o la MS utilizando

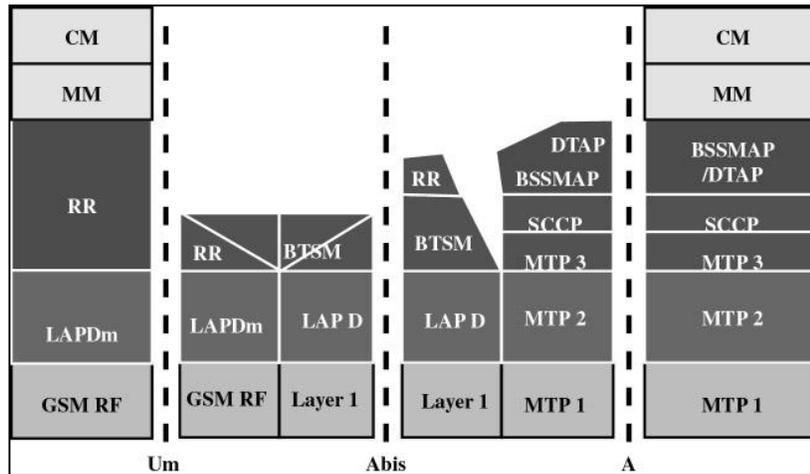
el protocolo DTAP en la interfaz A. Los mensajes de la capa RR se envían entre la BSC y la MSC usando BSSAP.

BSSAP incluye todos los mensajes intercambiados entre la BSC y la MSC que la BSC en realidad procesa entre ellos, incluyendo paginación, mensaje de RESET, entre otros. En general, BSSAP comprende todos los mensajes que se intercambian como mensajes de RR entre el MSC y el BSC, y los mensajes que se utilizan para las tareas de control de llamada entre el BSC y el MSC. El DTAP comprende todos los mensajes que el subsistema de la NSS y el MS intercambian. DTAP transporta los mensajes entre el MS y la MSC, en los que el BSC tiene solo la función de retransmisión.

El protocolo de señalización de la conexión, (*SCCP-signalling connection control protocol*) provee funciones de manejo y enrutamiento para la transferencia de mensajes, aparte del ajuste de la llamada entre puntos de señalización.

En la figura 10 se muestra la pila de protocolos utilizada para estas tecnologías y la distribución de las capas de cada interfaz.

Figura 10. **Pila de protocolos**



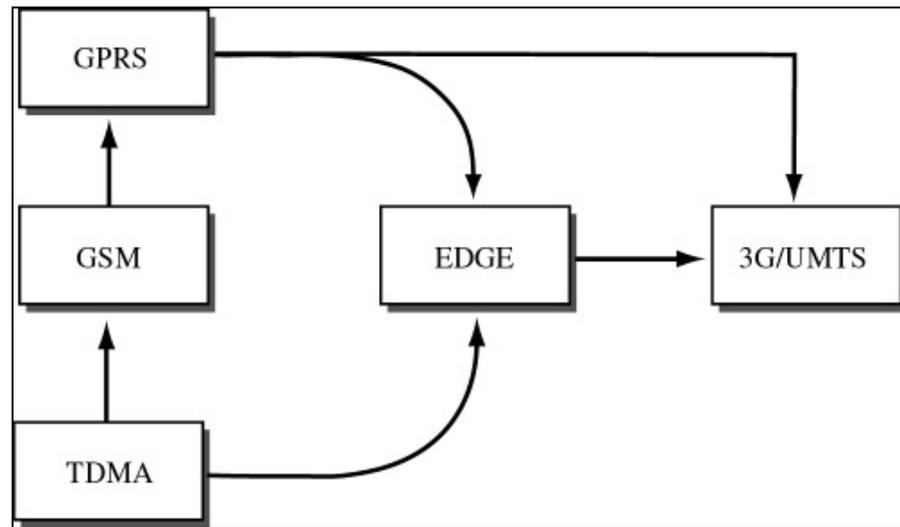
Fuente: BATES, Regis. *Broadband telecommunications handbook*. p. 299.

1.3. UMTS

El sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS) agrega a la arquitectura de la red de GPRS, la red de acceso de radio terrestre para UMTS conocida como UTRAN. Esta red se basa en el acceso múltiple por división de código de banda ancha WCDMA (*wideband code division multiple access*), siendo esta la tecnología de radio que el ETSI utiliza para el UMTS. Como resultado de esto, las siglas UMTS y WCDMA a menudo se utilizan de manera intercambiable. Representa uno de los avances más significativos en la evolución de las telecomunicaciones dentro de las redes de tercera generación.

Como se puede observar en la figura 11, el estándar de GSM utiliza tecnología TDMA, la tecnología dominante para la evolución hacia la tercera generación es WCDMA o UMTS.

Figura 11. **La evolución de UMTS**



Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

1.3.1. Definición y características

El UMTS es una tecnología inalámbrica de voz y datos a alta velocidad que integra la familia de normas inalámbricas de tercera generación (3G) IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Esta ofrece una mayor tasa de velocidad de datos a móviles y dispositivos inalámbricos portables que se ofrecen comúnmente en el mercado actualmente.

UMTS aceleró la convergencia entre voz, datos y multimedia para ofrecer nuevos servicios y crear nuevas oportunidades de generación de ingresos. Entrega bajo costo y alta capacidad para comunicaciones móviles, ofreciendo velocidades de hasta 2 Mbps con capacidades avanzadas de *roaming* global y otros.

Esta red, como se mencionó anteriormente, se basa en el acceso múltiple por división de código de banda ancha WCDMA, en donde a cada usuario se le asigna una frecuencia portadora y un código pseudoaleatorio.

UMTS utiliza modulación por desplazamiento de fase de cuadratura (QPSK-*quadrature phase shift keying*), obteniendo de esta manera cuatro fases distintas en la señal de salida, permitiendo soportar velocidades de transmisión de datos de hasta 144 Kbps sobre vehículos a gran velocidad, 384 Kbps en espacios abiertos (*wide area access*) y 2 Mbps en lugares de baja movilidad (*local area access*), más el soporte del protocolo de internet (IP) para poder prestar servicios de multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, como servicios de videotelefonía y videoconferencia.

El CDMA de banda ancha se diferencia de los sistemas CDMA de segunda generación por el ancho de banda de las portadoras. El ancho de banda de la portadora definido para UMTS es de 5 MHz, mientras que el ancho de banda usado para los sistemas de segunda generación es de 1,25 MHz.

WCDMA ofrece una capacidad muy alta de 50 a 80 canales de voz por portadora de 5 MHz (en comparación con 8 canales por portadora con 200 KHz de GSM). Para lograr las velocidades de datos muy altas, WCDMA requiere una amplia banda de frecuencias de entre 5 y 10 MHz (en comparación con una portadora de 200 KHz para GSM).

Con WCDMA, dos bandas de frecuencia se han asignado, una para el envío de datos desde el terminal y otra para la recepción de datos en el terminal. Esta técnica se denomina simétrica, es decir, que necesita la misma cantidad de recursos de radio en el enlace ascendente (*uplink*) y el enlace descendente (*downlink*).

Dentro de sus características se encuentran las siguientes:

- WCDMA puede ser superpuesto sobre las redes GSM, TDMA y CDMA.
- Ofrece mayor capacidad y aumento de la cobertura: hasta ocho veces más tráfico por portadora de banda estrecha en comparación con un portador CDMA. Esto se logra mediante el mejor uso de hasta el 100 % del espectro de frecuencias.
- Permite el uso opcional de agrupaciones de antenas adaptativas, un concepto que permite optimizar el diagrama de antena y, por lo tanto, mayor alcance y menos interferencias en función de cada enlace.
- Soporta la detección multiusuario, un mecanismo para reducir la interferencia de acceso múltiple y aumentar la capacidad.

UMTS define dos tipos diferentes de sistemas WCDMA:

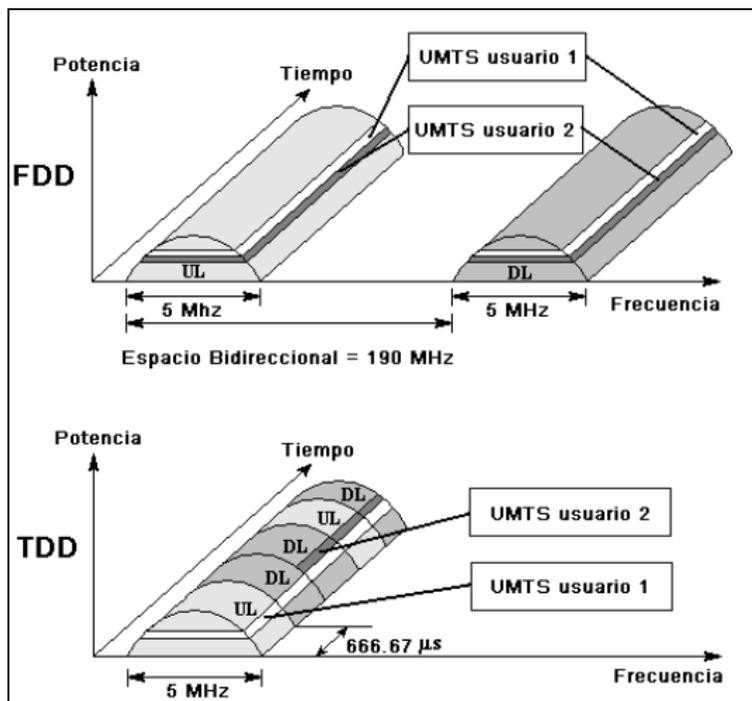
- Por división de frecuencia bidireccional o FDD (frequency division duplex)
- Por división de tiempo bidireccional o TDD (time division duplex)

FDD es un método bidireccional que utiliza dos bandas de frecuencia de transmisión, una para el *uplink*, de 1 920 MHz a 1 980 MHz, y otra para el *downlink*, de 2 110 MHz a 2 170 MHz, las cuales tienen una separación de 190 MHz. Esta separación garantiza el aislamiento entre los canales de comunicación y un equilibrio en la capacidad de transmisión en ambas direcciones.

Cada portadora tiene un ancho de banda de 5 MHz, por lo que se tienen 12 pares de portadoras disponibles, dado que el ancho de banda de los canales de *uplink* y *downlink* es de 60 MHz. Esto puede ser eficiente para la comunicación de voz pero para servicios de datos puede resultar ineficiente.

TDD es un método bidireccional, en el cual las comunicaciones de *downlink* y *uplink* son transmitidas sobre la misma portadora, sin ninguna separación bidireccional fija y utilizando intervalos de tiempo sincronizados para su codificación y decodificación. Este método sigue utilizando una portadora con un ancho de banda de 5 MHz, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. WCDMA, FDD y TDD



Fuente: KANGAS, Mauri. *Overview of UMTS-WCDMA technology*. Diapositiva 9.

1.3.2. Servicios y su clasificación

Un requisito básico definido para UMTS es que se debe soportar todos los teleservicios GSM, por ejemplo, llamadas de voz, llamadas de emergencia y servicio de mensajes cortos (SMS). Los teleservicios y servicios más importantes adicionales describen brevemente a continuación. Un número de estos servicios ya están previstos en GSM y se proporcionan también para UMTS.

- Llamada: el servicio telefónico en UMTS se soporta empleando el adaptive multi-rate (AMR) códec de voz. Este códec es compatible con los códec de voz que se utilizan actualmente en los sistemas GSM, funcionará sin pérdida perceptible de expresión en el traspaso entre la red de acceso GSM y la UTRAN.
- Llamada de emergencia: UMTS apoyará a una llamada de emergencia teleservicio. Esto es solo un caso especial de servicio de voz normal, requiere para trabajar incluso sin SIM incluida en la UE.
- Teleconferencia: ofrece la posibilidad de que varios usuarios se comuniquen en una misma llamada de voz. Este servicio se puede establecer como servicio telefónico ordinario en combinación con un servicio suplementario, que permite al usuario establecer llamadas de varias partes.
- Grabación de voz de banda de datos: soporte de módems para tasas de usuarios de 14,4 Kbps o más.
- Wideband-speech: servicio de voz o sonido de la radio con un ancho de banda de 0-7 KHz.

- Alta calidad de audio: servicio de audio con calidad de disco compacto.
- Videoteléfono: capacidad para hablar de dos vías de comunicación y de imagen.
- Videoconferencia: capacidad de comunicar a un grupo de usuarios imágenes y llamada de voz.
- Videovigilancia/control: proporciona la transmisión de imagen y sonido en una sola dirección.
- Servicios de telemetría: servicios para, por ejemplo, control remoto, terminal remoto, autorización de crédito que requiera baja tasa de bits por transacción, pero el tiempo de respuesta posiblemente rápido.
- Servicio de mensajes cortos: un medio para el envío de mensajes de tamaño limitado desde y hacia terminales móviles, que hace uso de un centro de servicio que actúa como almacén y centro delantero para mensajes cortos.
- Correo de voz: buzón de voz que permite a los usuarios llamar y grabar un mensaje de voz para el usuario de la llamada entrante.
- Correo electrónico: en su más simple forma de servicios de correo electrónico, se ofrece la posibilidad de transferir mensajes de texto entre usuarios a través de una variedad de redes. Los sistemas de correo electrónico también pueden proporcionar la conversión de formato de texto y datos que permite convertir de un formato a otro, incluida la conversión

de medios, por ejemplo, enviar mensaje como texto, pero se recibió como voz.

Los servicios complementarios modifican o complementan un servicio de telecomunicación básica. Por consiguiente, no se puede ofrecer a un cliente como un servicio independiente, sino junto con o en asociación con un servicio de telecomunicaciones básico. A continuación, algunos ejemplos de los servicios complementarios:

- Restricción de llamadas
- Transferencia de llamadas
- Llamada en espera
- Llamadas de conferencia
- Manejo de grupos cerrados de usuarios

1.3.3. Espectro y su distribución

WCDMA se caracteriza por la alta capacidad y el radio de células pequeñas, el empleo de la tecnología de espectro disperso y un esquema de codificación especial.

Esta tecnología aprovecha todas las ventajas de los métodos de transmisión de espectro disperso (*spread spectrum*) como son, principalmente, la utilización más eficiente del ancho de banda, la menor cantidad de potencia necesaria para transmitir y la mayor seguridad en la transmisión.

La cantidad de ancho de banda necesaria para los servicios de tercera generación se encuentra entre 15 y 20 MHz, lo cual, comparado con los 200 KHz

usados para las comunicaciones de segunda generación, es un incremento de 500 veces la cantidad del ancho de banda requerido.

El espectro de radio esta frecuentemente organizado y vendido como espectro en pares, es decir, un poco de espectro en la banda inferior de frecuencia y un poco en el espectro de la banda superior de frecuencia. El espectro en pares es frecuentemente especificado en una forma como 2X15 MHz, lo que quiere decir 15 MHz en la banda inferior y 15 MHz en la banda superior. UMTS trabaja con el espectro dividido en pares cuando utiliza modo de FDD, mientras que cuando utiliza el modo TDD utiliza el espectro completo. FDD es utilizado para ambientes externos y móviles mientras que TDD se utiliza para ambientes internos y estacionarios.

El sistema UMTS especifica por lo tanto las bandas de 1 900 a 2 025 MHz y 2 110 a 2 200 MHz para las transmisiones de tercera generación. Los servicios satelitales usan las bandas de 1 980 a 2 010 MHz para el canal de *uplink* y de 2 170 a 2 200 para el canal de *downlink* mientras que para las bandas terrestres son usadas las bandas de 1 900 a 1 980 MHz, 2 010 a 2 025 MHz y 2 110 a 2 170 MHz.

Sin embargo, no todos los países del mundo tienen este espectro disponible, ya que algunos tienen esas bandas de frecuencia asignadas para prestar otros servicios. Por esta razón, se agregaron más bandas de frecuencias, como se puede ver en la tabla III, para el modo FDD y, en la tabla IV, para el modo TDD.

Tabla III. **Bandas de frecuencia para UMTS-FDD**

Banda de Operación	Banda de Frecuencia	Frecuencias de <i>uplink</i> (MHz)	Frecuencias de <i>downlink</i> (MHz)	Numero de Canales para el <i>uplink</i>	Numero de Canales para el <i>downlink</i>
I	2100	1920 - 1980	2110 - 2170	9612 - 9888	10562 - 10838
II	1900	1850 - 1910	1930 - 1990	9262 - 9538	9662 - 9938
III	1800	1710 - 1785	1805 - 1880	937 - 1288	1162 - 1513
IV	1700	1710 - 1755	2110 - 2155	1312 - 1513	1537 - 1738
V	850	824 - 849	869 - 894	4132 - 4233	4357 - 4458
VI	850	830 - 840	875 - 885	4162 - 4188	4387 - 4413
VII	2600	2500 - 2570	2620 - 2690	2012 - 2338	2237 - 2563
VIII	900	880 - 915	925 - 960	2712 - 2863	2937 - 3088
IX	1800	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	8762 - 8912	9237 - 9387
X	1700	1710 - 1770	2110 - 2170	2887 - 3163	3112 - 3388

Fuente: *UMTS frequency bands*. http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_frequency_bands.

Consulta: 4 de mayo de 2011.

Tabla IV. **Bandas de frecuencia para UMTS-TDD**

Banda de Operación	Banda de Frecuencia	Frecuencias (MHz)	Numero de Canales
I	2100	1900 - 1920	9512 - 9588
I	2100	2010 - 2025	10062 - 10113
II	1900	1850 - 1910	9262 - 9538
II	1900	1930 - 1990	9662 - 9938
III	1800	1910 - 1930	9562 - 9638
VII	2600	2570 - 2620	12862 - 13088

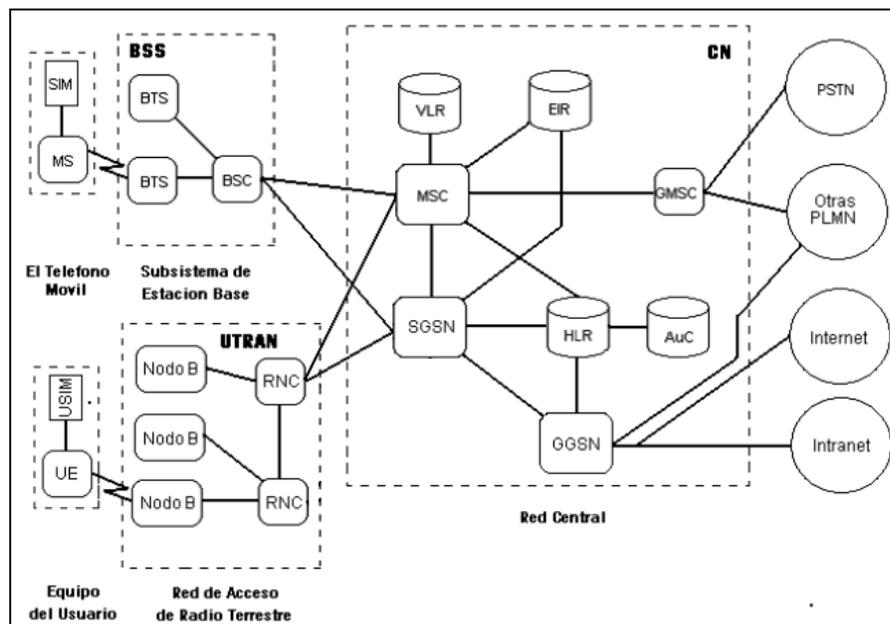
Fuente: *UMTS frequency bands*. http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_frequency_bands.

Consulta: 4 de mayo de 2011.

1.3.4. Arquitectura del sistema

La red UMTS está compuesta por tres elementos principales: el equipo del usuario (UE), la red de acceso de radio terrestre para UMTS (UTRAN) y la red central. Cada uno de estos elementos se subdivide en varias partes, algunas de ellas se encuentran dentro de la arquitectura de las redes GSM, debido a la compatibilidad que debe existir entre ambos sistemas, y otras son propias de la arquitectura del UMTS. Es importante hacer notar que la interfaz entre el UE y la red UTRAN es la tecnología WCDMA. En la figura 13, se muestra la arquitectura detallada de una red UMTS.

Figura 13. **Arquitectura de una red UMTS**



Fuente: *Red de telefonía móvil*. http://microeec.blogspot.com/2013_02_01_archive.html.

Consulta: 30 de mayo de 2012.

El móvil UMTS es conocido como el equipo de usuario (UE). Esto es un cambio en la terminología de GSM, donde se conocía como la estación móvil (MS). La mayoría de los teléfonos móviles UMTS son en realidad dispositivos de

modo dual que soportan GSM, así se comunican utilizando la tecnología de 3G en regiones con cobertura de UMTS, pero revierten a 2G en las regiones donde las estaciones base todavía no se han desplegado UMTS.

El UE incluye al equipo móvil (*ME-mobile equipment*) y a uno o más USIM (*UMTS subscriber identity module*), el cual es el elemento clave para establecer conexión con la red UMTS.

El USIM es una aplicación que puede residir en una tarjeta inteligente removible, la cual puede obtener otras aplicaciones. También puede no ser removible y estar integrada en el equipo móvil. Esta contiene datos y procedimientos que identifican al usuario de forma segura.

El UE puede operar en uno de los tres modos siguientes:

- Modo de operación por conmutación de paquetes y conmutación de circuitos (PS/CS-packet switched/circuits switched): el UE se comunica utilizando los dominios PS y CS que se encuentran en la red central, operando simultáneamente en ambos.
- Modo de operación por conmutación de paquetes (PS): el UE se comunica utilizando únicamente el dominio PS, operando servicios de este nada más.
- Modo de operación por conmutación de circuitos (CS): el UE se comunica utilizando únicamente el dominio CS, operando servicios de este nada más.

El UTRAN (red de acceso de radio terrestre para UMTS) es la parte de la red UMTS que proporciona conexión entre los terminales móviles y la red central. Esta se encuentra formada por los controladores de radio de red RNC (*radio network controller*) y los nodos B, estos permiten gestionar la capacidad del sistema para mantener una conexión continua entre el terminal móvil y la red.

La RNC en conjunto con sus nodos B correspondientes recibe el nombre de radio de la red (RNS), puede haber más de un RNS presente en una UTRAN.

La UTRAN está basada en el sistema CDMA de banda ancha (WCDMA) con dos técnicas de acceso distintas. La primera basada en FDD que utiliza dos portadoras de 5 MHz y la segunda basada en TDD para cuando se encuentre solo en una disposición.

El nodo B es la parte del RNS que interactúa, por un lado, con el UE a través de la interfaz aérea Uu y, por el otro, con la RNC a través del modo de transferencia asíncrono (ATM) de la interfaz Iub, en la transmisión y recepción de voz y datos. En el nodo B se encuentra la capa física de la interfaz aérea.

El nodo B es el equivalente de la BTS utilizada en GSM y puede dar servicio a una o más células, dependiendo de la sectorización, sin embargo, las especificaciones asignan una sola célula por cada nodo B. Los nodos B son regularmente localizados físicamente con la BTS existente de GSM para reducir los costos de implementación de UMTS y minimizar las restricciones de aprobación de planificación.

La tarea principal del nodo B es la conversión de datos entre él y la estación móvil a través de la interfaz de radio Uu, dicha conversión incluye la corrección de errores (FEC-*forward error correction*), el ajuste de la tasa de transmisión, la

dispersión y agrupación de la señal transmitida por medio de WCDMA y la modulación QPSK sobre la interfaz aérea.

El nodo B manda información hacia el RNC de la calidad y el nivel de la señal, determinando de esta forma la tasa de error de la trama (*FER-frame error rate*), también permite ajustar la potencia del UE. Los valores predefinidos para el control de potencia son procesados y enviados desde el RNC, este puede trabajar en los modos FDD y TDD.

Algunas de las funciones principales que realiza el nodo B son:

- Interfaz aérea de transmisión y recepción
- Modulación y demodulación
- Codificación del canal físico de WCDMA
- Manejo de errores

La RNC se encarga de controlar los recursos de radio entre el RNS y el resto de la red para su correcta comunicación, realizando funciones equivalentes a las del BSC en las redes GSM. La diferencia está en que la RNC puede realizar los *handover* sin necesidad de involucrar al MSC ni al SGSN, lo cual no era posible en las partes equivalentes de las redes de generaciones anteriores. La RNC está en la capacidad de controlar uno o varios nodos B.

La RNC maneja los protocolos de intercambio entre las interfaces lu, lur e lub, al mismo tiempo que es responsable de la operación centralizada y el mantenimiento del RNS. El controlador de la red de radio puede establecer conexión con el MSC a través de la interfaz lu, mediante la conmutación de circuitos (lu-CS) o con un SGSN, a través de la interfaz lu mediante la conmutación de paquetes (lu-PS).

Las principales funciones que realiza el RNC son:

- Control de los recursos de radio
- Control de admisión
- Asignación de canal
- Ajustes del control de potencia
- Control de los handovers
- Codificación
- Señalización de transmisión
- Control de los recursos lógicos
- Manejo del tráfico de los canales comunes
- Control de potencia para el downlink
- Manejo de los reportes
- Manejo del tráfico en los canales compartidos
- Funciones de seguridad de UTRAN

El UE, como complemento del nodo B, realiza las funciones de codificar, entrelazar, modular, demodular, controlar la potencia, mediar los parámetros de RF, entre otros. Como complemento de la RNC, controla los recursos de radio, *handovers* y selección de celdas. Por último, como complemento de la red central, realiza la administración de la movilidad, la autenticación, solicitud de servicios y manejo de sesiones.

El núcleo de red o red central (CN) es la parte de la red que establece la comunicación entre las múltiples secciones de la red de acceso. Esta soporta servicios basados en la conmutación de circuitos (CS) y conmutación de paquetes (PS). Por medio de la red central, el UMTS puede conectarse con otras redes de telecomunicaciones, por lo que la comunicación no es realizada

únicamente entre los usuarios móviles de la red UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes.

Para poder llevar a cabo correctamente el proceso de transmisión y recepción de voz y datos, la red central se encuentra dividida en dos partes o dominios, una basada en CS y la otra en PS.

La red central de circuitos (*CCN-circuit core network*) realiza las funciones principales de conmutación de circuitos y se encarga de que los usuarios de la red UMTS puedan comunicarse entre sí y con otras redes.

El dominio de conmutación de circuitos está formado por las siguientes partes:

- Unidad de adaptación de tasa y transcodificación (*TRAU-transcode and rate adaptation unit*): es el dispositivo que toma los paquetes de voz de UMTS y los convierte en paquetes estándar de voz ISDN de 64 Kbps. En UMTS esta funcionalidad es parte de la red central.
- Centro de conmutación móvil de tercera generación (*MSC-mobile switching center*): esta parte del núcleo de la red es utilizada por el BSS de la red GSM y por el RNS de la UTRAN, ya que ambos pueden estar conectados en la misma MSC. Coordina las funciones de señalización y distribución requeridas para el manejo de los servicios de conmutación de circuitos en las llamadas, hacia y desde todos los usuarios de UMTS que se encuentran operando su área. El MSC controla la función de paging o sea la petición de mensajes entrantes, además transfiere los parámetros de codificación del VLR al UTRAN para habilitar la codificación sobre la interfaz de radio.

- Registro de posición base (HLR-home location register): es la base de datos de la red usada para el manejo permanente de los usuarios móviles. Una PLMN puede contener uno o varios HLR. Almacena información de los datos de suscripción en UMTS que permiten el enrutamiento de llamadas o mensajes hacia el MSC o hacia el SGSN donde se encuentra registrado el UE.

El dominio de conmutación de paquetes está formado principalmente por el nodo de soporte de servicio GPRS (*SGSN-serving GPRS support node*) que, al igual que el MSC, tiene conexión con el BSS de GSM y el RNS del UTRAN. El SGSN solicita información al HLR sobre la ubicación del UE a través de la interfaz Gr. Este realiza el ajuste y el enrutamiento de las sesiones de datos, encargándose también de las operaciones de seguridad y control de acceso.

El SGSN trabaja con base en protocolos de paquetes de datos (*PDP-packet data protocol*), los cuales son utilizados para interactuar con el GGSN al que el usuario se encuentre conectado. La información de suscripciones y datos de ubicación de los usuarios registrados en el SGSN es necesaria para llevar a cabo la transferencia entrante o saliente de paquetes de datos. El SGSN puede enviar opcionalmente datos de ubicación al MSC/VLR a través de la interfaz Gs.

El dominio de conmutación de paquetes también está formado por el nodo de soporte de la puerta de enlace de GPRS (*GGSN-gateway GPRS support node*), el cual provee el punto de interconexión con redes externas de datos por paquetes (*PDN-packet data networks*), para que la PLMN soporte el sistema UMTS. La función del registro de posición en el GGSN es almacenar la información de las suscripciones de los usuarios y los datos de enrutamiento. Esta información es recibida por el HLR y por el SGSN a través de las interfaces

Gc y Gn respectivamente, estableciendo un túnel de tráfico de paquetes de datos hacia el UE, por medio del SGSN donde el UE esté registrado. Tanto el SGSN como el GGSN tienen enrutamiento IP y se pueden interconectar por medio de *routers* IP.

Los elementos como el VLR, el AuC, el EIR y la puerta de enlace del MSC (GMSC-*gateway MSC*) también forman parte de la red central que a la vez son parte esencial de una red GSM, como se describió anteriormente para la arquitectura de una red de este tipo.

1.3.5. Interfaces y protocolos

Para el correcto funcionamiento de la red es necesario el direccionamiento adecuado de datos y voz, así como el control de realización de las funciones necesarias para que la comunicación se lleve a cabo con éxito. Para eso se han establecido las interfaces necesarias y una serie de protocolos que se describen a continuación.

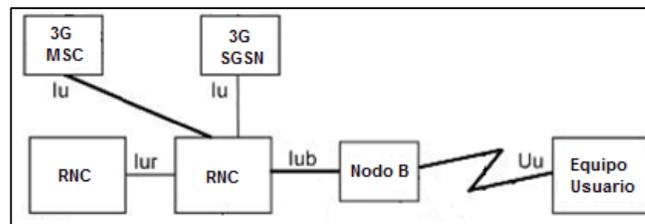
Los módulos que forman la red UMTS son conectados unos con otros a través de los siguientes grupos de interfaces:

- Interfaz del usuario del UMTS (Uu-user interface): esta es la interface entre un nodo B y el equipo del usuario, es dependiente de la tecnología utilizada en la interfaz de radio.
- Interfaz del nodo B del UMTS (Iub-UMTS node B interface): esta es la interfaz entre una RNC y sus nodos B.

- Interfaz del RNC del UMTS (Iur-UMTS RNC interface): esta es la interfaz entre dos RNC, la cual ha sido determinada para soportar funciones específicas tales como handover sin tener que involucrar a la red central.
- Interfaz del UMTS (Iu-UMTS interface): esta es la interfaz entre la red central y la red de acceso. La red central puede ser conectada a diferentes redes de acceso usando la interfaz Iu.

Las interfaces del UMTS son definidas por las especificaciones de GSM y UMTS. La interfaz del UMTS Iu reemplaza a la interfaz A, utilizada en GSM, entre la red de radio y el conmutador (*switch*). La figura 14 y la tabla V, muestran las interfaces de la red central para los dominios conmutados por paquetes y por circuitos.

Figura 14. **Interfaces de una red UMTS**



Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

Tabla V. **Interfaces de la red UMTS**

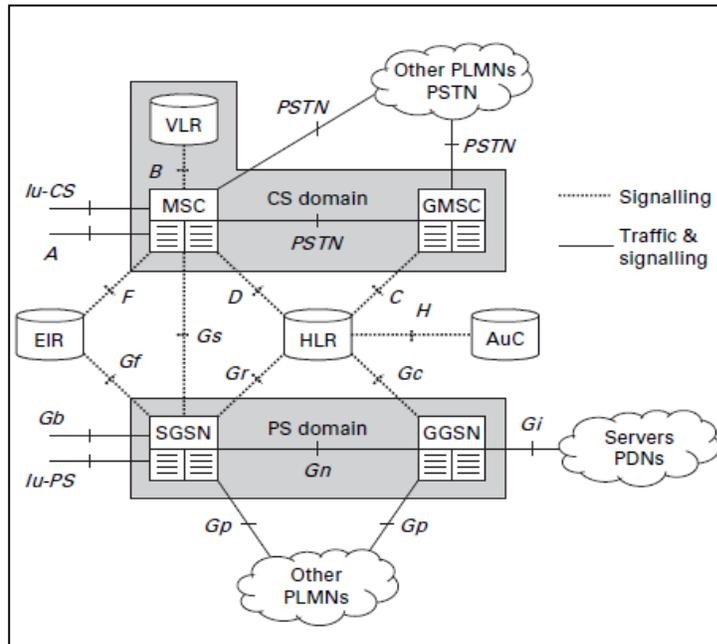
NOMBRE DE LA INTERFAZ	DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ DE LA RED
B	Interfaz entre el MSC y el VLR.
C	Interfaz entre el MSC y el HLR.
D	Interfaz entre el HLR y el VLR.
F	Interfaz entre el MSC y el EIR.

Gc	Interfaz entre el HLR y el GGSN.
Gf	Interfaz entre el SGSN y el EIR.
Gi	Interfaz entre el GGSN y el internet.
Gn	Interfaz basada en IP que es entre el SGSN y el GGSN.
Gp	Interfaz basada en IP que es entre SGSN en diferentes PLMN.
Gr	Interfaz entre el SGSN y el HLR.
Gs	Interfaz entre el SGSN y el MSC.
Iu	Interfaz entre la red de acceso y la red central.
Iu CS	Interfaz entre el RNC y el MSC. Circuito conmutado, variante de la interface Iu. La Iu-CS es una evolución de la interfaz A de GSM.
Iu PS	Paquete conmutado, variante de la interfaz Iu. Interfaz entre el RNC y el SGSN.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 15, se observa cómo se conectan estas interfaces con todos los elementos de una red UMTS.

Figura 15. Conexión de las interfaces de una red UMTS



Fuente: COX, Christopher. *Essentials of UMTS*. p. 36.

Los protocolos para el UMTS están divididos en dos partes:

- Protocolos de la UTRAN
- Protocolos de la red central

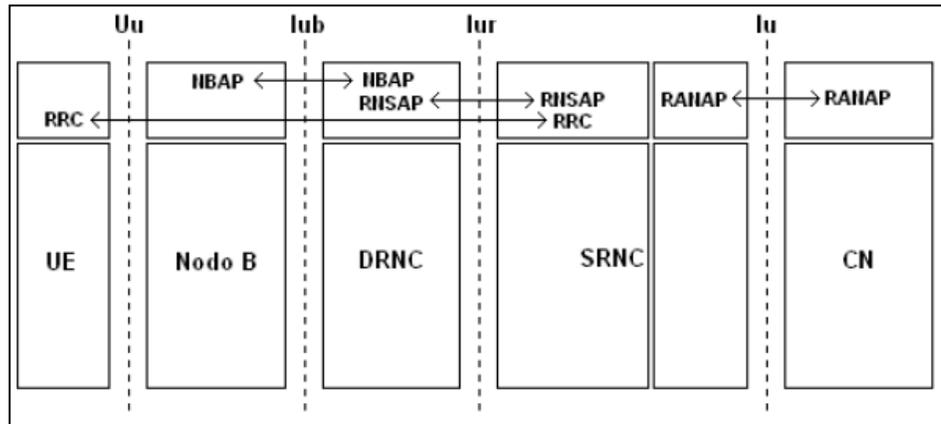
La UTRAN posee cuatro protocolos principales, que son:

- Protocolo de aplicación de la red de acceso de radio (RANAP-radio access network application protocol): usado entre la RNC y la red central (en los dominios PS o CS), es decir, sobre la interfaz lu. Se utiliza para manejar el acceso de radio, transportar información de señalización de la capa inaccesible entre el UE y el CN, realizar las peticiones de paging del CN al UE, controlar los métodos de seguridad y reportar la ubicación.

- Protocolo de aplicación del nodo B (NBAP-node B application protocol): usado entre una RNC y sus nodos B, es decir, sobre la interfaz Iub. Sus funciones principales son: el manejo de la configuración de la celda, el manejo y supervisión de los enlaces de radio, el manejo de la información del sistema, el manejo de los canales comunes, la sincronización (TDD) y el manejo de mediciones.
- Protocolo de aplicación del subsistema de la red de radio (RNSAP-radio network subsystem application protocol): usado entre dos RNC, para manejo del enlace de radio, reconfiguración del canal físico, reubicación de la RNC, medición de los recursos dedicados, paging y transporte compartido de los recursos del canal.
- Protocolo de control de recursos de radio (RRC-radio resource control): maneja la señalización del nivel de control sobre la interfaz Uu entre el UE y el UTRAN. Entre las funciones que realiza el RRC están: la transmisión de información, el manejo de las conexiones entre el UE y la UTRAN, el manejo de las propiedades de radio, el control de decodificación, la protección de la integridad del mensaje y paging.

En la figura 16 se muestra la relación de los protocolos de aplicación con las interfaces principales de la red UMTS.

Figura 16. **Protocolos de aplicación e interfaces de la red UMTS**



Fuente: *UMTS protocols and protocol testing*. www.iec.org. p. 14. Consulta: 25 de julio de 2012.

Por su parte, la red central tiene también varios protocolos de señalización entre los que se encuentran:

- Protocolo de túnel de GPRS (GTP-GPRS tunneling protocol): usado para controlar los túneles IP entre la RNC y el GGSN. Este se divide en dos túneles, uno del RNC al SGSN y el otro del SGSN al GGSN. Como el entorno de este se encuentra basado en redes IP, los nodos usan direcciones IP.
- Protocolo del datagrama del usuario (UPD-user datagram protocol): usado para controlar la pérdida de conexión de la comunicación del datagrama.
- Protocolo de control de señalización de la conexión (SCCP-signaling connection control protocol): provee funciones de manejo y enrutamiento para la transferencia de mensajes, aparte del ajuste de la llamada entre puntos de señalización.

- Protocolo de transferencia de mensajes (MTP-message transfer protocol): se encarga del enrutamiento básico de la señalización de mensajes, de la discriminación y distribución de los mismos únicamente para enlaces punto a punto.
- Parte de aplicación de la red de acceso de radio (RANAP-radio access network application protocol): usado por las interfaces Iu-CS e Iu-PS. Algunos de los procedimientos de RANAP son conexiones orientadas y, por lo tanto, se emplea el SCCP del sistema de señalización.
- Protocolo del usuario de ISDN (ISUP-ISDN user protocol): se utiliza entre el servidor de llamadas y la PSTN, puede requerir servicios del SCCP para ciertos tipos de configuración, pero generalmente es usado para el protocolo de transferencia de mensajes directamente.

1.4. GSM versus UMTS

La diferencia principal entre GSM y UMTS es la implementación de la red UTRAN, la cual permite el manejo de un ancho de banda mayor, gracias a la utilización de la técnica de acceso WCDMA.

UMTS tiene compatibilidad con las actuales redes GSM y busca la compatibilidad entre todos los sistemas para hacer una red mundial.

Una pequeña ventaja de GSM, es que el radio de cobertura en este sistema es fijo y depende de la potencia con que transmite la antena y la inclinación de la misma, mientras que en UMTS el radio de cobertura de la célula varía dependiendo de la cantidad de usuarios que se encuentra en su área.

UMTS es un sistema que supera, en todos los aspectos, a GSM, cuya implementación es relativamente sencilla, si se tiene una red bien estructurada, con sistemas que soporten servicios de paquetes.

La calidad en GSM es mejor cuando la potencia de transmisión es mayor, una vez no existan canales adyacentes o cocanales en los alrededores, mientras que en UMTS se consigue una mejor calidad cuando la señal es reconstruida por las señales recibidas de distintas fuentes, multitrayectoria.

UMTS es mejor a GSM en cuanto a calidad de voz, velocidad de transmisión, servicios que soporta y seguridad del sistema, por lo que es recomendable preparar las redes de segunda generación para su evolución hacia la tercera generación y a los usuarios para la gran cantidad de servicios por venir.

1.5. Introducción a RAN

La RAN (*radio access network*) se define como la red que utiliza una tecnología de acceso de radio en un sistema de telecomunicaciones móvil. Conceptualmente, se sitúa entre la telefonía móvil y la red central (CN).

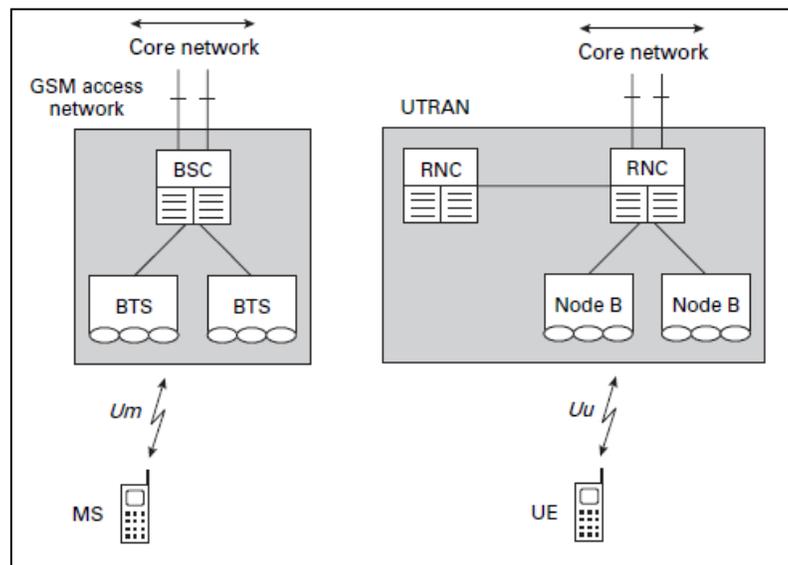
Constituye la infraestructura terrestre necesaria para la entrega de servicios de comunicaciones inalámbricas, incluidas las de alta velocidad de acceso móvil a internet. La RAN debe ser capaz de manejar una amplia gama de tareas de cada usuario, incluyendo el acceso, roaming, conexión transparente a la red telefónica pública conmutada y la internet, y la gestión de la calidad de servicio (QoS) para datos y conexiones web.

Es la parte de la red de comunicaciones que conecta a los usuarios finales con algún proveedor de servicios y es complementaria a la red de núcleo. La funcionalidad de la RAN está proporcionada típicamente por un chip de silicio que

reside en el equipo del usuario. Dependiendo del estándar, teléfonos móviles y otros dispositivos inalámbricos conectados se conocen ya sea como equipo de usuario (UE), equipo terminal, estación móvil (MS), entre otros.

La RAN, en el caso de las UMTS, recibe el nombre de UTRAN, y se compone de una serie de sistemas de red radio o RNS (*radio network system*), constituidos a su vez por un controlador radio RNC (*radio network controller*) y una serie de nodos B dependientes de la misma. En la figura 17, se puede observar la arquitectura de la RAN.

Figura 17. **Arquitectura de la RAN**



Fuente: COX, Christopher. *Essentials of UMTS*. p. 38.

Ejemplos de tipos de red de radio de acceso son:

- GRAN: GSM de radio acceso a la red.

- GERAN: esencialmente el mismo que GRAN pero especificando la inclusión de los servicios de radiocomunicaciones por paquetes EDGE.
- UTRAN: UMTS red de acceso de radio.
- E-UTRAN: LTE (long term evolution) de alta velocidad y la red de radio de baja latencia de acceso.

Es posible para un único teléfono conectarse simultáneamente a múltiples redes de acceso radio y suelen llamarse teléfonos de modo dual. Tales dispositivos pueden transferir una llamada en curso entre las diferentes redes de acceso por radio, sin que sea perceptible al usuario cualquier interrupción en el servicio.

2. FUNDAMENTOS DE *SINGLE* RAN

Hasta el día de hoy, las redes de acceso por radio 2G y 3G de operadores móviles trabajan diferente y de forma independiente. La red GSM es costosa de operar y, sin duda alguna, podría llegar a quedarse obsoleta en un futuro no muy lejano.

2.1. ¿Qué es *single* RAN?

Los operadores móviles continuamente buscan formas de simplificar la arquitectura de la red para reducir gastos operativos y satisfacer al consumidor en cuanto a la demanda de datos móviles.

La constante evolución de tecnologías y sus beneficios en cuanto a costos representan los pilares de la propuesta *single* RAN.

Por esta razón, se ha encontrado que la plataforma *single* RAN, es una solución que amortiza la inversión de hoy y prepara la evolución tecnológica del futuro.

Single RAN constituye la implementación de una solución al unificar las tecnologías 2G y 3G en una misma infraestructura.

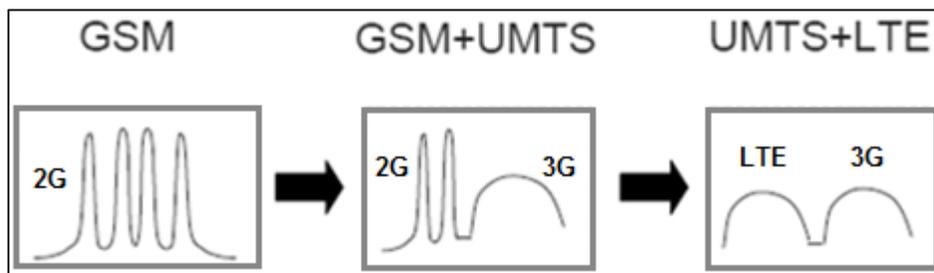
2.1.1. Definición y características

Siendo *single* RAN una plataforma común para tecnologías móviles, posee las siguientes características:

- Sistema de gestión común.
- Soporta las tecnologías GSM, UMTS, LTE.
- Permite a los operadores móviles el acceso a las tecnologías en una misma estación base.
- Ofrece servicios con una tasa de utilización de datos mensual más elevada a un menor costo.
- Evita la duplicación de equipos.

La figura 18 muestra un ejemplo de estas tecnologías de acceso por radio.

Figura 18. **Tecnologías de acceso por radio**



Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

El objetivo es ofrecer una sola red de acceso móvil multitecnología. Con *single RAN* se garantiza la evolución de la red sin que se necesite desplegar una nueva infraestructura, ya que no precisa de redes 2G y 3G independientes. El hardware puede configurarse de manera flexible, como únicamente GSM (GO), únicamente UMTS (UO) o ambas tecnologías (GU).

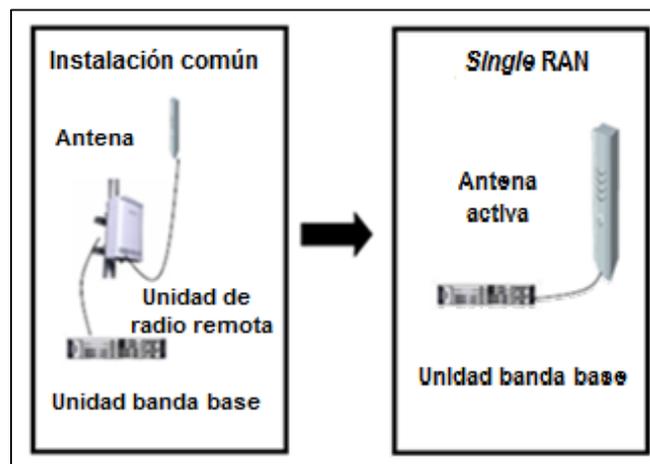
2.1.2. Radio definida por software (SDR)

Este concepto es similar a la idea fundamental de una separación entre hardware y software.

Es un sistema de radiocomunicaciones donde los componentes implementados en hardware, como filtros, amplificadores y módems, son implementados en software por medio de procesadores embebidos. Esta tecnología permite a los operadores adquirir, operar y mantener una red de telecomunicaciones como un único conjunto de equipos.

La figura 19 muestra las antenas como ejemplo.

Figura 19. Antenas en *single* RAN



Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

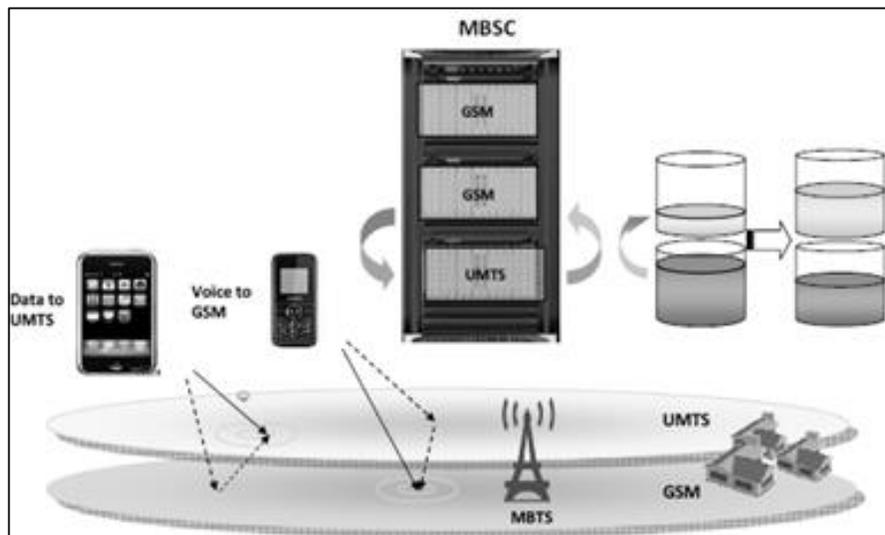
Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, el radio definido por software (SDR) posee las siguientes características:

- Soporte de configuración de datos de forma dinámica y expansión de la capacidad del sistema de forma no abrupta.
- Soporte de redes estrella, cadena y de árbol con Nodos B y BTS.
- Soporte de E1/T1, STM-1, FE y GE.
- Soporte de HSPA+, MBMS+ para servicios de UMTS.
- Soporte de diferentes tipos de fuentes de sincronía como reloj de línea.

2.2. MBTS y MBSC en *single* RAN

La MBTS (*multi-technology-BTS*) para *single* RAN es la estación base que integra las tecnologías GSM y UMTS, como se muestra en la figura 20.

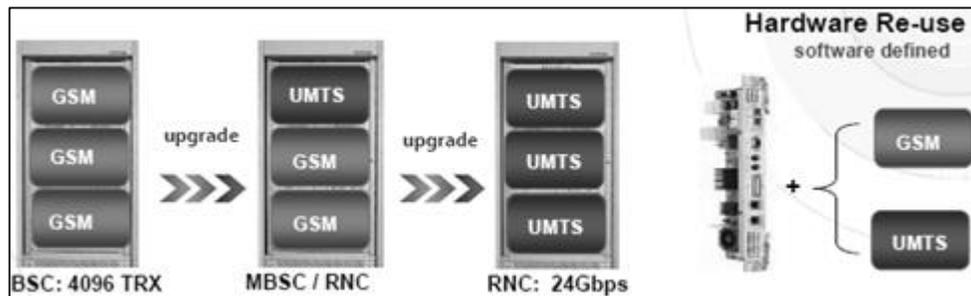
Figura 20. **MBTS**



Fuente: Huawei Technologies. *SRAN white paper*. p. 10.

El MBSC (*multi-technology-BSC*) para *single RAN* es el controlador de radio bases que integra las tecnologías GSM y UMTS, como se muestra en la figura 21.

Figura 21. **MBSC**



Fuente: Huawei Technologies. *SRAN white paper*. p. 12.

Al utilizar el hardware *single RAN*, se redefine la arquitectura de la red y sus componentes MBTS y MBSC proveen las siguientes soluciones:

- Arquitectura de alta eficiencia basado en la plataforma IP
- Alta capacidad y densidad
- Evolución no abrupta de modo único a modo dual

2.3. ¿Cómo se implementa?

Con este desarrollo, solo es necesario instalar una única estación base para RAN, sin precisar de dos redes 2G y 3G independientes.

2.4. Protocolos e interfaces

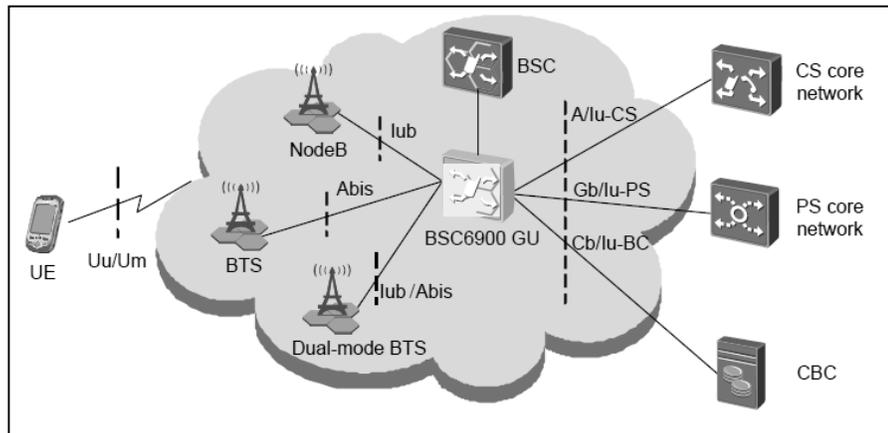
La MBSC en modo GU se conecta a las redes centrales y gestiona las estaciones de base en las redes GSM y UMTS. Las interfaces que se conectan entre la MBSC en modo de GU y cada elemento de red incluyen:

- La interfaz Iub que se encuentra entre la MBSC y el NodoB.
- La interfaz Iur que se encuentra entre la MBSC y el RNC.
- La interfaz Iu-CS que se encuentra entre la MBSC y el centro de conmutación móvil (MSC) o media gateway (MGW).
- La interfaz Iu-PS que se encuentra entre el MBSC y el nodo de soporte GPRS (SGSN).
- La interfaz Iu-BC que se encuentra entre el MBSC y el cell broadcast center (CBC).
- La interfaz Abis que se encuentra entre la BTS y la MBSC.
- La interfaz A se encuentra entre el MBSC y el MSC o MGW.
- La interfaz Gb se encuentra entre la MBSC y el SGSN.

Estas interfaces son estándar, a través de las cuales se pueden interconectar equipos de diferentes fabricantes. El MBSC realiza funciones tales como la gestión de recursos de radio, la gestión de la estación base, el control de potencia y control de traspasos.

La interconexión de estos elementos de la red junto con sus interfaces se representa en la figura 22, a continuación.

Figura 22. Interfaces para *single* RAN



Fuente: Huawei Technologies. *White paper: one RAN*. p. 125.

2.5. Requisitos para proveedores

En el entorno rápidamente cambiante y altamente competitivo de hoy, los operadores deben ser capaces de responder rápidamente y de manera rentable. A partir del despliegue de red, para elegir entre diversos cambios entre diferentes modos y características de la misma red, *single* RAN ofrece precisamente la flexibilidad que se necesita. Los operadores pueden elegir diferentes características de acuerdo a las etapas de desarrollo del mercado.

A nivel de equipos, *single* RAN realiza una red de apoyo de despliegue multimodo. *Single* RAN también permite la integración completa de GSM, UMTS, LTE y características. Todas las funciones se pueden implementar dentro de la misma red y los recursos del espectro, incluyendo el O&M, pueden ser compartidas dinámicamente para mayor efecto y eficiencia. Con *single* RAN, solo se requiere un sistema de gestión integrado para todos los despliegues, con independencia de que sea GSM, UMTS o LTE.

En lugar de tres, solo un equipo se requiere ahora para operación y mantenimiento de una red multimodo sin problema, por lo tanto, *single* RAN es a la vez simple y elegante.

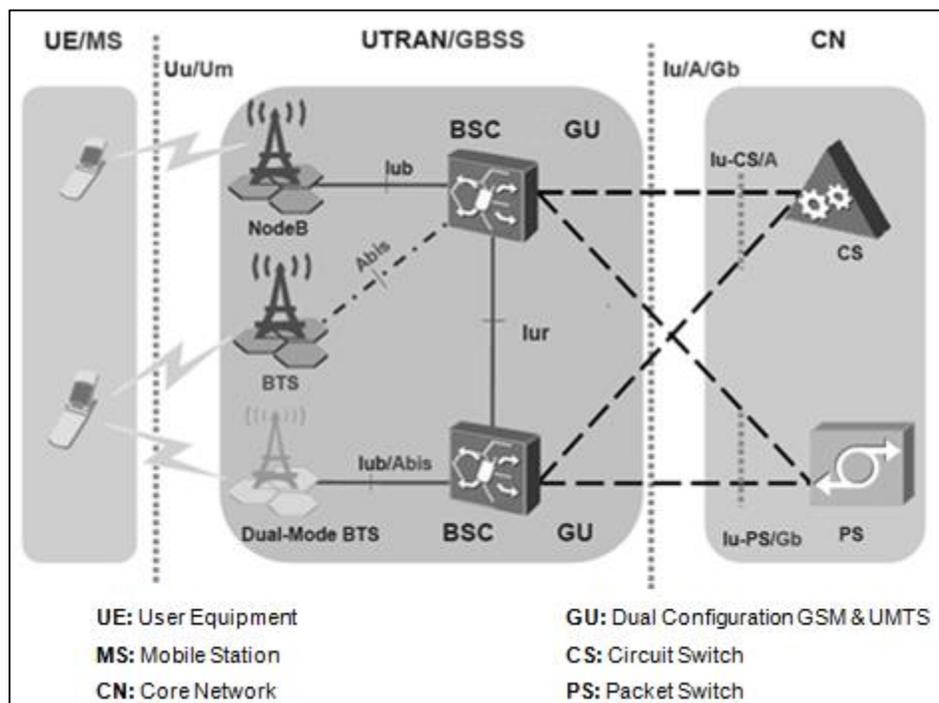
3. TOPOLOGÍA DE UNA RED DE ACCESO MULTITECNOLOGÍA

3.1. Arquitectura de la red de acceso multitecnología

La arquitectura de *single* RAN ofrece varias medidas, en cumplimiento de los requisitos antes mencionados para la eficiencia y la flexibilidad, durante la realización de las redes de acceso móviles. El enfoque subyacente a un solo sistema RAN es la sustitución de las soluciones aisladas previamente existentes para redes que abarcan diversos servicios o tecnologías, con una solución única e integral.

La convergencia del concepto de *single* RAN se puede aplicar en varios dominios. En primer lugar, a todas las tecnologías inalámbricas pertinentes se les da soporte flexible por medio de un módulo de arquitectura multiestándar para estaciones base inalámbricas (BTS). En segundo lugar, un concepto similar se aplica a los elementos de control de la red de acceso (BSC/RNC), ya que la funcionalidad del BSC y RNC está disponible en una plataforma común. Y en tercer lugar, la estandarización de la solución de gestión de los elementos de red conduce a un funcionamiento económico y abre la puerta a la utilización de técnicas de tecnología transversal para la optimización de la red. Estas tecnologías inalámbricas se ilustran en la figura 23, como una red multitecnología.

Figura 23. Red multitecnología



Fuente: Huawei Technologies. *Multitechnology RAN*. p. 185.

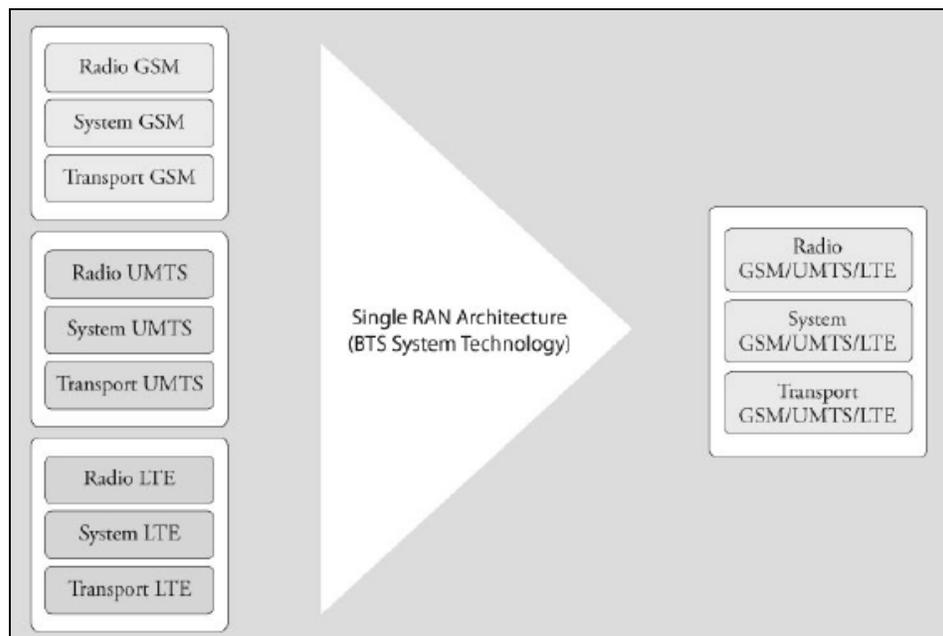
Tomando las estaciones base como un ejemplo para ilustrar la idea detrás de *single* RAN con mayor profundidad, en términos de función, la tecnología del sistema de una estación base se puede dividir en los módulos para la transmisión inalámbrica (módulo de radio), procesamiento de señal (módulo del sistema) y conexión de red (módulo de transporte).

En el pasado, el diseño convencional había sido la construcción de estaciones base separadas en un solo sitio, para cada uno de los estándares inalámbricos compatibles. La arquitectura *single* RAN únicamente busca consolidar esta solución múltiple. El despliegue de hardware con capacidad multiestándar allana el camino hacia una convergencia de los sistemas en uso.

En el caso ideal, solo una estación base debe ser construida en cada sitio. Su módulo de radio es compatible con la transmisión en todas las anchuras de banda necesarias y las formas de señal. El módulo del sistema tiene la capacidad para realizar simultáneamente el procesamiento de señal para todos los estándares. La conexión a la red de transporte se logra mediante un módulo de transporte que identifica la conexión redundante a través de diversos medios físicos.

La figura 24 ilustra gráficamente la idea fundamental detrás de la arquitectura de *single* RAN para estaciones base.

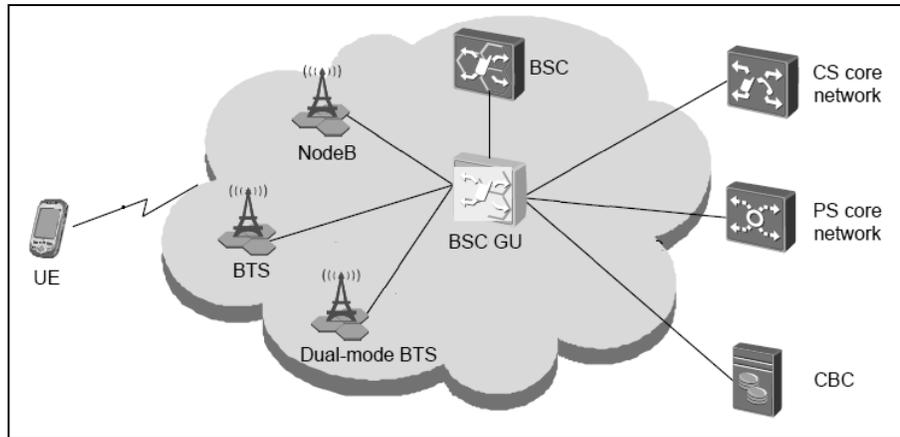
Figura 24. **Arquitectura de *single* RAN para estaciones base**



Fuente: LUTZ, Jarbot. *Single RAN architecture for mobile network base stations*. p. 176.

La figura 25 ilustra la arquitectura de *single* RAN.

Figura 25. **Arquitectura de *single* RAN**



Fuente: Huawei Technologies. *SRAN white paper*. p. 14.

3.2. Beneficios de la extensibilidad

Single RAN posee la facultad de flexibilidad para el cambio, ya que soporta nuevas funcionalidades cuando se incorporan nuevos elementos, sin que se alteren los elementos existentes (o alterándolos mínimamente).

Dentro de los beneficios de la extensibilidad que posee, se encuentran:

- Mayor flexibilidad a través de las actualizaciones de software.
- Rápida capacidad de despliegue.
- Menores costos de operación y capital.
- Permite a los proveedores evolucionar sus servicios de banda ancha móvil de la manera más eficiente posible.
- Puesta en el mercado en menor tiempo.

- Con la integración de LTE, un operador puede ofrecer una velocidad de hasta 100 Mbps.
- Reducción de CAPEX por reutilización de hardware.
- Mayor calidad de voz.
- Mayor nivel de seguridad.
- Mayor variedad de servicios.

3.3. Visión a futuro, nuevas plataformas y crecimiento

La arquitectura *single* RAN se seguirá desarrollando en los próximos años. Incluso ahora, las generaciones de productos planificados de los fabricantes del sistema muestran los esfuerzos más amplios de aplicar el concepto de *single* RAN a todos los elementos de la red y módulos funcionales en la red de acceso.

Las antenas activas son de especial interés en este sentido. La integración de su módulo de radio activo y de su antena pasiva hace que sea posible realizar la cadena de procesamiento de alta frecuencia para todos los estándares pertinentes de radio, asegurando, al mismo tiempo, la eficiencia de costos.

En el futuro, las soluciones en la gestión del uso de un *single* RAN más complejo harán que sea posible llevar a cabo la configuración y optimización de todos los servicios de red móvil completa y automáticamente.

Además de las tecnologías de radio mencionadas anteriormente, también existen para sistemas basados en TDD (dúplex por división de tiempo), lo que permite, por ejemplo, una migración de WiMAX para TD-LTE.

Como se encuentran las redes en este momento, los operadores de redes móviles no tienen otra alternativa para la arquitectura *single* RAN en sus redes

de acceso. Debido a la penetración todavía baja de UMTS y los dispositivos finales de LTE en muchos lugares, será necesario ofrecer una serie de servicios de redes móviles durante muchos años más.

4. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA RED MULTITECNOLOGÍA

4.1. Comparación económica entre una red 2G-3G independiente contra una *single* RAN

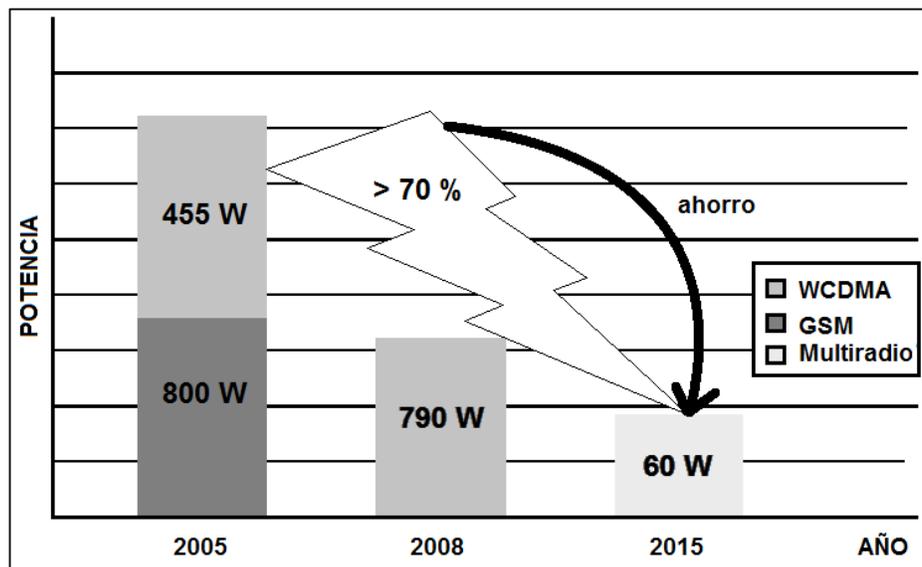
Los operadores se enfrentan hoy a una inevitable superposición: soportar tres modos coexistentes GSM, UMTS y LTE. Los modelos tradicionales requieren tres conjuntos de equipos y tres redes independientes, poniendo mayor presión sobre los operadores para el despliegue de la operación y mantenimiento (O&M) haciendo que el OPEX (*operational expenditure*) aumente, además de cuestiones tales como la inversión repetida en equipos y actualizaciones continuas de sitios, impulsando el aumento del CAPEX (*capital expenditure*).

Para los operadores que hacen frente a desafíos de costos, correr múltiples tecnologías de radio en una única estación base significa OPEX reducido en un menor número de visitas al sitio, logísticas simplificadas, mantenimiento reducido y un menor requerimiento de personal capacitado. La posibilidad de reutilizar los sitios GSM para WCDMA y HSPA también ofrece un ahorro en la reducción de los costos de alquiler y la reutilización al máximo la infraestructura existente.

La solución de *single* RAN hace que los operadores no duden un instante en optar por 4G, gracias a la capacidad de reutilización de gran parte de una estación base para distintos escenarios de migración y de hasta el 100 % de otros componentes clave de la red, lo cual impulsa la reducción del CAPEX.

No menos importantes son las razones ecológicas para la introducción de tecnologías eficientes. Una red de acceso de eficiencia energética hace que se reduzca al mínimo los costos de operación. La nueva estación base tiene el menor consumo de energía en el mercado. Una estación base con un promedio de 3 sectores ejecutándose simultáneamente, GSM/EDGE y WCDMA/HSPA, consume 790 W, como se muestra en la gráfica de la figura 26, mientras que esta nueva estación base consume una impresionante potencia de 60 W por sector para la máxima capacidad y cobertura. Esto contribuye con un 70 % de ahorro de energía.

Figura 26. **Gráfica de consumo de energía**



Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

Los equipos de redes adquiridos hasta el día de hoy todavía deben ser capaces de cumplir con los requisitos técnicos aplicables en cinco años a partir de ahora. Esta seguridad en el futuro solo se puede lograr si la red de tecnología

que se emplea es tan flexible que puede soportar todos los próximos servicios y características de los productos, sin necesidad de mayores modificaciones.

Las exigencias de flexibilidad realizados en la tecnología de sistema se aplica igualmente a la gama de frecuencia. A medida que las redes móviles de segunda (GSM / EDGE), tercera (UMTS / HSPA) y cuarta (LTE) generación se han ido aplicando sucesivamente, los operadores han licenciado bloques de frecuencias específicas para cada uno. Inicialmente, estos bloques fueron atados a tecnologías de acceso específicas, pero la tendencia actual está cambiando cada vez más hacia la dirección de la utilización transparente de los bloques de frecuencias para dichas tecnologías.

Esto significa, por ejemplo, que una banda de frecuencia originalmente con licencia para GSM ahora se puede utilizar para las tecnologías UMTS o LTE también. Este enfoque, conocido también como reordenación, permite a los operadores de redes móviles utilizar el rango más favorable para el escenario de provisión de servicios, independientemente de la tecnología inalámbrica elegida. El funcionamiento de una red UMTS en el rango de 900 MHz en lugar de un espectro común de 2 100 MHz, por ejemplo, reduciría el número de estaciones base requeridas para la cobertura de un área y las correspondientes inversiones a más de la mitad.

Con esto en conjunto, se disminuye en el coste total de la propiedad, ya que comparada con soluciones BTS tradicionales, esta estación base permite ahorrar en consumo de energía, gastos de transmisión, instalaciones de estaciones de base, actualizaciones o mejoras, *swap* de sitios y costes de mantenimiento. Esto es especialmente cierto para la red de acceso, que puede representar hasta el 80 % de las inversiones totales en una red móvil.

4.2. Ventajas y desventajas de costos y de operación

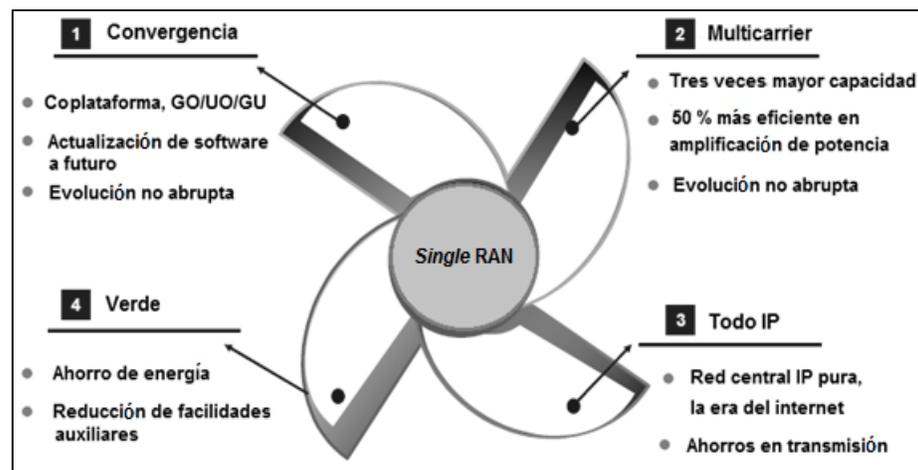
Single RAN está revolucionando la industria mundial de las comunicaciones móviles en beneficio de los operadores y usuarios finales de todo el mundo. Dentro de las ventajas que impactan, en cuanto a costos y operación, se pueden listar:

- Habilita el camino para el desarrollo de nuevas evoluciones tecnológicas, protegiendo las inversiones realizadas por las operadoras y facilitando la migración a tecnologías LTE.
- Ofrece a los operadores una manera rentable de actualizar sus redes, preservando su capital y protegiendo sus inversiones.
- Hace que la evolución de la red sea más rápida, con menos impacto ambiental y más rentable que nunca.
- Esto se complementa con la capacidad de gestionar eficientemente el espectro y para introducir cualquier nueva tecnología en la parte superior del acceso inalámbrico existente.
- La flexibilidad de una estación base multiradio verdadera elimina el riesgo de equilibrar las inversiones realizadas en 2G, 3G y LTE, ofreciendo a los operadores opciones a prueba de futuro.
- Menor gasto de capital, ya que las costosas actualizaciones de hardware se evitan.

- Reducción de los costes operativos sin problemas para migrar a la última tecnología, con sus gastos de funcionamiento más bajos.
- Protección de la inversión con la reutilización de las instalaciones existentes tanto como sea posible.
- Mejora los ingresos y reduce la rotación.
- Enriquecimiento de la experiencia del cliente por implementación de las últimas tecnologías.

Como se observa en la figura 27, se presenta un esquema de las ventajas de esta solución.

Figura 27. **Esquema de ventajas de *single* RAN**



Fuente: elaboración propia, con programa Paint.

Como desventaja, los posibles beneficios de la utilización de la arquitectura de *single* RAN solo se pueden lograr si todos los procesos de los operadores y el software están alineados con esta nueva arquitectura. La explotación de todo el potencial de *single* RAN exige un enfoque holístico en la parte de fabricantes y operadores.

Otra desventaja al concepto de *single* RAN radica en que una falla en la plataforma significa que todos los servicios se vuelven simultáneamente no disponibles. El uso de hardware redundante y la planificación de una red inalámbrica que prevé servicios inalámbricos redundantes son contramedidas apropiadas.

4.3. Retorno de inversión

Desde la perspectiva de los operadores, *single* RAN puede reducir los riesgos asociados con la selección y la evolución de la tecnología, y puede simplificar la toma de decisiones estratégicas, por lo que los operadores ya no tienen que centrarse en las tecnologías móviles que deberían implementar, ni cuándo y cómo deben implementarlas. Lo que permite que se enfoquen en un retorno sobre la inversión a través de la alta demanda del uso de datos móviles y reutilización del espectro.

Según un programa de investigación de redes inalámbricas de Analysys Mason, se prevé que el volumen de tráfico de datos móviles total en 2015 será de más de treinta veces más que en 2010. Para realizar una comparación en el beneficio obtenido con relación a la inversión realizada, se usa como referencia este estudio. Por lo tanto, si se toma que los activos finales del ejercicio a estudiar representan un 30 % más que los del activo anterior, entonces se

tendrán unos activos medios de 1,15. Si el beneficio es 10 y de acuerdo a la fórmula, $ROI = \text{beneficios}/\text{activos medios}$, se obtendrá un ROA igual a 8,69 %.

Considerando que en un mundo en donde el aumento rápido de las tasas de datos representa un enorme desafío y gasto para las redes móviles, las eficiencias más amplias y un retorno sobre la inversión, son obligatorios.

La GSMA y Deloitte dieron a conocer la primera evaluación completa del aumento progresivo de los beneficios de los servicios de telefonía móvil de próxima generación y los servicios móviles de datos, y su impacto sobre el crecimiento económico. El informe ofrece los primeros estimados del impacto del uso de datos móviles sobre el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), se basa en investigaciones del uso de datos y crecimiento económico en 14 países, entregadas por Cisco Systems y basadas a su vez en el Índice Visual de Redes (VNI, por sus siglas en inglés). También en estudios de Deloitte sobre el impacto de las comunicaciones móviles sobre la productividad en 79 países y el impacto de la penetración de la tecnología en 96 países.

Las conclusiones clave del informe incluyen:

- Una duplicación del uso de datos móviles lleva a un aumento de 0,5 puntos porcentuales en el crecimiento del PIB per cápita en los 14 países.
- Los países caracterizados por un nivel mayor de uso de datos por conexión han visto un aumento en su PIB per cápita de un máximo de 1,4 puntos porcentuales.
- Un aumento de 10 % en la penetración de la evolución de la tecnología aumenta el crecimiento del PIB per cápita en 0,15 puntos porcentuales.

- En los mercados en desarrollo, una expansión del 10 % en la penetración móvil aumenta la productividad en 4,2 puntos porcentuales.

Usando este estudio como referencia, se observa que existe una fuerte relación entre el uso de datos móviles y el crecimiento económico. Un aumento del 100 % en el uso de datos móviles, lleva a un alza de 0,5 puntos porcentuales en el crecimiento per cápita del PIB. A través de las funciones más amplias de *single* RAN, los operadores son capaces de cumplir con mayor facilidad el reto del rápido aumento de las tasas de datos y las expectativas de los clientes de una constante mejora en la calidad de las redes de acceso.

Aunque los efectos del rápido desarrollo de los servicios de datos móviles son más evidentes, la telefonía en los mercados sigue entregando fuertes beneficios mediante los servicios de voz, con un enorme potencial de beneficios adicionales a medida que se implementen redes de datos móviles. En consecuencia, *single* RAN sigue centrándose en mejorar la experiencia de los usuarios de servicios de voz en todo el mundo, trabajando para asegurar su calidad.

Garantizar la evolución de la red sin problemas y mantener un nivel de servicio que satisfaga a los usuarios se convierte en un tema de suma preocupación.

Con la mayoría del espectro ya asignado, los recursos existentes de un operador dictan en gran medida su fuerza competitiva y con la escasez de espectro disponible, los operadores que deseen adquirir recursos adicionales de espectro deben gastar sumas exorbitantes de dinero. La solución ideal es que los operadores aprovechen los recursos de espectro existentes, para implementar

diferentes modos de redes móviles o reutilizar los recursos de espectro existentes conforme las nuevas generaciones de redes evolucionan. Solo de esta manera, los recursos del espectro del operador se convertirán en una fuente continua de ganancia, a la vez están ganando en valor.

CONCLUSIONES

1. Existe interoperabilidad entre sistemas debido a que en la arquitectura de la red UMTS se pueden encontrar elementos de GSM. En el comienzo de la implementación de futuras redes, estas coexistirán con las ya instaladas de la generación anterior.
2. Se considera necesaria la implementación de *single* RAN para garantizar la evolución de la red.
3. La arquitectura de *single* RAN no precisa el despliegue de una nueva infraestructura, por lo que consolida una solución múltiple, simple, eficiente y versátil.
4. El ahorro significativo que brinda *single* RAN, se basa en la implementación de una única estación base de red de acceso de radio, en comparación con los costos involucrados en dos redes independientes.

RECOMENDACIONES

1. Es importante, para los operadores, integrar todas las generaciones de redes a través de la solución de *single* RAN, por la interoperabilidad entre las mismas.
2. Requerir a los proveedores la evolución de las funcionalidades y capacidades de la interfaz radio para permitir una mayor efectividad.
3. Que los proveedores presenten a los operadores una gestión consistente y medidas metodológicas para disminuir el riesgo de ser dependientes por la consolidación múltiple de *single* RAN.
4. Que los operadores realicen la actualización de software (SDR) de forma constante para que la renovación de las tecnologías, sea de bajo costo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANALYSYS MASON. *Estudio del uso de la telefonía móvil, impulsa el desarrollo económico a nivel global*. [en línea]. <<http://www.analysismason.com>>. [Consulta: diciembre de 2014].
2. BATES, Regis. *Broadband telecommunications handbook*. 2a ed. Estados Unidos: McGraw-Hill Companies, Inc., 1999. 805 p.
3. BLOGINNOVA VODAFONE. *Single RAN: el sueño de un operador móvil ya es una realidad*. [en línea]. <<http://bloginnova.wordpress.com/2009/02/16/single-ran-el-sueno-de-un-operador-movil-ya-es-una-realidad>>. [Consulta: diciembre de 2012].
4. COX, Christopher. *Essentials of UMTS*. Estados Unidos: Cambridge University Press, 2008. 240 p.
5. FLORENCE, Wendy. *White paper: EDGE, introduction of high-speed data in GSM/GPRS networks*. Sudáfrica: SATNAC, 2003. 12 p.
6. GUNNAR, Heine. *GSM networks: protocols, terminology, and implementation*. 3a ed. Boston: Artech House Mobile Communications, 1991. 417 p.
7. HUAWEI TECHNOLOGIES. *SRAN white paper*. China: Huawei, 2012. 35 p.

8. _____. *White paper: multitechnology RAN*. China: Huawei, 2012. 56 p.
9. _____. *White paper: one RAN*. China: Huawei, 2012. 135 p.
10. IT USERS. *GSMA y Deloitte publican resultados de investigaciones completas sobre el impacto de la telefonía móvil sobre el crecimiento económico*. [en línea]. <<http://itusersmagazine.com/telefonía-móvil-ofrece-desarrollo-economico-global-sin-precedentes/>>. [Consulta: mayo de 2014].
11. KANGAS, Mauri. *Overview of UMTS-WCDMA technology*. Helsinki: Universidad de Tecnología, 2006. 36 p.
12. MITOLA III, Joseph. *Software radio architecture: object oriented approaches to wireless systems engineering*. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc., 2000. 500 p.
13. PÉREZ-ROMERO, Jordi; SALLEN, Oriol. *Fundamentos de diseño y gestión de sistemas de comunicaciones móviles celulares*. España: Iniciativa Digital Politécnica, 2014. 241 p.
14. PÉREZ-ROMERO, Jordi; SALLEN, Oriol; AGUSTÍ, Ramón. *Principios de comunicaciones móviles*. España: Ediciones UPC, 2003. 223 p.
15. _____. *Radio resource management strategies in UMTS*. Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd., 2005. 337 p.

16. SCOURIAS, John. *Overview of the global system for mobile communications: GSM*. Canadá: Universidad de Waterloo, 1996. 26 p.
17. SEDÍN ESCALONA, Alberto. *Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles*. España: McGraw-Hill Companies, Inc., 2004. 628 p.
18. WEB FORUM TUTORIALS. *UMTS protocols and protocol testing*. [en línea]. <www.iec.org>. [Consulta: noviembre de 2013].

