



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

MIGRACIÓN DE GSM A UMTS

Francisco Javier Alay MacDonald

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, noviembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

MIGRACIÓN DE GSM A UMTS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FRANCISCO JAVIER ALAY MACDONALD

ASESORADO POR EL INGENIERO ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino González
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
EXAMINADOR	Dr. Juan Carlos Córdova Zeceña
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MIGRACIÓN DE GSM A UMTS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 3 de abril de 2006.

Francisco Javier Alay MacDonald

Guatemala, 23 de Agosto de 2006

Ing. Julio Solares
Coordinador Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

Por este medio hago de su conocimiento de que he revisado el trabajo de graduación "**Migración de GSM a UMTS**", desarrollado por el estudiante **Francisco Javier Alay MacDonald**; con base a la revisión y corrección de dicho trabajo, considero que ha alcanzado los objetivos propuestos por los cual el estudiante y mi persona nos hacemos responsables del contenido del mismo.

Sin otro particular, me suscribo ante usted.

Atentamente:


Ing. Enrique Ruiz Garballo



Guatemala, 26 de octubre 2006.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **Migración de GSM a UMTS, desarrollado por el estudiante; Francisco Javier Alay MacDonald,** por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador Area de Electrónica

JCSP/sro





FACULTAD DE INGENIERIA

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; Francisco Javier Alay MacDonald titulado: **Migración de GSM a UMTS**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 27 DE OCTUBRE 2,006.



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: **MIGRACIÓN DE GSM A UMTS**, presentado por el estudiante universitario **Francisco Javier Alay MacDonald**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olyppo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre 7 de 2006

/gdech

Todo por ti, Carolingia Mía.
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Mis Padres Oscar Alay y Julieta de Alay.

AGRADECIMIENTO A:

Dios

Por estar conmigo en cada instante de mi vida y ser la luz que guía mis pasos para poder alcanzar mis metas.

Familia

A mis padres, Oscar y Julieta; por su apoyo incondicional, por motivarme en momentos difíciles y por ser la base de este triunfo que hoy veo culminado. Por su formación que ha definido mi personalidad y me ha convertido en un hombre de principios y virtudes; por ser ejemplo de trabajo, esfuerzo, honradez, rectitud.

A mis hermanos Héctor y Juan Pablo, por ser un ejemplo a seguir y compartir conmigo estos momentos de alegría en mi vida.

A mis tíos, primos y familia en general, por ser parte importante en mi vida.

Profesores y Profesionales

A mi asesor, Ing. Enrique Ruiz Carballo, por haberme guiado en el desarrollo de este trabajo, por ser un excelente docente y ser constante ejemplo de superación académica.

Al Ing. Héctor Robles, por su apoyo incondicional para poder lograr esta meta y ser un ejemplo como profesional y orientarme en mi futuro profesional-académico.

Mi Novia

Vivian Veliz, por estar a mi lado y apoyarme, tanto en momentos alegres como momentos difíciles y por enseñarme que cuando quieres realmente una cosa todo el universo conspira para ayudarte a conseguirla.

Compañeros y Amigos

A mis amigos en general, pero especialmente a Jorge Monterroso, Fredy Alvarez, David Crocker, Mario Silvestre, Kelvin Silvestre, Eduardo Alvarado, Karla Morataya, Tatiana y Josué, Andreita, Ricardo Del Cid, Jennifer Rodríguez, Maria José Vaidez, Alejandro Orozco, Daniel Orozco, Lester Pacheco, Miguel De León, Miguel Alvarez, Crystian Cante, David Hernández, Manuel Herrera, Pablo Malvasio, David Fuentes, Hiaym Leon; por su apoyo y su amistad incondicional en las diferentes etapas de mi vida y por compartir conmigo uno de los momentos más alegres en mi vida.

Facultad de Ingeniería

Por haberme brindado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
OBJETIVOS	XV
RESUMEN	XVII
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. DESCRIPCIÓN DE GSM	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Arquitectura de GSM	4
1.2.1 La Unidad Móvil o Estación Móvil (MS)	6
1.2.2 El Subsistema de Estación Base (BSS)	7
1.2.3 Subsistema de Conmutación de Red (NSS)	9
1.2.4 Base de Datos en GSM	10
1.2.4.1 El Home Location Register	10
1.2.4.2 Centro de Autenticación	10
1.2.4.3 <i>Visitor Location Register</i>	11
1.2.4.5 El registro de Identidad de Equipo o EIR	11
1.3 Tipos de Canales.	11
1.4 La Interfaz de Radio en GSM	13
1.4.1 Esquema de Modulación.	13
1.4.2 Portadoras de Radio.	13
1.4.3 Bandas de Frecuencias utilizadas por GSM.	13
1.5 Canales Físicos y Lógicos	14
1.5.1 Canales de Tráfico	16
1.5.2 Canales de Control	18

1.5.2.1 Canales Broadcast (BCH)	18
1.5.2.2 Canales de Control Comunes (CCCH)	20
1.5.2.3 Canales de Control Dedicado (DCCH)	21
1.6 Las ráfagas en GSM	23
1.7 <i>Frequency Hopping</i> o saltos de Frecuencia	25
1.8 <i>Handover</i>	26
1.8.1 Tipos de <i>Handover</i>	28
1.9 Autenticación	30
2. DESCRIPCIÓN DE GPRS Y EDGE	31
2.1 <i>General Packet Radio System</i> (GPRS)	31
2.1.1 Antecedentes	31
2.1.2 ¿Cómo Funciona?	31
2.1.3 Arquitectura de GPRS	32
2.1.3.1 Implementación	33
2.1.3.2 Esquemas de Codificación	33
2.1.3.3 Especificaciones	34
2.1.3.4 Terminales GPRS	35
2.1.3.5 Requisitos	36
2.1.3.6 Aplicaciones	37
2.1.3.7 Ventajas	37
2.1.3.8 Desventajas	38
2.2 EDGE	39
2.2.1 Antecedentes	39
2.2.2 Arquitectura de EDGE	39
2.2.2.1 Cambios en la Arquitectura para EDGE	40
2.2.3 Tecnología EDGE	41
2.2.4 Técnicas de modulación de EDGE	42
2.2.5 Esquemas de codificación y manejo de paquetes	44

2.2.6 Exactitud en la medición	44
2.2.7 Entrelazado	45
2.2.8 Impacto de EDGE en sistemas GSM/GPRS	46
2.2.8.1 Cambios en la arquitectura del protocolo de Transmisión	46
2.2.8.2 Evolución de GSM/EDGE hacia la alineación con WCDMA	47
3. EVOLUCIÓN DE GSM A UMTS	49
3.1 Introducción	49
3.2 Arquitectura de UMTS	50
3.2.1 RNC	52
3.2.2 Nodo B	54
3.3 W-CDMA	54
3.3.1 Introducción	54
3.3.2 Modulación	56
3.3.3 Codificación	56
3.3.4 Canales en UMTS	57
3.3.5 Control de Potencia	62
3.3.6 <i>Handover</i> en UMTS	63
3.3.7 Autenticación y Parámetros de Seguridad	64
4. CAPACIDADES DE DATOS PARA LA EVOLUCIÓN GSM A UMTS	67
4.1 Introducción	67
4.2 Capacidades Tecnologías	67
4.2.1 GPRS	68
4.2.2 EDGE	70
4.2.3 UMTS/WCDMA	73
4.2.4 HSDPA	75

4.3 Tecnologías comparadas	76
4.3.1 Comparación en rendimiento	76
4.3.2 Comparación en eficiencia Espectral	77
4.4 Caminos evolutivos desde GPRS a UMTS	79
5. DISEÑO DE REDES DE ACCESO EN SISTEMAS MÓVILES	
UMTS CON SOPORTE DE CALIDAD DE SERVICIO	83
5.1 Introducción	83
5.2 Fundamentos de UMTS	83
5.2.1 Protocolos UTRAN	83
5.2.2 Calidad de servicio UMTS	87
5.3 Dimensionando UTRAN	89
5.3.1 Carga de Tráfico	90
5.3.2 Modelos de Trafico	91
5.3.3 Parámetros de QoS	93
5.3.4 Estrategias de Multiplexion y Tipos de Conexiones	93
5.4 Diseño de la red de transmisión	95
5.4.1 Interfaces de Transmisión	95
5.4.2 Topología de la red de transmisión	96
CONCLUSIONES	99
RECOMENDACIONES	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
BIBLIOGRAFÍA	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Arquitectura de GSM	5
2	Arquitectura de la Red GSM/GPRS	33
3	Esquemas de codificación para GPRS y EGPRS	34
4	Cambios en GPRS para obtener EDGE	40
5	Esquema de modulación GSMK	42
6	Modulación 8PSK (3 bits por símbolo)	43
7	Entrelazado en EDGE	45
8	Arquitectura del protocolo del plano de transmisión	47
9	Arquitectura de UMTS	50
10	Arquitectura de UTRAN	51
11	GSM/WCDMA Arquitectura	55
12	Tamaño de la célula dependiendo del tráfico WCDMA	63
13	Estructura de ranuras de tiempo en GSM/GPRS	70
14	<i>Throughput</i> versus distancia para EGPRS/EDGE	72
15	Red UMTS Multi-radio	73
16	Comparación de Eficiencia espectral basada en <i>throughput</i> promedio	77
17	Comparación de eficiencia espectral basada en <i>throughput</i> del décimo percentil	78
18	Usuarios por sector en 10 MHz versus <i>throughput</i> promedio	79
19	Evolución GPRS a UMTS	80
20	Integración del Equipo Central de red UMTS y GSM/EDGE	81
21	Arquitectura de Protocolos UTRAN	84

22	Protocolos UTRAN del plano de usuario	85
23	Protocolo de adaptación ATM tipo 2 (AAL2)	86
24	Arquitectura de calidad de servicio UMTS	88
25	Modelo de fuente en tres niveles	92
26	Métodos básicos de diferenciación de tráfico	93
27	Funcionamiento de una interfaz IMA	96
28	Configuración topológicas de UTRAN	97
29	Ejemplo de topología UTRAN	98

TABLAS

I	Frecuencias de GSM	13
II	Canales de tráfico y lógicos en GSM	23
III	Ráfaga Normal GSM	25
IV	Ráfaga de Corrección de Frecuencia GSM	25
V	Clases de codificación en GPRS	35
VI	Características de GPRS	35
VII	GPRS y EDGE: Comparación de datos técnicos	41
VIII	Mapeo de Canales Lógicos	60
IX	Resumen de las capacidades de datos desde GSM a UMTS	68
X	Comparación de rendimiento de datos entre distintas tecnologías	76

GLOSARIO

A	Interfaz entre el MSC y el BSC en la arquitectura GSM.
Abis	Interfaz de comunicación entre el BSC y la BTS en la arquitectura GSM.
ARFCN	<i>Absolute Radio Frequency Channel Number</i> , (Número de Canal de Radio Frecuencia Absoluta). El ARFCN denota un par de canales " <i>uplink</i> " y " <i>downlink</i> " separados por 45 MHz y cada canal es compartido en el tiempo por hasta 8 usuarios usando TDMA.
BER	Tasa de Error de Bit.
EDGE	<i>Enhanced Data for Global Evolution</i> (Evolución de Datos Para la Evolución Global. Evolución de GPRS a tecnología de 3ra. Generación.
3GPP	Las siglas 3GPP corresponden a <i>3rd Generation Partnership</i> , un nuevo estándar destinado a distribuir contenidos multimedia en redes inalámbricas.
GMSK	<i>Gaussian minimum shift keying</i> y es el tipo de modulación usado en GSM.
Gateway	Una puerta de enlace, un nodo en una red informática que sirve de punto de acceso a otra red.
Iu	Interfaz de comunicación entre la Red Central y un RNC en la arquitectura en UMTS.
Iub	Interfaz de comunicación entre un Nodo B u un RNC en la arquitectura en UMTS.
Iur	Interfaz de comunicación entre 2 RNC en la arquitectura en UMTS.

ITU	<i>International Telecommunication Union</i> (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Con sede en Ginebra (Suiza), es una organización internacional del sistema de las Naciones Unidas en la cual los gobiernos y el sector privado coordinan los servicios y redes mundiales de telecomunicaciones.
8PSK	8 Phase Shift Keying, la cual produce una palabra de 3 bit por cada cambio en la fase de la portadora.
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i> , (Red de telefonía Pública Conmutada). Es una red con conmutación de circuitos tradicional optimizada para comunicaciones de voz en tiempo real.
QoS	<i>Quality of Service</i> (Calidad de Servicio). QoS es un conjunto de estándares y mecanismos que aseguran la calidad en la transmisión de los datos en programas habilitados para QoS.
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i> . Es una forma de modulación en la que la señal se envía en cuatro fases, 45, 135, 225, y 315 grados, y el cambio de fase de un símbolo al siguiente codifica dos bits por símbolo.
Roaming	Es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra
SS7	Sistema de señalización por canal común nº 7 (SS7) fueron desarrollados por AT&T a partir de 1975 y definidos como un estándar por el UIT-T en 1981 en la serie de Recomendaciones Q.7XX del UIT-T.
Um	Interfaz de comunicación entre el móvil y una BTS en la arquitectura GSM.

LISTA DE ABREVIATURAS

AuC	<i>Authenticacation Center</i> , (Centro de Autenticación).
AGCH	Canal de Autorización de Acceso.
AICH	Canal Indicador de Adquisición.
A-key	Clave de Autenticación.
ALL2	Protocolo ATM para lub, lur y lu-CS en UMTS.
ALL5	Protocolo ATM para lu-PS en UMTS.
AMPS	Sistema Avanzado de Telefonía Móvil.
AN	<i>Access Network</i> , (Red de Acceso).
ARFCN	Número de Canal de Radio Frecuencia Absoluta.
BCH	Canal Broadcast.
BCCH	Canal de Control de Broadcast.
BER	<i>Bit Error Rate</i> (Tasa de Error de Bit).
BS	<i>Base Station</i> (Estación Base).
BSC	<i>Base Station Controller</i> , (Controlador de Estaciones Base).
BSS	<i>Base Station Subsystem</i> , (Subsistema de Estación Base).
BTS	<i>Base Station Transceptor</i> , (Estación Basa Transceptora).
BW	Ancho de Banda.
CBCH	<i>Cell Broadcast Channel</i> .
CCH	Canal de Control.
CCCH	Canal de Control Común.
CCITT	<i>Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony</i> .
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> , (Acceso Múltiple por División de Código).
CSD	<i>Circuits Switched Data</i> , (Datos por Conmutación de Circuitos).

CPICH	Canal de Control Piloto.
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying.</i>
D-AMPS	<i>Digital AMPS.</i>
DCCH	Canal de Control Digital.
DCS1800	Digital Cellular System 1800.
DSCH	Canal Compartido del Enlace de Bajada.
DPCCH	Canal Físico de Control Dedicado.
DPDCH	Canal Físico Dedicado de Datos
EDGE	<i>Enhanced Data for Global Evolution</i> , (Evolución de Datos para la Evolución Global).
EIR	<i>Equipment Identity Register</i> , (Registro de Identidad de Equipo).
FACCH	Canal de Control Asociado Rápido.
FCCH	Canal de Corrección de Frecuencia.
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i> , (Duplex por División de Frecuencia).
FH	<i>Frequency Hopping</i> , (Salto de Frecuencia).
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Program.</i>
GERAN	<i>GSM/EDGE Radio Access Network.</i>
GMSC	Gateway MSC.
GSMK	<i>Gaussian Minimum Shift Keying.</i>
GPRS	<i>General Packet Radio System</i> , (Sistema de Radio Paquetes Generales).
GSM	Sistema Global para comunicaciones Móviles.
HR	High Rate, (Tasa Rápida).
HLR	<i>Home Location Register.</i>
IMEI	<i>International Mobile Equipment Identity</i> , (Identidad de Equipo Internacional Móvil).

IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i> , (Identidad de Subscriptor Internacional Móvil).
ITU	<i>International Telecommunications Union</i> , (Unión Internacional de Telecomunicaciones).
Ki	<i>Authentication Key</i> , (Llave de Autenticación).
MAC	Control de Acceso al Medio.
MAIO	Índice Offset de Alocacion del Móvil.
MAP	Parte de Aplicación Móvil.
MS	<i>Mobile Station</i> , (Estación Móvil).
MSC	<i>Mobile Switching Center</i> , (Centro de Conmutación Móvil).
Nodo B	Equivalente al BTS en GSM.
NSS	<i>Network Switching Subsystem</i> , (Subsistema de Conmutación de Red)
OMC	Centro de Operación y Mantenimiento.
OMSS	Subsistema de Operación y Mantenimiento.
OSS	Subsistema Operacional.
PCH	Canal de Voceo.
PCPCH	Canal Físico de Paquetes Comunes.
P-CCPCH	Canal Físico Primario de Control Común.
PDU	<i>Packet Data Unit</i> , (Unidad de Paquete de Datos).
PDSCH	Canal Físico Compartido del Enlace de Bajada.
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i> .
PRACH	Canal Físico de Acceso Aleatorio.
QoS	<i>Quality of Service</i> , (Calidad de Servicio).
RACH	Canal de Acceso Aleatorio.
RAND	Número de Acceso Aleatorio
RNC	<i>Radio Network Controller</i> , (Red de Control de Radio).
RNL	<i>Radio Network Layer</i> , (Capa de Red de Radio).
RSSI	Indicador de Fuerza de la Señal Recibida.

SACCH	Canal de Control Asociado Lento.
SCH	Canal de Sincronización.
SDCCH	Canal de Control Dedicado de Señalización.
S-CCPCH	Canal Físico Secundario de Control Común.
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i> , (Modulo de Identificación de Usuario).
SMS	<i>Short Message Service</i> , (Servicio de Mensajes Cortos).
SMSC	<i>Short Message Service Center</i> , (Centro de Servicio de Mensajes Cortos).
SRNC	Serving RNC.
SS7	Signaling System No. 7, (Sistema de Señalización No. 7).
TCH	Canal de Tráfico.
TCH/F	TCH Full-rate.
TCH/H	TCH Half-rate.
TDD	<i>Time Division Duplex</i> , (Duplex por División de Tiempo).
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> , (Acceso Múltiple por División de Tiempo).
TNL	<i>Transport Network Layer</i> (Capa de Red de Transporte)
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i> ,
UMTS	<i>Universal Mobile Communication System</i> , (Sistema Universal de Comunicaciones Móviles).
VLR	<i>Visitor Location Register</i> .
WCDMA	<i>Wide CDMA</i> , (CDMA de Banda Ancha).

OBJETIVOS

GENERAL

Describir la evolución de la tecnología de segunda generación de telefonía móvil GSM hacia la tecnología de tercera generación UMTS y las ventajas ofrecidas al utilizar una red UMTS Multi-radio.

ESPECÍFICOS

1. Describir la arquitectura, las principales características y capacidades tecnológicas de un sistema de telefonía móvil GSM y sus evoluciones hasta llegar a UMTS Multi-radio.
2. Realizar una comparación en rendimiento y eficiencia espectral entre la tecnología GSM/GPRS, GSM/EDGE y UMTS/WCDMA. Así como el aprovechamiento de la infraestructura de una red GSM para la evolución de la misma hacia UMTS.
3. Describir las funcionalidades de una red UMTS Multi-radio, y las ventajas que ofrece, incluyendo el diseño y dimensionado de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio.

RESUMEN

GSM es un estándar que fue creado en Europa y que fue adoptado por muchos países a nivel mundial, este sistema utiliza como forma de acceso múltiple una combinación de TDMA (*Time Division Multiple Access*, Acceso Múltiple por División de Tiempo) combinada con FDMA (*Frequency Division Multiple Access* o Acceso Múltiple por División de Frecuencia). Dentro de la arquitectura de una red GSM, se pueden identificar 4 subsistemas principales que son: La estación móvil (MS, *Movil Station*), el subsistema de estación base (BSS, *Base Station Subsystem*), el subsistema de red de conmutación (NSS, *Network Switching Subsystem*) y el centro de operación y mantenimiento (OSS, *Operation and Service Subsystem*). Dentro de la interfaz de radio en GSM se utiliza la modulación GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), que consiste en una variación en fase de 90 grados. En GSM la combinación de una ranura de tiempo y una frecuencia portadora forma lo que se conoce como canal físico, y un canal RF soporta 8 canales físicos modulados en GMSK. Toda la información de tráfico o de señalización se mapea en canales físicos designando canales lógicos. En GSM se utiliza saltos de frecuencia en los canales físicos para disminuir los efectos de interferencia y multicamino.

Posteriormente se creó un estándar basado en la interfaz de aire del sistema GSM, para la transmisión de paquetes vía radio que se denominó GPRS (*General Packet Radio System*), este estándar permite una adecuada integración de los protocolos de Internet con la red móvil ya existente (GSM). GPRS es un subsistema dentro de GSM que introduce la conmutación de paquetes de datos a GSM. GPRS ofrece una eficiente transmisión de paquetes y con un mejor aprovechamiento de los recursos de radio, debido a que cuando un paquete ha sido transmitido a través de la interfaz de aérea, los recursos de

radio pueden ser libreados para el uso por parte de otros usuarios. Para la implementación de GPRS en un sistema GSM se requiere la gestión de la movilidad específica en GPRS, la gestión de la red, así como una nueva interfaz aérea par el tráfico de paquetes, nuevas funciones de seguridad para la red troncal GPRS y un nuevo algoritmo de cifrado. Dentro de los principales componentes para un subsistema GPRS que se necesitan agregar a la red GSM están: el SGSN (*Serving GPRS Support Node*), que provee la conectividad con las BSC y el GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), que provee la conectividad con las redes de datos externas, como Internet.

La evolución de GPRS es EDGE (*Enhanced Data for Global Evolution*), que es un método para aumentar la transmisión de datos sobre el enlace de radio de GSM, aumentando su eficiencia espectral y dándole cabida a mucho mas aplicaciones para los usuarios móviles. EDGE introduce una nueva técnica de modulación y una nueva codificación de canal, por lo tanto EDGE es una agregado a GPRS y no puede trabajar por separado. La arquitectura de EDGE es la misma que en GPRS solamente con la introducción de una nueva unidad de control de paquetes y una actualización de software en el subsistema de estación base. En EDGE la misma ranura de tiempo puede soportar un mayor numero de usuarios, con esto disminuye los recursos de radio que se requieren para soportar el mismo trafico que en GSM/GPRS. Con EDGE se pueden transmitir tres veces más bits que GPRS durante el mismo periodo de tiempo. Se ha especificado EDGE para reutilizar la estructura, el ancho y la codificación del canal, las funcionalidades y los mecanismos de GPRS, lo que hace posible la integración de canales EDGE sobre un plan de frecuencias existentes y asignar canales EDGE de la misma forma como si fueran canales GSM estándar. Una de las ventajas principales que presenta EDGE es que si un paquete que fue enviado con un esquema de codificación mas alto y este no fue recibido adecuadamente, este puede ser retransmitido con un esquema de

codificación más bajo, esto si las nuevas condiciones del ambiente de radio lo requiere, es importante mencionar que en GPRS no es posible la resegmentación. La utilización de GERAN (*GSM/EDGE Radio Access Network*) proveerá un soporte mejorado para todas las clases de QoS definidos para UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

UMTS fue la propuesta de ETSI (Instituto Europeo de Normas y Telecomunicaciones) para tercera generación de telefonía celular, siendo este el sucesor de GSM. En UMTS se utiliza WCDAM (*Wideband Code Division Multiple Access* o CDMA de banda ancha), como técnica de acceso múltiple. UMTS utiliza la misma red central de GSM pero con una interfaz de radio diferente, esta interfaz de radio se conoce con el nombre de UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*). La arquitectura básica de UMTS esta compuesta básicamente por 3 partes fundamentales: los equipos de usuarios, la red de acceso y el núcleo de red. El núcleo de red en UMTS se plantea como la evolución del existente en las actuales redes GSM/GPRS, en UMTS se establece el empleo de ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) como tecnología de transporte en UTRAN, además UMTS recurre al empleo de técnicas de conmutación de paquetes. GSM y WCDMA pueden compartir un mismo núcleo de red, sus arquitecturas no son iguales, sin embargo son similares. WCDMA ofrece una mayor eficiencia espectral, mejores QoS y soporta mayores tasas de transmisión de bits. Con respecto al *Handover* y la autenticación, UMTS utiliza las mismas bases que en GSM.

En GSM el soporte para datos celulares se limita a aplicaciones de datos básicos, tales como mensajería, e-mail basado en texto, descarga de tonos de llamada y carece de suficiente conectividad para acceso eficiente a Internet. Cuando se agrega GPRS a GSM se hace factible un nuevo mundo de aplicaciones, como aplicaciones empresariales, navegación Web, y ciertas

aplicaciones multimedia. EDGE amplía la capacidad de GPRS, y aun más con UMTS los usuarios podrán acceder a teléfonos con video, música de alta fidelidad, aplicaciones multimedia, y un acceso sumamente efectivo. Es necesario que los servicios de datos sean flexibles, tengan alta eficiencia espectral, y den soporte a una amplia variedad de aplicaciones. Los servicios de datos que provee la evolución de GSM a UMTS cuentan exactamente con esa capacidad.

La red UMTS multi-radio es la que puede dar soporte a múltiples redes de radio-acceso, entre ellas GSM, GPRS, EDGE y WCDMA. Esta red brinda un máximo de flexibilidad a los operadores para la provisión de distintos servicios en sus áreas de cobertura. En una red UMTS multi-radio, los operadores pueden asignar canales EDGE a los usuarios de bajo ancho de banda y canales WCDMA a otros usuarios con mas requerimientos de ancho de banda, optimizando así el rendimiento y la eficiencia espectral general de la red, y maximizando la cantidad de aplicaciones para el usuario a las que puede dar soporte, debido a que EDGE promete ser el de mayor eficiencia espectral para *throughputs* (servicios) de datos inferiores y WCDMA la de mayor eficiencia espectral para *throughputs* de datos mas elevados. Las redes GSM y UMTS comparten muchos aspectos como la arquitectura de los paquetes, arquitectura de calidad de servicio, administración de la movilidad y la administración de la cuenta del abonado.

Al momento de dimensiona de UTRAN se toman en cuenta los recursos de transmisión y el soporte de QoS, analizando sus principales parámetros y alternativas de diseño a considerar en un escenario de despliegue real. UTRAN provee un cambio trascendental en relación con los actuales sistemas 2G, basados en conmutación de circuitos. Este cambio afecta la metodología de dimensionado, puesto que los clásicos modelos de *Erlang* utilizados en los

sistemas 2G no son de aplicación directa en la conmutación de paquetes. El dimensionado de UTRAN de basarse en los modelos desarrollados en el ámbito de las redes de multiservicio con garantías de QoS. En UMTS cada clase de tráfico impone un conjunto de requisitos de QoS, y los que mas claramente influyen en el dimensionado de UTRAN son el ratio de errores y el retardo máximo de transferencia. Al seleccionar la infraestructura de transmisión a emplear en UTRAN, se puede recurrir a cualquiera de las soluciones tradicionales: coaxial, fibra óptica o radio enlaces. Para el diseño de la topología de la red de acceso, al momento de interconectar todos los elementos que comprenden la red de acceso se pueden considerara varias alternativas, como la topología en cadena, la topología en estrella, la topología en anillo, topología mixta, etc.

INTRODUCCIÓN

La comunicación mediante dispositivos electrónicos ha evolucionado de una forma considerable en los últimos años. Desde los sistemas celulares analógicos hasta las propuestas para tercera y cuarta generación de telefonía móvil, que ya están siendo utilizadas en partes de Europa y Asia. Todas estas nuevas tecnologías ya no se enfocan tanto a la comunicación entre personas, el enfoque cada día está más dedicado a la comunicación entre objetos electrónicos, ya no a comunicación de voz sino a comunicaciones de datos. La implementación de nuevos servicios requieren una conexión mucho más rápida en lo que a datos se refiere, por eso se implementaron protocolos como *General Packet Radio System* o Sistema de Radio de Paquetes Generales (GPRS), que se puede implementar en sistemas 2G y 2.5G y posteriormente como *Enhanced Data for Global Evolution* o Datos mejorados para la Evolución Global (EDGE), EDGE se puede implementar para sistemas 2.5G y sirve para la transición de 2.5G a 3G, sin embargo, este tipo de comunicación sigue limitado por el ancho de banda y la capacidad de la red celular. El sistema GSM (Sistema Global para comunicaciones móviles) pertenece a 2G y 2.5G con la incorporación de GPRS (GSM/GPRS). Para la generación 2.5 se incluyó la conmutación de paquetes con GPRS. Es muy importante GSM porque es el sistema de mayor aceptación a nivel mundial, este sistema fue planeado desde el principio para toda Europa y fue adoptado por muchos más países. GSM tiene la cobertura más completa de todos los sistemas; para el diseño de sistemas de tercera generación, no se quiere desaprovechar esta infraestructura por lo que el sistema UMTS (*Universal Mobile Communications Standard*, Estándar universal de Comunicaciones Móviles) está pensado para sustituir al sistema GSM. El principal cambio, que se explica en este trabajo de graduación, es la interfaz aérea que cambia de TDMA combinada con saltos de

frecuencia para GSM a W-CDMA para UMTS. La migración desde la segunda generación de redes inalámbricas GSM, CDMA y TDMA a la nueva generación UMTS es solo cuestión de tiempo. La evolución GSM al Sistema Universal de Telecomunicaciones (UMTS) no solo da el soporte para una amplia gama de servicios de datos, sino que lo hace con un mínimo de inversión y una manera espectralmente eficiente que maximiza el potencial de ingresos y ganancias. Con la red UMTS Multiradio, una red central común da soporte a GSM, GPRS, EDGE, WCDMA y HSDPA, brindando alta eficiencia para velocidades de datos altas y bajas, así como para configuraciones de densidad de tráfico altas y bajas. En este trabajo de graduación, primero se ofrece una descripción de las tecnologías GSM, GPRS, EDGE y UMTS, así como las capacidades de datos y de los mecanismos empleados por los mismos. Los temas incluyen radio tecnología, la distribución de la red y las funcionalidades clave. Luego se cuantifica el rendimiento y la capacidad de estos servicios. Por último, el trabajo describe la forma en que los operadores pueden evolucionar de sus redes de GSM a UMTS, así como el diseño de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio.

La concepción del sistema UMTS viene condicionada por los requisitos de los servicios que ofrecerá esta nueva generación de redes móviles. Un primer aspecto a tener en cuenta es la gran diversidad de servicios que deberán ser soportados, algunos ni siquiera conocidos hoy en día. El soporte de aplicaciones de voz, datos, vídeo y, en general, servicios multimedia, con requisitos muy variados en lo que respecta al ancho de banda necesario y la tolerancia a factores como el retardo o las pérdidas, lleva a la necesidad de dotar a UMTS de mecanismos de QoS (*Quality of Service*, Calidad de Servicio). El problema no es trivial, especialmente cuando se plantea la necesidad de obtener una utilización eficiente de los recursos de la red. Este objetivo es esencial en aquellas partes de la red donde habitualmente es previsible la

escasez de recursos, como es el caso del interfaz radio y de la red de acceso (UTRAN, UMTS *Terrestrial radio Access Network*). La gestión eficiente de los recursos de radio es de capital importancia en toda red celular, y más aún en UMTS debido a la utilización de WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*).

El núcleo de red en UMTS se plantea como la evolución del existente en las actuales redes 2G basadas en GSM/GPRS y la reutilización de la infraestructura disponible en dichas redes.

1. DESCRIPCIÓN DE GSM

1.1 Antecedentes

GSM es el estándar europeo para telefonía celular desde segunda generación hasta 3G. Desde el principio de los años 80, después que en NMT (*Nordic Mobile Telephone*), sistema de telefonía móvil analógico de cobertura escandinava, funcionara con éxito, fue obvio para varios países europeos que los sistemas analógicos existentes, tenían limitaciones. El diseño de un nuevo sistema de telefonía celular requiere tal cantidad de investigación que ningún país europeo podía afrontarlo de forma individual. Todas estas circunstancias apuntaron hacia el diseño de un nuevo sistema, realizado en común entre varios países.

En 1982, la confederación de Correos y Telégrafos Europeos (CEPT) formó un grupo de estudio, llamado *Groupe Special Mobile* para estudiar y desarrollar un sistema telefónico móvil terrestre y publico, paneuropeo a 900MHz. Algunos propósitos del sistema estaban claros desde el principio: uno de ellos era que el sistema debía permitir la libre circulación de los abonados en Europa (*roaming*). Prácticamente hablando esto significa que un abonado de una determinada red nacional pueda acceder a todos los servicios cuando viaja entre varios países. La propia estación móvil GSM debe permitir al usuario el llamar y ser llamado donde quiera que se encuentre dentro del área internacional de cobertura. En 1989 fue transferida la responsabilidad de GSM al Instituto Europeo de Normas y Telecomunicaciones (ETSI) y en 1990 se publico la fase 1 de las especificaciones GSM. Este sistema tuvo la ventaja de haberse diseñado desde cero, sin importar si era compatible con los sistemas telefónicos celulares analógicos existentes. Después de las discusiones

iniciales, se crearon tres grupos de trabajo para lidiar con los aspectos de la definición del sistema, tiempo después se creó un cuarto grupo. En 1986, se estableció un sitio permanente en París para coordinar los esfuerzos realizados por los distintos grupos de trabajo, así como organizar las diferentes recomendaciones para el sistema. Comparado con los sistemas analógicos, éste nuevo sistema necesitaba una mayor capacidad, costo comparable o incluso menor y una mejor calidad en los servicios de voz.

Se asignó la banda de 890 – 915 MHz y 935 – 960 MHz para el sistema en Europa, sin embargo, cuando el sistema se instaló en algunos países, solo se podía hacer uso de una parte de las bandas asignadas, porque ya se contaba con sistemas analógicos utilizando parte de estas bandas.

Las características del medio de transmisión tenía un tamaño medio de la banda de transmisión (200 KHz de separación de portadoras), en comparación con los sistemas de banda estrecha (12.5 ó 25 KHz que existían en los sistemas analógicos); Transmisión digital de voz a una velocidad no mayor 16 KBPS; multiplexación en el tiempo de orden 8, con una evolución en el futuro hacia la multiplexación de orden 16 cuando se defina un codificador de voz a la mitad de velocidad; *Hopping* de frecuencias lento. El *hopping*, consiste en cambiar la frecuencia usada por un canal a intervalos regulares de tiempo. En GSM la frecuencia de transmisión permanece constante durante la transmisión de una trama completa. Esta técnica procede de los sistemas de transmisión militares, y se decidió incluirla en las principales características de la transmisión de radio de GSM, además de utilizarla por motivos de seguridad, también para conseguir una mayor diversidad de frecuencias.

Para la elección de la técnica de acceso múltiple, se decidió recibir diferentes propuestas de compañías y consorcios de varios países europeos, que sería evaluados como prototipos. Para Junio de 1987 se acordó que las características del nuevo sistema sería TDMA (*Time Division Multiple Access*) que podía soportar 8 canales por portadora con una eventual evolución a 16 canales por portadora.

El codec de voz fue elegido en base a una comparación subjetiva de seis diferentes codecs a 16 kbps. Dos tuvieron mucho mejor desempeño que los demás. Estos fueron los codec de predicción lineal residual y el codec de predicción lineal con multipulso. Estos dos codecs se fusionaron para generar uno RPE-LPC, con una tasa de bit neta de 13 kbps.

En el sistema ELAB se utilizaba ADPM pero se decidió cambiarlo por GSMK, debido a la mejor eficiencia espectral de este. Las especificaciones iniciales para GSM, estaban disponibles para mediados de 1988, las especificaciones fueron divididas en fase 1 y fase 2. La primera incluía servicios más comunes como llamada en espera y servicios de rendimiento. Como petición del Reino Unido se creó una versión para la banda 1800MHz, éste tomó el nombre de Sistema Celular Digital o DSC1800.

A finales de 1991, el enfoque del comité fue ampliado para incluir las especificaciones del sucesor de GSM, y por esta razón el nombre del comité cambió a *Special Movil Group*. El sistema que sucederá a GSM será UMTS. El servicio comercial GSM comenzó en 1991 y para 1993 había 36 redes en 22 países. América del Norte adaptó GSM para la banda de los 1900MHz. Los servicios que ofrece GSM se pueden clasificar en tres categorías: servicios de portador, tele servicios y servicios suplementarios. Algunos de los

servicios son comunicaciones por voz y comunicaciones de datos hasta 9600bps. El número total de canales disponibles dentro de los 25MHz de banda es de 125. Dado que cada canal de radio esta formado por 8 intervalos de tiempo, hacen un total de 1000 canales de trafico GSM.

1.2 Arquitectura de GSM

Para proporcionar comunicaciones inalámbricas dentro de una región particular geográfica, se debe emplear una red integrada de estaciones base para proporcionar la suficiente cobertura de radio a todos los usuarios móviles. Las estaciones base, a su vez, deben estar conectadas a un eje central llamado Centro de Conmutación Móvil (MSC). El MSC proporciona una conectividad entre la Red Telefónica de Conmutación Publica (PSTN) y las numerosas estaciones base, y por ultimo, entre todos los abonados móviles en un sistema. La PSTN forma la red de telecomunicaciones global que interconectan los centros de conmutación de telefonía convencional, con los MSCs de todo el mundo.

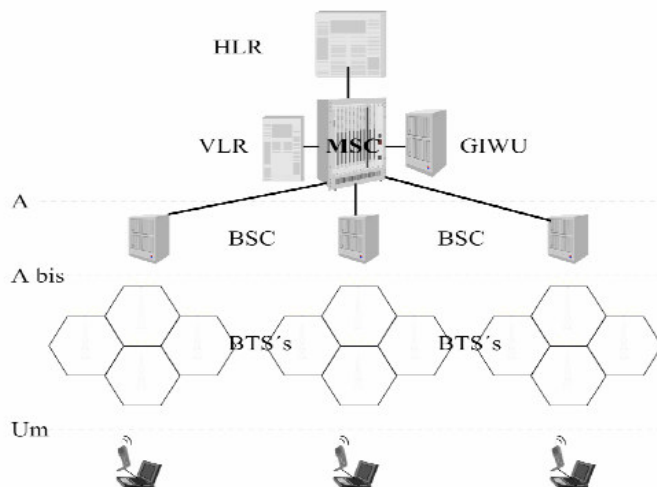
Para conectar a los abonados con las estaciones base, se establecen enlaces de radio usando un protocolo de comunicación cuidadosamente bien definido, llamado interfaz de radio. La interfaz de radio debe asegurar una gran fiabilidad en el canal para asegurar que los datos se envían y se reciben correctamente entre el móvil y la estación base, y es por ello por lo que se realiza una codificación de la voz y una codificación de canal.

En la estación base, los datos de señalización y sincronización se descartan, y el resto de información de voz (o datos), se pasan a través del MSC hasta las redes fijas. Mientras que cada estación base puede gestionar del

orden de unas 50 llamadas simultaneas, una MSC típica es responsable de conectar hasta 100 estaciones base a la PSTN (hasta 5000 llamadas a la vez), y es por eso que la interfaz entre el MSC y la PSTN requiere una gran capacidad en cualquier instante de tiempo. Está claro que las estrategias de red y los estándares pueden variar mucho dependiendo si se esta sirviendo a un circuito simple de voz, o a una población metropolitana completa.

Dentro de una breve descripción de la organización o arquitectura de GSM, se pueden identificar los siguientes subsistemas: La Estación Móvil (*Mobile Station* o MS) y el Subsistema de la Estación Base (*Base Station Subsystem* o BSS). El Subsistema de Conmutación de Red (*Network Switching Subsystem* o NSS) debe gestionar las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a otro tipo de redes (como puede ser la PTSN), o a otras estaciones móviles. Además tendríamos el Centro de Operaciones y Mantenimiento (*Operation and Service Subsystem* o OSS). Las MS, BSS y la NSS forman la parte operacional del sistema, mientras que el OSS proporciona los medios para que el operador los controle. La arquitectura de GSM se detalla en la figura 1.

Figura1. Arquitectura de GSM [4]



1.2.1 La unidad Móvil o Estación Móvil (MS)

Un suscriptor utilizará su estación móvil para hacer y recibir llamadas vía la red GSM. La MS está compuesta de dos diferentes entidades diferentes, el SIM o *Subscriber Identity Module*, que es una tarjeta inteligente removible la cual contiene toda la información que es específica para cada usuario, la otra entidad es el móvil en si, que es en esencia el móvil sin su SIM.

La MS se puede dividir en bloques funcionales: el equipo terminal, el móvil terminal y el adaptador terminal. El equipo terminal se encarga de las funciones específicas de un servicio en particular, la terminal móvil realiza todas las funciones relacionadas con la transmisión de información a través de la interfaz aérea de GSM, y finalmente el adaptador terminal que se utiliza para asegurar la compatibilidad entre éste y la terminal móvil.

En el SIM se almacena información específica para cada usuario de la red, entre ésta información se incluye el número único de identificación internacional del suscriptor o IMSI por sus siglas en inglés. Este número se utiliza para identificar al usuario dentro de la red GSM y consta de 15 dígitos decimales. Los primeros 3 dígitos forman el código de país y sirve para identificar la red local de usuario. Los cargos al usuario siempre serán por medio de su red local aunque incurra en gastos de redes externas. Los siguientes dos dígitos de IMSI, forman el código de red móvil o MNC que identifica la red a la que el usuario está inscrito en su país. Gracias al SIM se pueden resolver algunos problemas de *roaming*, aunque GSM900 y DCS1800 son la misma red a diferentes frecuencias, un usuario de una de estas redes no puede continuar con el servicio en la otra a menos que cuente con una unidad con modo dual. Para solucionar esto se puede simplemente rentar una unidad

móvil de la región que se visite, utilizando el mismo SIM para conservar el número pero con la unidad móvil que es compatible con la red.

1.2.2 El Subsistema de Estación Base (BSS)

La BSS agrupa la infraestructura específica a los aspectos celulares de GSM. El BSS esta en contacto directo con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio. Por lo tanto, incluye las maquinarias encargadas de la transmisión y recepción de radio, y su gestión. Por otro lado, el BSS esta en contacto con los conmutadores del NSS. La misión del BSS se puede resumir en conectar la estación móvil y el NSS, por lo tanto, conecta al usuario del móvil con otros usuarios. El BSS tiene que ser controlado, y por lo tanto debe estar en contacto con el OSS.

De acuerdo con la estructura de GSM, el BSS incluye dos componentes: la BTS (*Base Transceiver Station* o Estación Base Transceptora), en contacto con las estaciones móviles a través de la interfaz de radio, el BSC (*Base Station Controller* o Controlador de las Estación Base), en contacto con los conmutadores del NSS.

Una BTS lleva los dispositivos de transmisión y recepción por radio, incluyendo las antenas, y también todo el procesado de señales específico en la interfaz de radio. Las BTS se pueden considerar como complejos módems de radio, con otras pequeñas funciones. Una BTS típica de la primera generación consistía en pequeños armarios conteniendo todos los dispositivos electrónicos para las funciones de transmisión y recepción. Las Antenas tiene generalmente unas pocas decenas de metros, y los armarios se conectan a ellas por unos cables de conexión. Una BTS de este tipo era capaz de mantener

simultáneamente 3 ó 5 portadoras de radio, permitiendo entre 20 y 40 comunicaciones simultaneas. Actualmente el volumen de las BTS se ha reducido considerablemente, esperándose un gran avance en este campo dentro de GSM.

Un componente importante del BSS, que está considerado en la arquitectura de GSM dentro de la BTS es la TRAU (Unidad Transcoder y Adaptadora de Velocidad). La TRAU es el equipo en el cual se lleva a cabo la codificación y descodificación de la voz, así como la adaptación de velocidades en el caso de los datos.

El segundo componente del BSS es el BSC. Está encargado de toda la gestión de la interfaz de radio a través de comandos remotos sobre la BTS y el MS, principalmente, la gestión de la localización de los canales de trafico y de la gestión del *handover*. El BSC esta conectado por un lado a varios BTSs y por otro lado al NSS, mas específicamente a un MSC.

Un BSC es en definitiva un pequeño conmutador con gran capacidad de computo. Sus funciones principales, como ya lo hemos dicho son la gestión de los canales de radio y de los *handover*. Una BSC típica consiste en uno o dos armarios, y puede gestionar hasta algunas decenas de BTSs, dependiendo de su capacidad de tráfico.

El concepto de la Interfaz entre el BSC y el MSC (NSS) se le conoce como interfaz A, y se introdujo al principio de la elaboración del estándar GSM, solamente después se decidió estandarizar también la interfaz entre la BTS y la BSC, y de llamó interfaz Abis. La interfaz de comunicación entre la unidad móvil y la BTS se llama interfaz Um.

1.2.3 El Subsistema de Conmutación de Red (NSS)

El NSS incluye las principales funciones de conmutación en GSM, así como las bases de datos necesarias para los datos de los abonados y para la gestión de la movilidad. La función principal del NSS es gestionar las comunicaciones entre los usuarios GSM y los usuarios de otras redes de telecomunicaciones. Dentro del NSS, las funciones básicas de conmutación están realizadas por el MSC (Centro de Conmutación de servicios Móviles), cuya función principal es coordinar el establecimiento de llamadas hacia y desde los usuarios GSM. El MSC tiene interfaces con el BSS por un lado (a través del cual está en contacto con los usuarios GSM), y con redes externas por el otro. La interfaz con las redes externas requiere un "gateway" para la adaptación (Funciones de "*Interworking*").

El NSS también necesita conectarse a las redes externas para hacer uso de su capacidad de transportar datos o señalización entre entidades GSM. En particular el NSS hace uso de un tipo de señalización parcialmente externo a GSM, que sigue el sistema de señalización del CCITT no. 7 (que usualmente se conoce como la red SS7); esta red de señalización habilita el trabajo interactivo entre máquinas del NSS dentro de una o varias redes GSM.

Como parte del equipo, un MSC controla unos cuantos BSCs y es normalmente bastante grande. Un MSC típico de hace unos 5 años era capaz de cubrir una capital mediana y sus alrededores, totalizando una cobertura de cerca de 1 millón de habitantes. Un MSC incluye cerca de media docena de armarios de conmutación.

Además de los MSCs, el NSS incluye las bases de datos. La información del abonado relativa al suministro de los servicios de telecomunicación está situada en el Registro de Usuarios Locales ("*Home Location Register*" ó HLR), independientemente de la posición actual del abonado. La segunda función de bases de datos identificada en GSM es el VLR (Registro de Usuarios Visitantes), asociado a uno o más MSCs.

Pero el NSS contiene más elementos que los MSCs, VLRs y HLRs. Para establecer una llamada hacia un usuario GSM, la llamada es primero encaminada a un conmutador *gateway* llamado GMSC (Getway MSC), sin ningún conocimiento de dónde está el abonado. Los GMSCs están encargados de buscar la información sobre la posición y encaminar la llamada hacia el MSC a través del cual el usuario obtiene servicio en ese momento.

1.2.4 Bases de Datos en GSM

1.2.4.1 El Home Location Register o Registro Local

Se utiliza para almacenar información de los usuarios pertenecientes a la red local, como pueden ser los servicios a los que puede tener acceso, y cierta información acerca de la ubicación de cada usuario. La información puede ser consultada utilizando el IMSI. Todo usuario de la red estará registrado en el HLR de su red local. La interfaz entre MSC y HLR es conocida como interfaz C.

1.2.4.2 Centro de Autenticación

Otra base de datos que guarda la red es el centro de autenticación o AuC. Este se utiliza únicamente para cuestiones de seguridad de la red. Contiene

información para identificar al usuario y la encriptación utilizada. Siempre está en comunicación con el MSC y hace esto mediante la interfaz H.

1.2.4.3 Visitor Location Register o Registro de Usuarios Visitantes

Esta es una base de datos, que cuenta de manera temporal con la información de un usuario que no pertenece a su región, esto con la finalidad de evitar consultar de manera continua al HLR del usuario que se encuentra en *roaming*. En GSM esto tiene una gran importancia, debido a que en gran parte del mundo ya se cuenta con este tipo de red y gracias a este registro se puede localizar el móvil en la eventualidad de recibir una llamada. La interfaz entre HLR y VLR se conoce como interfaz D, entre MSC y VLR Interfaz B, entre diferentes VLR Interfaz G.

1.2.4.4 El registro de Identidad de Equipo o EIR

Es otra base de datos de la red. Esta base de datos se compone de tres listas, primero la lista blanca, que contiene los IMEI o identidad internacional del equipo móvil de los móviles que pueden utilizar la red GSM, la lista negra que contiene los equipos que pueden estar con algún mal funcionamiento o equipos robados, y por ultimo la lista gris que es para los equipos que están siendo monitoreados para evaluación.

1.3 Tipos de Canales

La interfaz de Radio entre el móvil y BSS utiliza el Protocolo de Acceso al Enlace en canal Dm. Cada canal físico soporta varios canales lógicos usados para tráfico y señalización. Las especificaciones de GSM definen una gran

variedad de canales lógicos, que pueden ser usados para enlazar la capa física con la capa de datos dentro de las capas de la red GSM. Estos canales lógicos transmiten eficientemente los datos de usuario, a parte de proporcionar el control de la red en cada ARFCN o Número de Canal de Radio Frecuencia Absoluto. GSM proporciona asignaciones explícitas de los slots o ranuras de tiempo de las tramas para los diferentes canales lógicos.

Los canales lógicos se pueden separar en dos categorías principales: Canales de tráfico, estos pueden ser de tasa completa o media tasa (dependiendo si contiene voz codificada o datos a la velocidad del canal). Canales de Control, se dividen en tres categorías: Difusión o Broadcast, Canales Comunes y Dedicados.

A su vez, el canal de Broadcast se divide en otros tres tipos de canales: Broadcast, Corrección de Frecuencia y Canal de Sincronización.

La interfaz Abis se encuentra entre la BTS y BSC soporta dos tipos de comunicación: canales de tráfico a 64 kbps o de 16 kbps para tráfico y señalización. Las primeras tres capas están basadas en las capas física, enlace de datos, y la capa de red del modelo OSI. De BSC a MSC se utiliza una conexión de 2Mbps que se conoce como Interfaz A. Para conectarse con otras redes el MSC utiliza el MAP, que utiliza el TCAP de SS7.

1.4 La Interfaz de Radio en GSM

1.4.1 Esquema de Modulación.

La modulación que se utiliza en GSM es GMSK o *Gaussian Minimum Shift Keying*, con un ancho de banda normalizado de 0.3 y una tasa de símbolos alrededor de 271kb/s. GMSK se basa en una variación mínima ya que la amplitud de la señal no cambia, lo que cambia es la fase en 90 grados y con esto se obtiene el 0 ó el 1 lógico.

1.4.2 Portadoras de Radio

GSM utiliza un combinando de TDMA y FDMA. El rango de frecuencias disponibles se divide en un número de bandas de 200 KHz de ancho cada una de estas bandas pueden ser ocupadas por una portadora modulada mediante GMSK, que soporta un número determinado de ranuras de tiempo.

1.4.3 Bandas de frecuencia utilizadas por GSM

Tabla I. Frecuencias de GSM

Banda de Frecuencia	Bandas Disponibles	Disponibilidad
400 MHz	450.4 - 457.6 MHz / 460.4 - 467.6 MHz 478.8 - 486.0 MHz / 488.8 - 496.0 MHz	Europa
800 MHz	824 - 849 MHz / 869 - 894 MHz	América
900 MHz	880 - 915 MHz / 925 - 960 MHz	Europa, Asia, Pacífico, África
1800 MHz	1710 - 1785 MHz / 1805 - 1880 MHz	Europa, Asia, Pacífico, África
1900 MHz	1850 - 1910 MHz / 1930 - 1990 MHz	América

En la tabla I se muestra las bandas de frecuencia en las cuales se implementa GSM y los países en los cuales utilizan GSM en estos rangos de

frecuencia. El primer rango que aparece en la tabla es para los enlaces de subida y el segundo rango corresponde a los enlaces de bajada.

Cada frecuencia de portadora tiene asignado un número absoluto de canal de radio frecuencia o ARFCN. Cada ARFCN identifica la frecuencia en la que está transmitiendo. Además de la separación que existe entre las ráfagas de subida y de bajada en el sistema, existe una separación de 3 ranuras de tiempo entre ellos. Esto evita que el móvil tenga que transmitir y recibir simultáneamente.

1.5 Canales Físicos y Lógicos

La combinación de una ranura de tiempo y de una frecuencia portadora forma lo que se conoce como canal físico. Un canal de RF soporta 8 canales físicos en GSM. La información ya sea tráfico de usuario o señales de control se mapea en los canales físicos designando canales lógicos.

GSM utiliza dos bandas de 25 MHz para transmitir y para recibir. GSM usa FDD (Duplex por División en Frecuencia) y usa una combinación de TDMA y FHMA (Acceso Múltiple por Saltos de Frecuencia) para proporcionar a las estaciones base y a los usuarios un acceso múltiple. Las bandas de frecuencia superiores e inferiores se dividen en canales de 200KHz llamados ARFCN (Número de Canal de Radio Frecuencia Absolutos). El ARFCN denota un par de canales *uplink* (transmisiones desde el MS hasta la BTS) y *dowlink* (transmisiones desde la BTS a el MS) separados por 45 MHz y cada canal es compartido en el tiempo por hasta 8 usuarios TDMA.

Cada uno de los 8 usuarios usa el mismo ARFCN y ocupan un único slot de tiempo (TS) por trama. Las transmisiones de radio se hacen a una velocidad

de 270.833 kbps usando modulación binaria GMSK con $BT=0.3$. El BT es el producto del ancho de banda del filtro por el periodo de bit de transmisión. Por lo tanto la duración de un bit es de 3.692 ms, y la velocidad efectiva de transmisión de cada usuario es de 33.854 kbps (270.833 kbps/8 usuarios). Con el estándar GSM, los datos se envían actualmente a una velocidad máxima de 24.7 kbps. El número total de canales disponibles dentro de los 25 MHz de banda es de 125. Dado que cada canal de radio esta formado por 8 slot de tiempo, hacen un total de 1000 canales de tráfico en GSM. En implementaciones prácticas, se proporciona una banda de guarda de la parte más alta y más baja del espectro de GSM, y disponemos tan solo de 124 canales. La combinación de un número de TS y un ARFCN constituyen un canal físico tanto para el *uplink* y *downlink*. Cada canal físico en un sistema GSM se puede proyectar en diferentes canales lógicos en diferentes tiempos. Es decir, cada TS específico o trama debe estar dedicado a manipular el tráfico de voz y datos, o a señalizar (desde el MSC, la estación base o el MS). Las especificaciones GSM definen una gran variedad de canales lógicos que pueden ser usados para enlazar la capa física con la capa de datos dentro de las capas de la red GSM. Estos canales lógicos transmiten eficientemente los datos del usuario, aparte de proporcionar el control de la red en cada ARFCN. GSM proporciona asignaciones explícitas de los slots de tiempo de las tramas para los diferentes canales lógicos.

Los canales lógicos se pueden separar en dos categorías principalmente: Los canales de tráfico y los canales de control.

Los canales de tráfico llevan la voz codificada digitalmente o datos y tienen funciones idénticas y formatos tanto para el *downlink* como para el *uplink*. Los canales de control llevan comandos de señalización y control entre la

estación base y la estación móvil. Se definen ciertos tipos de canales de control exclusivos para el *uplink* o para el *downlink*.

1.5.1 Canales de Tráfico

Los canales de tráfico en GSM pueden ser de velocidad completa (*full-rate*) o de media velocidad (*half-rate*), y pueden llevar voz digitalizada o datos de usuario. Cuando transmitimos a velocidad completa, los datos están contenidos en TS por trama. Cuando transmitimos a media velocidad, los datos de usuario se transportan en el mismo TS de tiempo, pero se envían en tramas alternativas. En GSM, los datos TCH (Traffic Channel) no se pueden enviar en el TS 0 sobre ciertos ARFCNs ya que este TS está reservado para los canales de control en la mayoría de las tramas. Además, cada trece tramas de TCH se envía un canal de control asociado lento (SACCH) o tramas *idle*. A cada grupo de 26 tramas consecutivas TDMA se llama multitrama. De cada 26 tramas, la decimotercera y la vigésimo sexta se corresponden con datos SACCH o tramas *idle*. La vigésimo sexta trama contiene bits idle para el caso cuando se usan TCHs a velocidad completa, y contienen datos SDCCH cuando se usa TCHs de media velocidad.

Los TCHs se pueden usar para llevar voz codificada o datos de usuario. Se definen en GSM dos formas generales de canales de tráfico:

- ✓ Canal de tráfico a velocidad completa (TCH/F). Este canal transporta información a una velocidad de 22.8 kbps.
- ✓ Canal de tráfico de media velocidad (TCH/H). Este canal transporta información a una velocidad de 11.4 kbps.

Para transportar voz codificada se van a utilizar dos tipos de canales:

- ✓ Canal de tráfico a velocidad completa para voz (TCH/FS). Lleva voz digitalizada a 13 kbps. Después de la codificación del canal la velocidad es de 22.8 kbps.
- ✓ Canal de tráfico a media velocidad (TCH/HS). Ha sido diseñado para llevar voz digitalizada que ha sido muestreada a la mitad que la de un canal a velocidad completa. En este aspecto GSM se ha anticipado a la disponibilidad de codificadores normalizados de voz a velocidades de unos 6.5 kbps. Después de la codificación del canal, la velocidad es de 11.4 kbps.

Para llevar datos de usuario se definen los siguientes tipos de canales de tráfico:

- ✓ Canal de tráfico de velocidad completa para datos a 9.6 kbps (TCH/F9.6). Lleva datos de usuario enviados a 9.6 kbps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 kbps.
- ✓ Canal de tráfico a velocidad completa para datos a 4.8 kbps (TCH/F4.8). Lleva datos de usuario enviados a 4.8 kbps. Con la codificación de corrección de errores aplicada en el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 kbps.
- ✓ Canal de tráfico a velocidad completa para datos a 2.4 kbps (TCH/F2.4). Lleva datos de usuario enviados a 2.4 kbps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 kbps.
- ✓ Canal de tráfico a media velocidad para datos a 4.8 kbps (TCH/H4.8). Lleva datos de usuario enviados a 4.8 kbps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 11.4 kbps.

- ✓ Canal de tráfico a media velocidad para datos a 2.4 kbps (TCH/H4.8). Lleva datos de usuario enviados a 2.4 kbps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 11.4 kbps.

1.5.2 Canales de Control

Se definen tres categorías de canales de control: difusión (*broadcast* ó BCH), comunes (CCCH) y dedicados (DCCH). Cada canal de control consiste en varios canales lógicos distribuidos en el tiempo para proporcionar las funciones de control necesarias en GSM. Los canales de control *dowlink* BCH y CCCH se implementan sólo en ciertos canales ARFCN y se localizan en slots de tiempo de una forma específica. Concretamente, estos canales se localizan solo en el TS 0 y se emiten solo durante ciertas tramas dentro de una secuencia repetitiva de 51 tramas (llamada multitrama de control del canal) sobre aquellos ARFCNs que se diseñan como canales *broadcast*. Desde el TS1 hasta TS7 se llevan canales de tráfico regulares. En GSM se definen 34 ARFCN como canales *broadcast* estándar. Para cada canal *broadcast*, la trama 51 no contiene ningún canal *downlink* BCH o CCCH y se considera como una trama *idle*. Sin embargo, el canal *uplink* CCCH puede recibir transmisiones durante el TS 0 de cualquier trama. Por otra parte, los datos DCCH se pueden enviar durante cualquier TS y en cualquier trama, y existen tramas completas dedicadas específicamente para algunas transmisiones DCCH.

1.5.2.1 Canales Broadcast (BCH)

El BCH opera en el *dowlink* de un ARFCN específico dentro de cada celda, y transmite datos sólo en el primer TS (TS 0) de algunas tramas GSM. Al contrario que los TCHs que son *duplex*, los BCHs solo usan el *dowlink*. El BCH

sirve como un canal guía para cualquier móvil cercano que lo identifique y se enganche a él. El BCH proporciona sincronización para todos los móviles dentro de la celda y se monitoriza ocasionalmente por los móviles de celdas vecinas para recibir datos de potencia y poder realizar las decisiones de *handover*. Aunque los datos de BCH se transmiten en el TS 0, los otros siete TS de una trama GSM del mismo ARFCN están disponibles para datos TCH, DCCH.

Dentro de los canales BCH se definen tres tipos de canales separados que tienen acceso al TS0 durante varias tramas de la multitrama de control formada por 51 tramas.

Canal de Control de Broadcast (BCCH): El BCCH es un canal *downlink* que se usa para enviar información de identificación de celda y de red, así como características operativas de la celda que podría ser como la información de la estructura actual de canales de control, disponibilidad de canales, y congestión. El BCCH también envía una lista de canales que están en uso en una celda. Desde la trama 2 a la 5 de una multitrama de control están contenidos los datos BCCH.

Canal Corrector de Frecuencia (FCCH): El FCCH es una ráfaga de datos que se ocupa el TS 0 para la primera trama dentro de la multitrama de control, y que se repite cada diez tramas. El FCCH permite a cada estación móvil sincronizar su frecuencia interna de oscilación a la frecuencia exacta de la estación base.

Canal de Sincronización (SCH): El SCH se envía en el TS 0 de la trama inmediatamente después del FCCH y se usa para identificar a la estación base servidora mientras que permite a cada móvil la sincronización de las

tramas con la estación base. El número de trama (FN), que oscila entre 0 hasta 2,715,647, se envía con el código de identificación de la estación base (BSCI) durante la subtrama SCH. El BSCI es asignado individualmente a cada BTS en un sistema GSM. Dado que un móvil puede estar hasta a 30 kilómetros de la BTS, es necesario frecuentemente ajustar la temporización de un usuario móvil particular de forma que la señal recibida en la estación base se sincroniza con el reloj de la estación base.

1.5.2.2 Canales de Control Comunes (CCCH)

En aquellos ARFCN reservados para BCH, los canales de control comunes ocupan el TS0 de cada trama que no esté ocupada por los BCHs o por tramas *idle*. Un CCCH puede estar formado por tres tipos diferentes de canales: el canal de búsqueda (PCH) *downlink*, el canal de acceso aleatorio (RACH) *uplink* y el canal de acceso concedido (AGCH) *downlink*. Los canales CCCH son los más comunes dentro de los canales de control y se usan para buscar a los abonados, asignar canales de señalización a los usuarios, y recibir contestaciones de los móviles para el servicio, se describen a continuación.

Canales de Búsqueda (PCH): El PCH proporciona señales de búsqueda a todos los móviles de una celda, y avisa a los móviles si se ha producido una llamada procedente de la PTSN. El PCH transmite el IMSI (identificación del Abonado Móvil Internacional) del abonado destino, junto con la petición de reconocimiento de la unidad móvil a través de un RACH. Alternativamente, el PCH se puede usar para proporcionar envíos de mensajes tipo ASCII en las celdas, como parte del servicio SMS de GSM.

Canales de Acceso Aleatorio (RACH): El RACH es un canal *uplink* usado por el móvil para confirmar una búsqueda procedente de un PCH, y también se usa para originar una llamada. El RACH usa un esquema de acceso *slotted* ALOHA. Todos los móviles deben de pedir acceso o responder a una petición por parte de un PCH dentro del TS 0 de una trama GSM. En la BTS, cada trama aceptará transmisiones RACH de los móviles durante el TS 0. Para establecer el servicio, la estación base debe responder a la transmisión RACH dándoles un canal de tráfico y asignando un canal de control dedicado (SDCCH) para la señalización durante la llamada. Esta conexión se confirma por la estación base a través de un AGCH.

Canal de Acceso Concedido (AGCH): El AGCH se usa por la estación base para proporcionar un enlace de comunicaciones con el móvil, y lleva datos que ordenan al móvil operar en un canal físico en particular en un (determinado TS y en un ARFCN) con un canal de control dedicado. El AGCH es el ultimo mensaje de control enviado por la estación base antes de que el abonado sea eliminado del control del canal de control. El AGCH se usa por la estación base para responder a un RACH enviado por un MS en la trama CCCH previa.

1.5.2.3 Canales de Control Dedicado (DCCH)

Hay tres tipos de canales de control dedicado en GSM, y , como los canales de trafico son bidireccionales y tienen el mismo formato y funcionan en el *uplink* y en el *dowlink* Como los TCHs, los DCCHs pueden existir en cualquier slot de cualquier ARFCN excepto en el TS 0 de los ARFCN de los BCHs. Los Canales de Control dedicado (SDCCH) se usan para proporcionar servicios de señalización requeridos por los usuarios. Los Canales de Control Asociados Lentos y Rápidos (SACCH y FACCH) se usan para supervisar las transmisiones de datos entre la estación móvil y la estación base durante una llamada.

Canal de Control Dedicado de Señalización (SDCCH): El SDCCH lleva datos de señalización siguiendo la conexión del móvil con la estación base, y justo antes de la conexión lo crea la estación base. El SDCCH se asegura que el MS y la estación base permanezcan conectados mientras la estación base y el MSC verifica la unidad del abonado y localiza los recursos para el móvil. El SDCCH se puede pensar como un canal intermedio y temporal que acepta una nueva llamada procedente de un BCH y mantiene el tráfico mientras que esta esperando que la estación base asigne un canal TCH. El SDCCH se usa para enviar mensajes de autenticación y de alerta. A los SDCCH se les puede asignar su propio canal físico o pueden ocupar el TS 0 del BCH si la demanda de BCHs o CCCHs es baja.

Canal de Control de Asociado Lento (SACCH): El SACCH está siempre asociado a un canal de tráfico o a un SDCCH y se asigna dentro del mismo canal físico. Por tanto, cada ARFCN sistemáticamente lleva datos SACCH para todos sus usuarios actuales. El SACCH lleva información general entre el MS y la BTS. En el *downlink*, el SACCH se usa para enviar información lenta pero regular sobre los cambios de control al móvil, tales como instrucciones sobre la potencia a transmitir e instrucciones específicas de temporización para cada usuario del ARFCN. En el *uplink*, lleva información acerca de la potencia de la señal recibida y de la calidad del TCH, así como las medidas BCH de las celdas vecinas. El SACCH se transmite durante la decimotercera trama (y la vigésima sexta si es de media velocidad) de cada multitrama de control y dentro de esta, los 8 TS se usan para proporcionar datos SACCH a cada uno de los 8 usuarios del ARFCN.

Canal de Control Asociado Rápido (FACCH): El FACCH lleva mensajes urgentes, y contienen esencialmente el mismo tipo de información que los SDCCH. Un FACCH se asigna cuando un SDCCH no se ha dedicado

para un usuario particular y hay un mensaje urgente, como una respuesta de *handover*. El FACCH gana tiempo de acceso a un slot utilizando tramas del canal de tráfico al que esta asignado. Esto se hace activando dos bits especiales, llamados bits de robo de una ráfaga TCH. Si se activan los bits de robo, el slot sabe que contiene datos FACCH y no de un canal de tráfico, para esa trama.

Tabla II. Canales de tráfico y lógicos en GSM

Canal	Nombre	Tipo de Direccionamiento
Canal de voz de Tasa Completa	TCH/FR	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de datos de Tasa Completa 9600bps	TCH/F9.6	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de datos de Tasa Completa 4800bps	TCH/F4.8	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de datos de Tasa Completa 2400bps	TCH/F2.4	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de voz DE Media Tasa	TCH/HR	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de datos de Media Tasa 4800bps	TCH/H4.8	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de datos de Media Tasa 2400bps	TCH/2.4	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de Broadcast	BCCH	Enlace de Bajada
Canal de Corrección de Frecuencia	FCCH	Enlace de Bajada
Canal de Sincronización	SCH	Enlace de Bajada
Canal de Voceo	PCH	Enlace de Bajada
Canal de Acceso Aleatorio	RACH	Enlace de Bajada
Canal de Autorización de Acceso	AGCH	Enlace de Bajada
Canal de Control Dedicado de Señalización	SDCCH	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de Control Asociado Lento	SACCH	Enlace de Subida / Enlace de Bajada
Canal de Control Asociado Rápido	FACCH	Enlace de Subida / Enlace de Bajada

1.6 Las ráfagas en GSM

Cada usuario transmite una ráfaga de datos durante cada TS asignado. Estas ráfagas de datos pueden tener uno de cinco posibles formatos, definidos en el estándar GSM. Las ráfagas normales se usan para transmisiones TCH y DCCH tanto para el *uplink* y el *dowlink*. Las ráfagas FCCH y SCH usan el TS 0 de las tramas específicas para enviar los mensajes de control de frecuencias y sincronización temporal en el *dowlink*. La ráfaga RACH se usa por todos los

móviles para acceder a servicio desde cualquier estación base, y la ráfaga vacía se usa para rellenar información en slots utilizados en el *downlink*.

La ráfaga normal está formada por 148 bits que se transmiten a una velocidad de 270.833333 kbps y un tiempo de guarda de 8 bits al final de la ráfaga. De los 148 bits por TS, 114 son bits de información que se transmiten en dos secuencias de 57 bits al comienzo y al final de la ráfaga. En el centro de la ráfaga hay una secuencia de 26 bits de entrenamiento que permiten al ecualizador adaptativo del móvil o de la estación base analizar las características del canal de radio antes de decodificar los datos. A cada lado de la secuencia de entrenamiento se encuentran los dos *stealing flags*. Estos dos *flags* se usan para distinguir si el TS contiene datos de voz (TCH) o control (FACCH), ambos con el mismo canal físico. Durante una trama, el móvil usa un solo TS para transmitir, uno para recibir, y puede usar seis TS para medir la potencia de la señal de cinco estaciones base adyacentes así como la de su propia estación base. Hay ocho TS por trama TDMA, y el periodo de trama es de 4.615 ms. Una trama contiene $8 \times 156.25 = 1250$ bits, aunque algunos periodos no se usan. La velocidad de las tramas es de 270.833 kbps / 1250 bits/trama es decir 216.66 tramas por segundo. Las tramas decimotercero y vigésimo sexta no se usan para tráfico, sino para tareas de control. Cada una de las tramas normales se agrupan en estructuras más grandes llamadas multitramas que a su vez se agrupan en supertramas y éstas en hipertramas. Una multitrama contiene 26 tramas TDMA, una supertrama contiene 51 multitramas, ó 1326 tramas TDMA. Una hipertrama contiene 2048 supertramas, ó 2,715,648 tramas TDMA. Una hipertrama completa se envía cada 3 horas, 28 minutos y 54 segundos, y es importante en GSM debido a que los algoritmos de encriptación relacionan este particular número de tramas, y sólo se puede obtener una suficiente seguridad si se usa un número suficientemente grande como el que proporciona la hipertrama.

Las multitramas de control ocupan 51 tramas, a diferencia de las 26 tramas usadas por los canales de tráfico ó dedicados. Esto se hace intencionadamente para asegurar que cualquier móvil reciba con seguridad las transmisiones del SDCCH y el FCCH del BCCH.

Tabla III. Ráfaga Normal GSM

Ráfaga Normal		
Numero de Bit	Longitud del Campo	Contenido
0 - 2	3	Bits de Cola
3 - 60	58	Bits encriptados
61 - 86	26	Bits de secuencia de training
87 - 144	58	Bits encriptados
145 - 147	3	Bits de Colas
148 - 156	8	Periodo de Guarda

Tabla IV. Ráfaga de Corrección de Frecuencia GSM

Ráfagas de Corrección de Frecuencia		
Numero de Bit	Longitud del Campo	Contenido
0 - 2	3	Bits de Cola
3 - 144	142	Bits Fijos
145 - 147	3	Bits de Cola
148 - 156	8	Bits de Guarda

1.7 Frecuency Hopping o saltos de frecuencia

El sistema GSM utiliza FH para disminuir los efectos de interferencia y *multiphat fading*. Los únicos canales físicos que no pueden usar *frecuency hopping* o saltos de frecuencia son los canales de control de difusión y los comunes, esto debido a que cuando un móvil entra a la red, éstos son los canales que tienen que monitorear y si éstos estuvieran en constante cambio de frecuencia portadora complicaría mucho el sistema. Además el BCCH se utiliza para el *handover* por lo que cada móvil debe tener la capacidad de fácilmente

monitorear éstos canales. Por todo esto, estos canales tienen que ser transmitidos continuamente y con potencia constante.

Cualquier móvil dentro de una red sufre de interferencias co-canal de células adyacentes al móvil, si un móvil está cerca de la frontera de la célula recibirá mucho mayor interferencia que un móvil que éste muy cerca de su BTS. Al utilizar FH se puede disminuir ya que las células cercanas tienen diferentes secuencias de saltos, todos los móviles seguirán captando interferencia, sin embargo, debido a que la interferencia es aleatoria, cada móvil recibirá una media de nivel de interferencia, en lugar de que el sistema esté muy libre de interferencia o muy cargado para otros móviles. FH también ayuda con la interferencia multi-camino, debido a que como cambia de frecuencia el móvil no pasa demasiado tiempo recibiendo la señal que llega por diversas rutas.

Las secuencias de salto que se utilizan en GSM pueden ser 64. La secuencia se describe por dos parámetros: El número de secuencia de salto o HSN y el Índice FOCET de AlocaCIÓN del Móvil o MAIO. El HSN selecciona una de las 64 predefinidas y aleatorias secuencias de salto, mientras tanto el MAIO selecciona el punto de arranque dentro de la secuencia. El MAIO puede tomar tantos valores como frecuencias se encuentren en el espacio para la red. Canales con el mismo HSN pero con diferente MAIO nunca utilizarán la misma frecuencia. Canales con diferente HSN se interferirán $1/n$ veces y éste caso se aplica para células co-canal.

1.8 Handover

Es el proceso por el cual un móvil corta comunicación con una determinada BTS y se conecta con otra BTS, las razones para éste cambio de BTS pueden

ser variadas. Si el nivel de interferencia es muy alto, para disminuir el nivel de tráfico, esto tiene que ocurrir sin perder la llamada que esté en curso.

La decisión para ejecutar un *handover* y la BTS más adecuada para recibir al móvil, se toma de acuerdo a varias mediciones que se realizan tanto en la BTS como en la unidad móvil.

Mediciones realizadas en la estación base:

- ✓ El nivel de la señal que recibe por el enlace de subida.
- ✓ La calidad de la señal recibida del mismo móvil así como su tasa de error de bit o BER.
- ✓ La distancia entre el móvil y la BTS.
- ✓ El nivel de interferencia en ranuras de tiempo sin uso.

Mediciones realizadas en la unidad móvil:

- ✓ El nivel de la señal que recibe en el enlace de bajada.
- ✓ La calidad de BER que recibe por el enlace de bajada.
- ✓ El nivel de la señal de bajada de otras BTS.

El proceso de *handover* también toma en cuenta la máxima potencia de transmisión del móvil, la BTS que está sirviendo al móvil y las BTSs vecinas. También se considera el tráfico que existe en la red para hacer una distribución más efectiva de éste tráfico.

Para la elección de la adecuada BTS, el móvil tiene que monitorear la potencia que recibe de las BTSs vecinas, para esto éste consulta la lista que le da la BTS que lo está sirviendo, con las frecuencias de los canales de control de los vecinos. Para estas mediciones, cada móvil se le requiere que continuamente revise el código de identidad de la BTS, por medio del canal de

sincronización, ya que debido al rehúso de frecuencias, no se puede garantizar que el móvil está recibiendo la señal de la BTS que cree tiene asignada. Las especificaciones del estándar dicen que estas mediciones tienen que ocurrir cada 10 segundos.

Los resultados de las mediciones realizadas por el móvil son reportadas a la estación base por medio del SACCH, cada reporte puede contener información acerca de seis señales además de la que está siendo utilizada. Este reporte representa un retraso de 480ms repartido en 4 ráfagas. Cada BSS debe poder almacenar por lo menos 32 promedios de mediciones.

Ya que la decisión de realizar el *handover* ha sido tomado, de acuerdo con los niveles de RSSI (Indicador de Fuerza de Señal Recibido) recibidos de los móviles, o por la cantidad de tráfico en una célula. Es necesario agregar que cada operador puede manejar diferentes niveles de RSSI mínimo. De acuerdo con esto y cuando la célula más adecuada ha sido identificada, se pasa a la etapa de ejecución del *handover*. Existen varios tipos de *handover* dependiendo del lugar en donde se realice el cambio. A continuación se explica en que consiste cada *handover*.

1.8.1 Tipos de *handover*.

1. Intra BSC. La BTS nueva es controlada por la misma BSC que controla a la BTS anterior.
2. Inter. BSC / intra MSC. Se cambia de BSC pero son controlados por el mismo MSC.
3. Inter. MSC (*Anchor Relay*). El MSC en el cual se inicia la llamada y mantiene el control por la duración de la misma se le denomina *Anchor*, si es necesario utilizar otro MSC se le denomina *Relay*. En

este tipo de *handover* se cambia de MSC, BSC y BTS, sin embargo, el control permanece en el anchor que esta conectado al *relay*.

4. Inter. MSC (*relay a relay*). Aquí es cuando la conexión ya incluye un MSC *relay* y para el *handover* se necesita otro MSC que también sería *relay*. El control se mantiene desde el MSC anchor y se elimina la conexión con el *relay* anterior.
5. Inter. MSC (*relay a anchor*). Cuando el MSC viejo no es el anchor y se pasa al MSC nuevo que es anchor, se elimina la conexión con el *relay*.

Para la realización de un *handover* la BSC nueva debe ser informada de la necesidad de un *handover*, a menos que la BSC sea la misma. El mensaje es transmitido vía el punto de conmutación. Se establece una nueva ruta de comunicación. Al recibir la petición para el *handover* la BSC nueva busca un canal disponible para la comunicación, si esto es exitoso, se envía por medio del punto de conmutación la orden para el *handover*. Esta orden incluye información acerca del canal de comunicación que ocupara en la nueva BSC así como información acerca de la célula nueva, como la frecuencia en la que se encuentra el BCCH.

Un móvil no tiene información acerca del *handover* hasta que la orden de éste le llega. A partir de este momento el móvil tiene que sintonizarse al nuevo canal y a los tiempos de la nueva célula. En la orden de *handover* se incluye información acerca de que si ambas BSC se encuentran sincronizadas. Si se encuentran sintonizadas el móvil solo envía ráfagas de acceso ya que puede determinar los tiempos de la BTS, si no se encuentran sintonizadas la BTS, al no reconocer al móvil por los tiempos a los que transmite, le envía tras computador los tiempos enviados por el móvil la línea de tiempo que debe seguir. Cuando el *handover* es completado, se envía un mensaje del móvil para

que la ruta de la comunicación cambie de la BTS vieja o anterior a la BTS nueva, para el proceso de *handover* se necesita alrededor de 200ms par asíncrono y 100ms para síncrono.

1.9 Autenticación

Se recurre a la autenticación cuando un móvil realiza alguno de los siguientes eventos:

- ✓ Acceso a la red con el propósito de realizar o recibir una llamada.
- ✓ En el primer acceso cuando se reinicia un MSC/VLR.
- ✓ Un cambio de la información relacionada con el usuario almacenada en el HLR o el VLR, esto incluye una actualización de posición que será guardada en un nuevo VLR y registro de la red.

La autenticación comienza por medio de una petición de autenticación en forma de mensaje enviado al móvil. Dicho mensaje contiene un número aleatorio de 128 bits llamado RAND. En el móvil éste número es utilizado como entrada para obtener un algoritmo secreto conocido como A3. Además del A3 se incluye la clave secreta del usuario. Ambos se encuentran almacenados en el SIM. El algoritmo de A3 se mantiene secreto, el móvil utiliza el algoritmo y A3 con el RAND y obtiene un número de 32 bits que es la respuesta que la BTS espera. En la BTS el AuC mantiene copias del algoritmo y la clave del usuario y simultáneamente obtiene el que debe ser el mismo número de 32 bits. El algoritmo de A3 no es único y cada proveedor de servicio puede utilizar el suyo dificultando el *roaming*, sin embargo, este problema se evita al ser el HLR del usuario el que obtiene este número y lo envía al MSC/VLR que esté siendo utilizado por el usuario. Ya que éstos pueden encontrarse en diferentes países o regiones, el MSC/VLR guarda algunos RANDs y sus respectivos pares de respuestas para evitar tanta comunicación entre MCSs.

2. DESCRIPCIÓN DE GPRS Y EDGE

2.1 General Packet Radio Service (GPRS)

2.1.1 Antecedentes

A mediados de la década de los 90, el ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*), tomo la decisión de establecer un nuevo estándar basado en la interfaz de aire del sistema GSM, para la transmisión de paquetes vía radio denominado GPRS (*General Packet Radio System*), también conocido como GSM-IP ya que permite una adecuada integración de los protocolos de Internet TCP/IP con la red móvil instalada GSM. GPRS es un subsistema dentro del sistema GSM, introduce la conmutación de paquetes de datos a GSM, sin embargo, también se puede utilizar en TDMA pero el sistema no se implementó.

2.1.2 ¿Cómo Funciona?

Cuando un usuario transmite datos, éstos son encapsulados en paquetes cortos, en cuya cabecera se indican las direcciones origen y destino, cada uno de estos paquetes puede seguir rutas diferentes a través de la red hasta llegar a su destino, así mismo, los paquetes originados por distintos usuarios pueden ser intercalados, de esta forma se comparte la capacidad de transmisión. Los paquetes, no son enviados en intervalos de tiempo, sino que cuando se necesita, se asigna la capacidad de la red, siendo liberada cuando no es necesaria. GPRS utiliza los recursos de radio solamente cuando existen datos que enviar o recibir, adaptándose así perfectamente a la muy intermitente naturaleza de las aplicaciones de datos. El sistema GPRS actualiza los

servicios de datos GSM para hacerlos compatibles con LAN's, WAN's e Internet.

El actual sistema GSM opera en un modo de transmisión de circuitos conmutados (punto a punto), en el cual los circuitos son reservados a lo largo del sistema para el uso de una sola comunicación incluso cuando no se transmiten datos.

El GPRS ofrece una transmisión de paquetes (enlace a enlace) a lo largo de la red en distintas fases. Por ejemplo, una vez que el paquete de datos ha sido transmitido a través de la interfaz aérea, los recursos radio pueden ser liberados para el uso por parte de otros usuarios. Después de esto, el paquete viaja hacia su destino a través de la red troncal GPRS, y posiblemente otra serie de redes, por ejemplo Internet.

El uso de enlaces de este modo, conserva la capacidad de la red y la interfaz y permite a los operadores ofrecer un servicio a mejor precio, ya que la facturación se puede basar en la cantidad de datos enviados o recibidos.

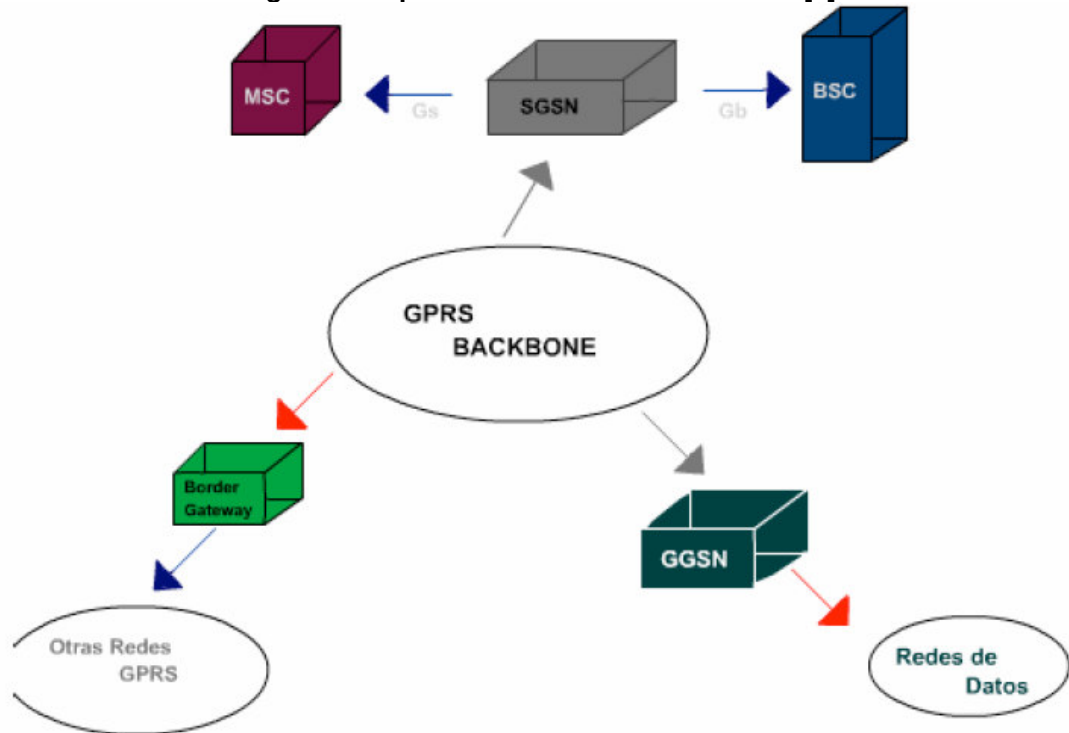
2.1.3 Arquitectura de GPRS

El sistema GPRS cuenta con nuevos elementos que se adicionan a las actuales entidades en un sistema GSM, estas se enumeran a continuación:

- ✓ El nodo GGSN que actúa como pasarela entre la red GPRS y la RED publica de datos como IP y X.25, conectando también con otras redes GPRS.
- ✓ El nodo SGSN, que es el servidor que soporta GPRS.
- ✓ La estructura principal o red troncal GPRS (*backbone*).

En la figura 2 podemos observar los elementos que se agregan a la red GSM

Figura 2. Arquitectura de la Red GSM/GPRS [1]



2.1.3.1 Implementación

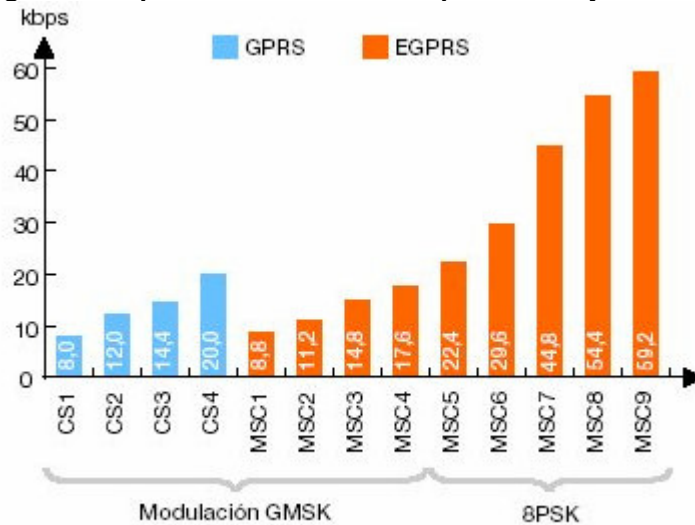
La implementación del servicio de GPRS requiere la gestión de la movilidad específica en GPRS, la gestión de la red, así como una nueva interfaz aérea para el tráfico de paquetes, nuevas funcionalidades de seguridad para la red troncal GPRS y un nuevo algoritmo de cifrado.

2.1.3.2 Esquemas de Codificación

Se definieron para GPRS cuatro esquemas de codificación diferentes, designados CS1 hasta CS4. Cada uno de ellos tiene diferentes medidas de

codificación de corrección de errores, éstos además han sido optimizados para distintos ambientes de radio. En la figura siguiente además de las codificaciones para GPRS se incluyen las modulaciones para EGPRS o EDGE del que se hablara mas adelante en esta tesis, para EDGE se introdujeron nueve esquemas de codificación de modulación, designados como MCS1 hasta MCS9. Estos esquemas cumplen las mismas funciones que los esquemas de codificación GPRS. Los cuatro esquemas de codificación de EDGE más bajos (MCS1 a MCS4) usan GMSK, mientras que los cinco esquemas superiores (MSC5 a MSC9) usan modulación 8PSK. La utilización de 8PSK se debe a que la velocidad aumenta de una forma considerable. La codificación que se utiliza en cada sistema se muestra en la figura 3.

Figura 3. Esquemas de codificación para GPRS y EGPRS [1]



2.1.3.3 Especificaciones

En GPRS se cuenta con 4 tipos de codificación de los paquetes enviados y recibidos. Dependiendo de la codificación dispondremos de mas velocidad de transferencia para cada time slot.

Tabla V. Clases de codificación en GPRS

Codificación del Canal	Velocidad por Time- Slot	Máxima Transferencia con los 8 Time-Slots
CS-1	9.05 Kb/s	72.4 Kb/s
CS-2	13.4 Kb/s	107.2 Kb/s
CS-3	15.6 Kb/s	124.8 Kb/s
CS-4	22.8 Kb/s	182.4 Kb/s

Algunas de las especificaciones para GPRS se muestran a continuación en la tabla VI.

Tabla VI. Características de GPRS

Modulación	GMSK
Velocidad de símbolo	270 Ksimb/s
Velocidad de modulación de bit	270 Kb/s
Velocidad de datos de radio por intervalo de tiempo	22.8 Kb/s
Velocidad de datos de usuario por intervalo de tiempo	20 Kb/s (CS-4)
Velocidad de datos de usuario (8 intervalos de tiempo)	160 Kb/s (182.4 kb/s)

2.1.3.4 Terminales GPRS

Las Terminales GPRS se dividen en tres clases bien diferenciadas:

- ✓ Clase A: Soporta GPRS y GSM (GPRS y Voz) simultáneamente. Es decir, se pueden efectuar y recibir llamadas simultáneamente, mientras estamos conectados a Internet podemos realizar una llamada desde el móvil.
- ✓ Clase B: Soporta los dos tipos (GPRS y GSM) pero no permite tráfico simultáneo, aunque el canal GPRS abierto no se cierra ante una comunicación GSM, simplemente uno esperara a que el otro acabe, y se pueden recibir llamadas.

- ✓ Clase C: No soporta conexión simultánea, el usuario debe seleccionar a que tipo de servicio se quiere conectar. El servicio que no este activado no es operativo, por los que no podrá recibir llamadas GSM si esta activado el envío de datos por GPRS. El SMS es opcional para las especificaciones de esta clase.

2.1.3.5 Requisitos

Para hacer uso de GPRS, un usuario necesita:

- ✓ Un teléfono móvil o terminal móvil que soporte GPRS.
- ✓ Una suscripción a una red móvil que soporte GPRS.
- ✓ El uso de GPRS debe estar habilitado para el usuario. El acceso automático a GPRS puede estar permitido por algunos operadores de red, en otros casos se tiene que solicitar.
- ✓ El conocimiento de cómo enviar o recibir información por medio de GPRS, esto en términos del equipo móvil del usuario, incluyendo la configuración de software y hardware.
- ✓ Un destino para enviar y recibir información a través de GPRS, mientras que en los SMS el destino del mensaje era siempre otra unidad móvil, en el caso de GPRS lo más probable es que el destino sea una dirección de Internet, ya que GPRS está diseñado para hacer de la red de Internet disponible para usuarios, el destino de los paquetes de GPRS puede ser cualquier página de Internet disponible.

2.1.3.6 Aplicaciones

GPRS permite nuevas aplicaciones ante imposibles en la red GSM debido a sus limitaciones de velocidad y longitud de los mensajes, además de aplicaciones que están disponibles en Internet.

Ejemplos de estas aplicaciones son: Correo electrónico, servicios de Chat, información visual y textual, mensajes cortos optimizados, transmisión de imágenes fijas, transmisión de imágenes en movimiento, navegación web, teletrabajo, servicios de audio, ubicación de vehículos, acceso remoto a redes locales, transferencia de ficheros y mucho mas. Las mayores dificultades para avanzar con la tecnología GPRS radican en el desarrollo de lo teléfonos y no en el desarrollo de la red que ha de gestionar el trafico que se produzca.

2.1.3.7 Ventajas

La máxima velocidad teórica es de 171.2 Kbps, ésta velocidad se puede alcanzar utilizando las 8 ranuras de tiempo simultáneamente. Esto es aproximadamente tres veces más rápido que la transmisión de datos que se utiliza usando la PSTN, y 10 veces más rápido que los servicios de conmutación de circuitos utilizada anteriormente por GSM.

La conmutación de paquetes significa que los recursos de radio GPRS son utilizados únicamente cuando usuarios están enviando o recibiendo datos. Esto en lugar de dedicarle un canal a un usuario de datos por un determinado periodo de tiempo, los usuarios pueden compartirse este canal cuando necesiten enviar y recibir información. Este uso eficiente de los recursos significa que muchos usuarios de GPRS pueden potencialmente compartir el

mismo ancho de banda y pueden ser servidos por una sola celula. El número de usuarios que soporta el sistema depende de la aplicación que se esté utilizando y de la cantidad de datos que estén siendo transferidos. Gracias a la eficiencia espectral de GPRS, existe una menor necesidad de aumentar la capacidad del sistema que solo se utilizaría en horas pico. GPRS le da la libertad al operador de maximizar el uso de sus recursos en una forma dinámica y flexible. GPRS deben mejorar su capacidad en horas pico ya que simultáneamente distribuye los recursos de radio, migra datos que iban por conmutación de circuitos a GPRS, al igual que con los SMS que migran parte del trafico a GPRS, por medio de interconexión GPRS/SMS que está especificada en el estándar.

Debe de quedar claro que GPRS es una importante adición al sistema, ya que mejora mucho la eficiencia espectral, sin embargo, GPRS también tiene algunas limitaciones.

2.1.3.8 Desventajas

Capacidad limitada de la celula para todos los usuarios. GPRS, si tiene un impacto en la capacidad actual de la célula. Existen recursos de radio limitados que tienen que utilizarse para diferentes aplicaciones. Las llamadas de voz y las de GPRS utilizan los mismos recursos de radio. El impacto depende del número de ranuras de tiempo que se reservan para GPRS. Aunque también se tiene que considerar que en horas de mucho tráfico GPRS ayuda a distribuir mejor los recursos.

Velocidad mucho más baja en realidad. Alcanzar la máxima velocidad de transmisión de GPRS implicaría que un solo usuarios utilizara las 8 ranuras de tiempo disponible, y sin protección contra errores. Claramente, un operador de

red no destinaría toda su capacidad a un solo usuario, por lo que la velocidad de GPRS es mucho mas baja, en realidad entre 1 y 3 ranuras de tiempo.

2.2 Enhanced Data for Global Evolution (EDGE)

2.2.1 Antecedentes

Pensado como un subsistema dentro de la norma GSM, GPRS ha introducido la conmutación de paquetes de datos dentro de las redes GSM. EDGE es un método para aumentar las velocidades de datos sobre el enlace de radio de GSM, aumentar la eficiencia espectral, y facilitar nuevas aplicaciones y mayor capacidad para el usuario móvil. EDGE sólo introduce una nueva técnica de modulación y una nueva codificación de canal que puede usarse indistintamente para transmitir servicios de voz y de datos por conmutación de paquetes y circuitos. EDGE por lo tanto es un agregado a GPRS y no puede trabajar por separado. Mientras que GPRS permite tasas de transmisión de 115 Kbps y teóricamente 160 Kbps en la capa física, con la implementación de EDGE el sistema sería capaz de alcanzar tasas de 384 Kbps y teóricamente 473.6 Kbps. Con EDGE se pueden aumentar las aplicaciones disponibles hasta acceso a Internet inalámbrico, correo electrónico y transferencia de archivos.

2.2.2 Arquitectura de EDGE

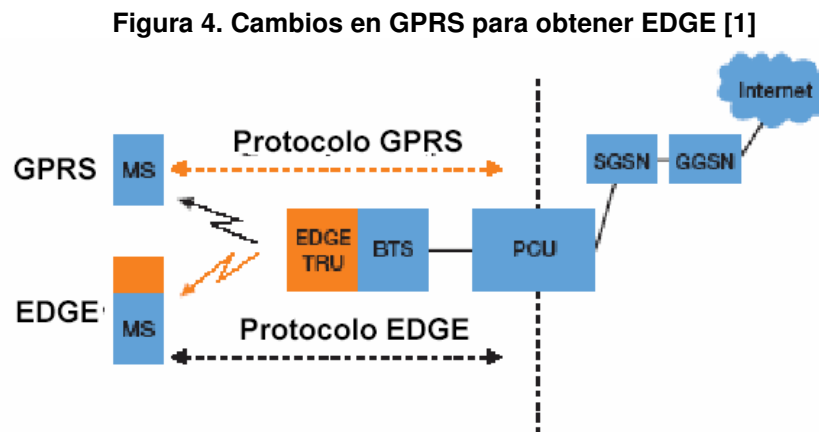
La arquitectura de EDGE es la misma que la de GPRS, solamente con la introducción de algunos cambios. La unidad de control de paquetes se puede colocar en la radio base, en el controlador de la radio base, o en el nodo de soporte de GPRS. La unidad central de control siempre se coloca en la radio base.

2.2.2.1 Cambios en la Arquitectura para EDGE

El cambio de GPRS a EDGE consiste simplemente en la actualización del software, y la adición de un elemento que se llama EDGE TRU (Unidad Transceptora EDGE) en la radio base, y la actualización del software en la Controladora de Estaciones Base (BSC).

GPRS y EGPRS (EDGE) tienen un comportamiento diferente y protocolo diferentes en el lado de la radio base. Mientras que en la red central, GPRS y EGPRS comparten los mismo protocolos de manejo de paquetes, y por lo tanto, se comporta de la misma manera. Con la utilización de EDGE, la misma ranura de tiempo puede soportar un mayor número de usuarios. Con esto decrementa los recursos de radio que se requiere para soportar el mismo trafico, lo cual libera capacidad del sistema para soportar más tráfico de aplicaciones de voz y datos. Al igual que GPRS, EDGE puede ser visto como un elemento que incrementa la capacidad del sistema cuando es necesario.

La figura 4 muestra los cambios que se tienen que realizar en la arquitectura GSM (GPRS) para que pueda soportar EDGE.



2.2.3 Tecnología de EDGE

EDGE permite generar significativos avances técnicos. La tabla VII a continuación muestra la comparación de los datos técnicos básicos de GPRS y EDGE.

Tabla VII. GPRS y EDGE: Comparación de datos técnicos

Datos Técnicos	GPRS	EDGE
Modulación	GMSK	8-PSK / GMSK
Velocidad de Símbolo	270 Ksimb/s	270 Ksimb/s
Velocidad de Modulación de bit	270 Kb/s	810 Kb/s
Velocidad de datos de radio por intervalo de tiempo	22.8 Kb/s	69.2 Kb/s
Velocidad de datos de usuario por intervalo de tiempo	20 Kb/s	59.2 Kb/s
Velocidad de datos de usuario (8 intervalos de tiempo)	160 Kb/s (182.4 Kb/s)	473.6 Kb/s (553.6 Kb/s)

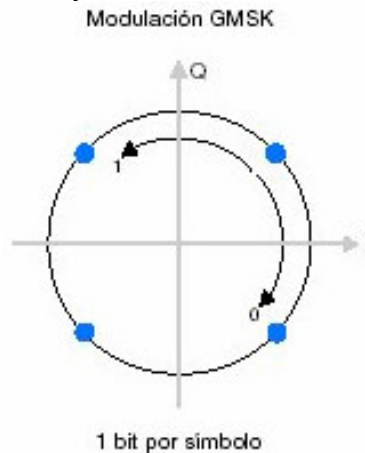
EDGE puede transmitir tres veces más bits que GPRS durante el mismo periodo de tiempo. Las diferencias entre las velocidades de radio y de usuario son el resultado de considerar o no los encabezamientos de los paquetes.

En EDGE se menciona a menudo la velocidad de datos de 384 Kbps. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha definido la velocidad de 384 Kbps como el límite de la velocidad de datos requerido por un servicio que cumple con la norma IMT-2000 (*international Mobile telecommunications 2000*) en un ambiente peatonal. Esta velocidad de datos de 384 Kbps corresponde a 48 Kbps por intervalo de tiempo, asumiendo una Terminal con 8 intervalos de tiempo.

2.2.4 Técnicas de modulación de EDGE

El tipo de modulación utilizada por GSM es GSMK (*Gaussian Minimum shift Keying*), que es un tipo de modulación de fase. Esto puede ser visualizado en un diagrama I/Q que muestra el componente real (i) e imaginario (Q) de la señal transmitida. Cada símbolo representa un bit, es decir, cada cambio de fase representa un bit como se muestra en la figura 5.

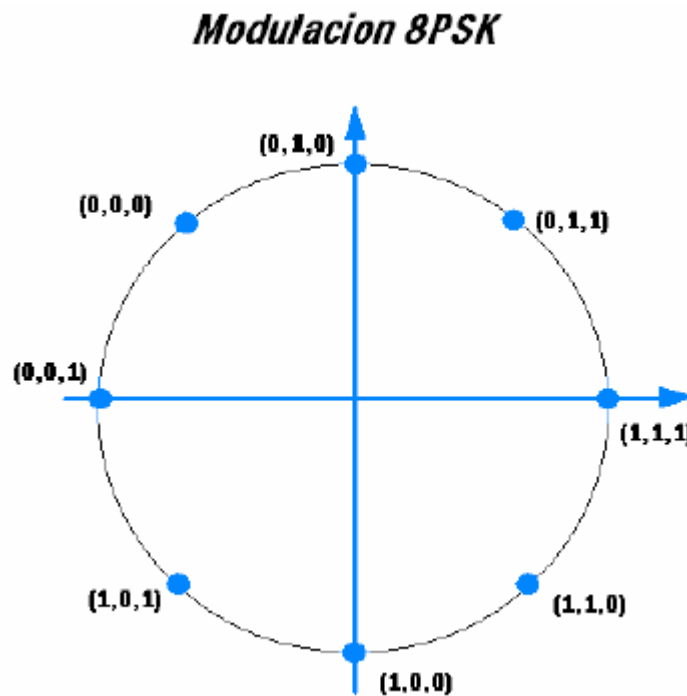
Figura 5. Esquema de modulación GSMK [1]



Se ha especificado EDGE de manera de reutilizar la estructura, el ancho y la codificación del canal y los mecanismos y funcionalidades existentes en GPRS y HSCSD. La modulación 8PSK, elegida para EDGE, cumple dichos requerimientos. La modulación 8PSK tiene las mismas características que GSMK, en términos de generación de interferencia sobre los canales adyacentes, esto hace posible la integración de canales EDGE sobre un plan de frecuencias existentes y asignar canales EDGE de la misma forma que si fueran canales GSM estándar.

El método de modulación 8PSK es un método lineal en el cual tres bits consecutivos se relacionan con un símbolo en el plano I/Q. La velocidad de símbolo, o el número de símbolos enviados en un cierto periodo de tiempo, es la misma para GSMK, pero cada símbolo representa tres bits en lugar de uno. Por ese motivo la velocidad de datos para EDGE es tres veces mayor que en GPRS. El diagrama del esquema de modulación para 8PSK se muestra en la figura 6.

Figura 6. Modulación 8PSK (3 bits por símbolo) [1]



Al usar la modulación 8PSK, la distancia entre los diferentes símbolos es menor que al usar la modulación GSMK. Esto aumenta el riesgo de interpretaciones erróneas de símbolos, porque para el receptor de radio es más difícil diferenciar entre los distintos símbolos recibidos. Cuando se cuenta con buenas condiciones de radio, esto no tiene mucha importancia, por lo tanto se

utilizan bits extras para agregar más codificación de corrección de errores y permitir recuperar correctamente la información. Por lo tanto los esquemas de modulación de EDGE son una mezcla de GSMK y 8PSK.

2.2.5 Esquemas de codificación y manejo de paquetes

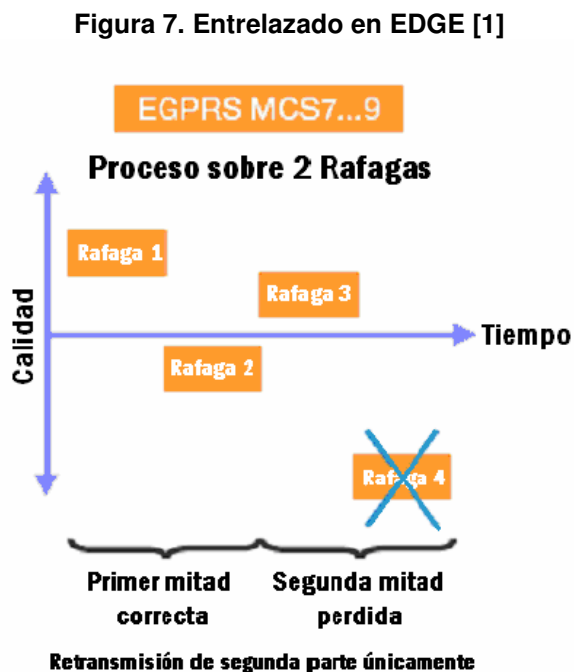
Para GPRS utiliza cuatro esquemas de codificación (CS1 hasta CS4) y EDGE utiliza 9 esquemas de codificación (MCS1 hasta MCS9). Tanto los esquemas de CS1 hasta CS4 y MSC1 hasta MSC4, usan modulación GSMK con caudal de salida ligeramente diferentes. Esto es debido a diferencias en el tamaño del encabezamiento de los paquetes EGPRS. La modulación utilizada para MSC5 hasta MSC9 es 8PSK. Esto permite resegmentar los paquetes de EGPRS. En EGPRS un paquete enviado con un esquema de codificación más alto que no es recibido adecuadamente, puede ser retransmitido con un esquema de codificación más bajo, si las nuevas condiciones del ambiente de radio lo requieren. La resegmentación no es posible en GPRS.

2.2.6 Exactitud en la medición

El ecualizador de la Terminal toma mediciones de cada ráfaga, dando como resultado una probabilidad de error de bit (BEP). La probabilidad de error de bit es un reflejo de relación portadora a interferencia actual por ráfaga. La variación de la probabilidad de error por bit tomadas a varias ráfagas proporciona información adicional acerca de la velocidad y de los saltos de frecuencia. Por medio de esto se obtiene la desviación estándar y un promedio por bloque de datos que contiene 4 ráfagas. Esto resulta en mediciones muy exactas aun en cortos periodos de medición, y gracias a esto se puede tener una reacción mucho más rápida a las condiciones cambiantes de radio.

2.2.7 Entrelazado

En el caso de GPRS, el bloque de radio se entrelaza y se transmite sobre cuatro ráfagas. Si solo una de las cuatro ráfagas no se recibe correctamente, el bloque entero de radio no será adecuadamente decodificado y deberá ser transmitido nuevamente. Para poder combatir este problema en EGPRS, maneja los esquemas de codificación superiores (MCS7 a MCS9) de forma diferente que en GPRS. En estos esquemas de codificación superiores se transmiten dos bloques de radio sobre las cuatro ráfagas y el entrelazado ocurre sobre dos ráfagas en lugar de cuatro. Por lo tanto se reduce el número de ráfagas que se deben retransmitir en caso de ocurrir errores. Esto significa que en EDGE los esquemas de codificación superiores tienen una mayor robustez respecto al salto de frecuencia. El entrelazado se observa en la figura 7.



2.2.8 Impacto de EDGE en sistemas GSM/GPRS

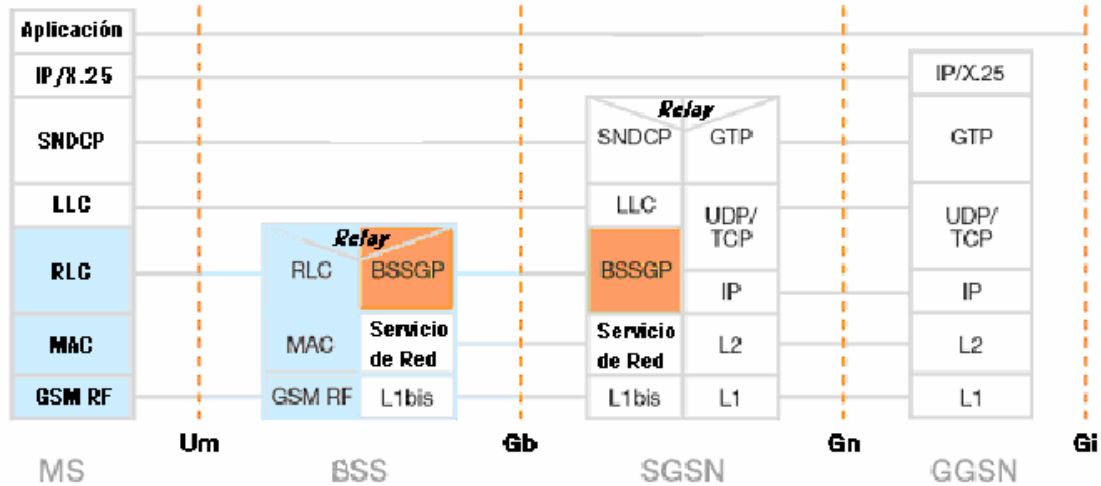
Desde el inicio, la estandarización de EDGE está restringida a la capa física y a la introducción de un esquema de modulación nuevo. Los requisitos establecidos para la introducción de EDGE en sistemas GSM existentes son los siguientes:

- ✓ Unidades móviles EDGE y no EDGE deben ser capaces de compartir una ranura de tiempo.
- ✓ Transceptores EDGE y no EDGE pueden ser introducidos en el mismo espectro.
- ✓ Una introducción parcial de EDGE debe ser posible. Para facilitar la implementación de nuevas terminales considerando las características asimétricas de la mayoría de los servicios disponibles actualmente, se decidió que dos clases de terminales deben ser soportadas por el estándar:
 - Terminales que provean modulación 8PSK únicamente en el enlace de bajada.
 - Terminales que proveen modulación 8PSK tanto para el enlace de bajada como el enlace de subida.

2.2.8.1 Cambios en la arquitectura del protocolo de transmisión

En la figura 8 se muestra la estructura del protocolo de transmisión para GPRS. Se muestra en sombreado los protocolos que son influidos por la introducción de EDGE. Los más afectados por EDGE son los protocolos más cercanos a la capa física (Control de enlace de radio y canal de asignación móvil). Hay también algunas modificaciones menores en el protocolo GPRS del sistema de la estación base. Aparte de estos cambios, el resto de la pila de protocolo permanece intacto después de la introducción de EDGE.

Figura 8. Arquitectura del protocolo del plano de transmisión [1]



2.2.8.2 Evolución de GSM/EDGE hacia la alineación con WCDMA

Basado en las técnicas de alta velocidad de transmisión combinada con las mejoras en la interfaz de radio de GPRS, GERAN (GSM/EDGE *Radio Access Network*) proveerá un soporte mejorado para todas las clases de QoS (*Quality of Service*) definidos para UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Haciendo esto, todo un nuevo ramo de aplicaciones, incluyendo aplicaciones multimedia por IP, serán soportadas.

EDGE y WCDMA son tecnologías complementarias que juntas podrán cumplir con los requerimientos de un operador para proveer cobertura de tercera generación, así como capacidad. EDGE está diseñado para integrarse a la red existente. El sistema actual evoluciona, no es reemplazado, ni construido de la nada, haciendo su implementación más sencilla.

EDGE puede ser visto como el cimiento par una red sin fronteras GSM y WCDMA, con una red central combinada y diferentes métodos de acceso, que serán transparentes para el usuario final.

3. EVOLUCIÓN DE GSM A UMTS

3.1 Introducción

El 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), es el organismo responsable de elaborar las especificaciones de UMTS. La concepción del sistema UMTS viene condicionada por los requisitos de los servicios que ofrecerá esta nueva generación de redes móviles. Los requisitos para este sistema eran los siguientes:

- ✓ Tasas de transmisión de 2048 kbps para interiores o ambientes de poco movimiento. Tasas de transmisión de 384 kbps en ambientes urbanos y a velocidades máximas de 120 km/h. Incluso en áreas rurales se debe poder dar una tasa de 144 kbps a vehículos a altas velocidades.
- ✓ Movilidad Global.
- ✓ Terminales Multimodo.
- ✓ Debe poder conectarse con otras redes, y el usuario debe poder distinguir que red lo está sirviendo.
- ✓ Es requerida una mayor eficiencia espectral.

EL soporte de aplicaciones de voz, datos, video y, en general, servicios multimedia, con requisitos muy variados en lo que respecta al ancho de banda necesario y la tolerancia a factores como el retardo o las pérdidas, lleva a la necesidad de dotar a UMTS de mecanismos de QoS (*Quality of Service*).

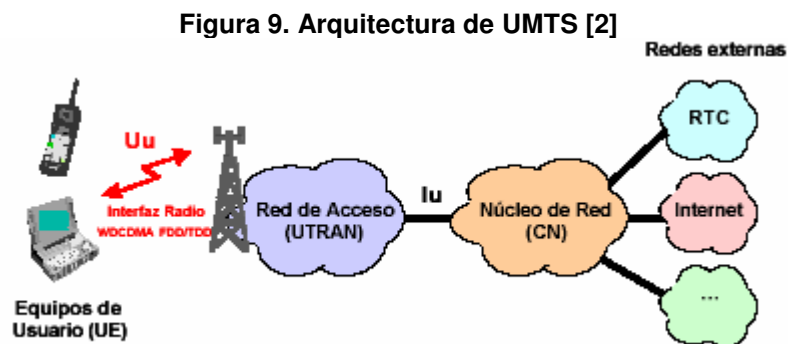
UMTS fue la propuesta de la ETSI para tercera generación de telefonía celular, siendo éste el sucesor de GSM, al igual que CDMA-2000 es el sucesor de IS-95. Ambos Utilizan CDMA como técnica de acceso múltiple, UMTS está planeada para funcionar en Europa y los países que deseen adoptarlo y CDMA-

2000 está previsto para ser utilizado en Norteamérica. La necesidad para estos sistemas es un ancho de banda considerable, movilidad y servicios adicionales. Todo esto se plantea usando un IP para cada móvil utilizado y mediante éste el acceso a los diferentes servicios.

La gestión eficiente de los recursos de radio es de mucha importancia en toda red celular, y más aún en UMTS debido a la utilización de WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*).

3.2 Arquitectura de UMTS

UMTS utiliza la misma red central de GSM pero con una interfaz de radio completamente diferente. La nueva red de radio se llama UTRAN que significa *UMTS Terrestrial Radio Access Network*, La arquitectura básica de una red UMTS esta compuesta por sus tres partes fundamentales: los equipos de usuario, la red de acceso y el núcleo de red. La arquitectura de UMTS se muestra en la figura 9.



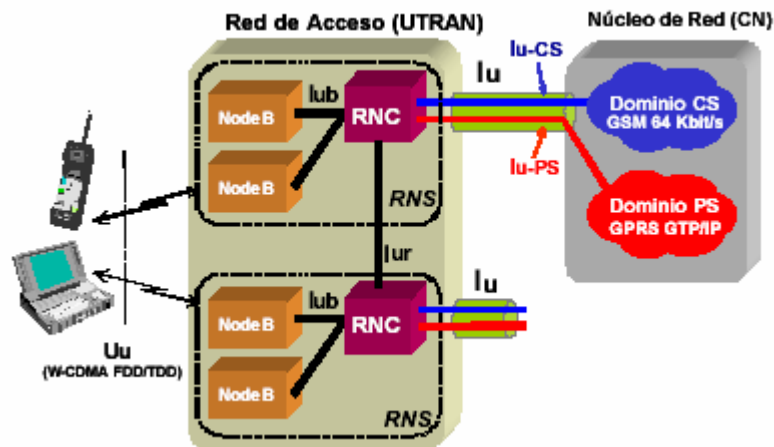
Los equipos de usuario acceden a la red a través de la interfaz de radio (Uu), basado en WCDMA. La red de acceso de radio (UTRAN) se encarga de transportar el tráfico de usuario (voz, datos, señalización móvil-red) hasta el

núcleo de red (CN, *Core Network*), con el que se comunica a través de interfaz Iu. Dentro del núcleo de red se encuentran los recursos de conmutación y transmisión necesarios para completar el trayecto de la comunicación hacia el abonado remoto, este abonado remoto puede pertenecer o no a la red UMTS.

El núcleo de red en UMTS se plantea como la evolución del existente en las actuales redes 2G basadas en GSM/GPRS. UMTS recurre al empleo de técnicas de conmutación de paquetes. Se establece el empleo de ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) como tecnología de transporte en UTRAN. La selección inicial de ATM se justifica por el hecho de ser una de las tecnologías más flexibles y maduras para utilización en redes que prestan multiservicios con QoS establecidos.

En la figura 10 se muestra la arquitectura de UTRAN, en la que pueden observarse los elementos que la componen y los interfaces definidos entre ellos.

Figura 10. Arquitectura de UTRAN [2]



La red de acceso en UMTS consta de uno o más subsistemas RNS (*Radio Network Subsystem*). Cada RNS cubre un conjunto de células UMTS, siendo este el responsable de la gestión de los recursos asociados a ellas. Un RNS está formado por un controlador RNC (*Radio Network Controller*) y un conjunto de estaciones base (Nodos B).

Dentro de la red de radio se especifican dos tipos de interfaces: la interfaz Iub entre cada Nodo B y el RNC que lo controla y la interfaz Iur entre RNCs. La interfaz Iur no tiene equivalente en las redes 2G y permite la comunicación directa entre RNCs para el soporte de trasposos suaves llamados *Soft-Handover* entre estaciones base pertenecientes a distintos RNCs. La red de radio también posee dos tipos de interfaces externas: El interfaz de radio Uu, basado en WCDMA, como se menciono anteriormente, y el interfaz Iu con el núcleo de la red. Este último se divide lógicamente en dos interfaces: Iu-CS para la conmutación de circuitos e Iu-PS para la conmutación de paquetes.

3.2.1 RNC (Radio Network Controller)

Con el Controlador de la Red de Radio UMTS cuenta con un administrador de recurso autónomo para descentralizar el tráfico. La mayor función de un RNC es la conexión de un portador de radio con su relación Iu. Para mantener la conexión entre el CN y la unidad móvil aun cuando ésta se encuentra en movimiento el RNC necesita una red de conmutación para las señales de banda ancha. Adicionalmente en el RNC se encuentra el Administrador de recurso de radio y el control UTRAN. El administrador de recursos esta a cargo de la estabilidad de la conexión y es el responsable de dar el QoS requerido. Las mayores funciones del administrador de recursos son las siguientes:

- ✓ Control de *handover* para movilidad del usuario.
- ✓ Control de potencia para minimizar la interferencia.

- ✓ Control de acceso.
- ✓ Manejo de códigos spreading en el enlace de bajada.

En el caso de control de UTRAN las principales funciones son las siguientes:

- ✓ Difusión de información del sistema para notificar acerca de las condiciones individuales de las células.
- ✓ Control de acceso aleatorio para evitar congestiones.
- ✓ Funciones de seguridad de UTRAN.
- ✓ Administración de la movilidad en modo conectado.
- ✓ Manejo de base de datos para la unidad móvil e información específica de células.

Dependiendo de la función que desempeñe un RNC puede tomar diversos roles; estos se explican brevemente a continuación:

RNC Controlador o CRNC. Un CRNC se encuentra a cargo de todos los recursos lógicos que utiliza un Nodo B, solo existe un CRNC para un determinado Nodo B. Las funciones principales de un CRNC son la administración de información del sistema, administración de tráfico de los canales comunes, y control de la congestión y la carga en las células, control de acceso, y distribuir los códigos para nuevos enlaces de radio en las células.

RNC Sirviendo o SRNC. Este se encarga de la conexión entre una unidad móvil y el RNC, hay un SRNC por móvil que tiene una conexión con el RNS. Las funciones del SRNC son: mapeo de los parámetros para el enlace de radio, control de potencia, macro diversidad y decisión de *handover*.

Drift RNC o DRNC. Un DRNC apoya a un SRNC con recursos de radio en el caso de conexiones con macro diversidad. Si una conexión entre una

unidad móvil y su SRNC llega por medio de otro Nodo B conectado a un RNC diferente, este RNC se conoce como DRNC.

3.2.2 Nodo B

Este se conecta al usuario por medio de la interfaz aérea Uu (W-CDMA), y su principal función es la de convertir de y para esta interfaz. El proceso interno de este elemento incluye la transferencia de información de los canales de transporte en la interfaz Iub a los canales físicos de la interfaz Uu. Además incluye corrección de errores, la modulación por medio de QPSK, el spreading y despreading de W-CDMA, así como el ajuste de la tasa de transmisión. Mide la calidad y fuerza de la señal y manda ésta información al RNC para el proceso de handover y la combinación de macro diversidad. Tiene funciones para estimación de tráfico en la célula y control de acceso de ser requerido por el RNC.

El Nodo B también participa con el control de potencia, al hacer que la unidad móvil ajuste su potencia por las indicaciones que llegan por el enlace de bajada, a causa de las medidas enviadas por el enlace de subida de control de potencia de transmisión. Otras funciones del Nodo B es la sincronización de tiempo y de frecuencia.

3.3 W-CDMA

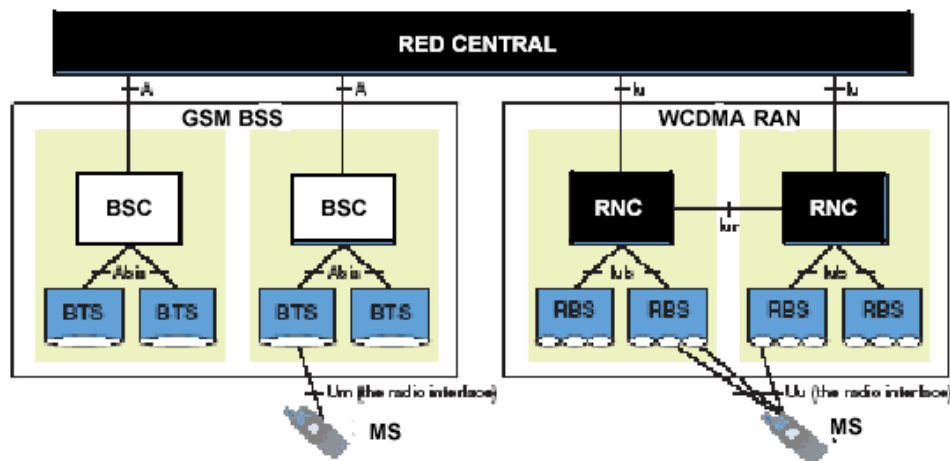
3.3.1 Introducción.

Wideband CDMA o CDMA de banda ancha fue creada para la tercera generación de telefonía celular, este sistema tiene el respaldo de la ITU (Unión

Internacional de Telecomunicaciones) así como de 3GPP o *Third Generation Parthnership Project* (Proyecto de Sociedad de Tercera generación). La banda de los GHz es la que ha sido destinada para WCDMA.

GSM y WCDMA pueden compartir un CN, sus arquitecturas no son iguales, sin embargo son similares, y se muestran en la figura 11.

Figura 11. GSM/WCDMA Arquitectura [2]



La principal diferencia entre GSM y WCDMA es la técnica de acceso múltiple, mientras GSM utiliza TDMA, WCDMA utiliza CDMA.

CDMA consiste en asignar un código único a cada usuario y gracias a éste código se puede utilizar la misma frecuencia y por lo tanto todos pueden transmitir al mismo tiempo. En CDMA se utiliza un ancho de banda de 1.25 MHz, lo que se realiza es multiplicar la señal por una señal de spreading que consiste en un código de pseudos ruido. La señal resultante parece aleatoria, sin embargo, si el receptor tiene el código correcto el proceso se invierte y se puede recuperar la señal original. En CDMA el factor de reuso de frecuencia es 1.

En WCDMA lo que cambia es el ancho de banda que aumenta de 1.25MHz en CDMA a 5MHz en WCDMA, además de que el chip rate aumenta a 3.84 Mcps. Entre las principales ventajas están:

- ✓ Una mayor eficiencia espectral.
- ✓ Un mejor QoS.
- ✓ Soporta mayores tasas de transmisión de bits.

3.3.2 Modulación

Se utiliza como modulación de *spreading balanced QPSK* para el enlace de bajada y *Canal Dual QPSK* para el enlace de subida, para la modulación de datos se utilizan QPSK y BPSK respectivamente. El handover en WCDMA puede ser suave o Inter frecuencia. La capa 1 se conecta por medio de la MAC de la capa 2 y el RRC de la capa 3. La tasa de chips de la modulación es de 3.84 Mcps. El esquema de modulación es QPSK, para 1.284 Mcps se utiliza 8PSK.

3.3.3 Codificación

Para la codificación del canal se especificaron 2 opciones para FDD (*Frequency Division Duplex*) y tres opciones para TDD (*Time Division Duplex*):

1. Codificación Convolutiva.
2. Codificación Turbo.
3. Sin codificación (solo para TDD).

La selección de la codificación es indicada por capas superiores. Para evitar errores en la transmisión se utiliza Entrelazado.

3.3.4 Canales en UMTS

Un canal lógico es la interfaz entre RLC y la capa MAC. Un canal lógico se caracteriza por el tipo de información que lleva. La capa 2 se divide en las siguientes subcapas MAC, RLC, protocolo de convergencia de paquetes de datos y broadcast/multicast de control. La capa 3 se subdivide en planos de control y de usuario.

Los canales lógicos se dividen en canales de control y canales de tráfico. Estos canales tienen funciones similares que en GSM. Los canales de control se dividen en:

Canal de Control de Broadcast (BCCH). Este canal va en el enlace de bajada, se utiliza para difundir información del sistema, así como información específica de la célula.

Canal de Control de Voceo (PCCH). Este canal también va por el enlace de bajada y se encarga de enviar información de voceos.

Canal de Control Dedicado (DCCH). Este canal también se utiliza para enviar información de control a la unidad móvil; además es un canal dedicado punto a punto bidireccional que se establece cuando la unidad móvil empieza una conexión RRC con la red.

Canal de Control Común (CCCH). Este canal lógico es bidireccional y se utiliza para enviar y recibir información de la red. Es utilizado cuando no existe una conexión por medio del canal DCCH.

Los canales de tráfico se pueden dividir de la siguiente forma:

Canal de Tráfico Dedicado (DTCH). Es un canal punto a punto dedicado a una unidad móvil; se utiliza para transferir la información de usuario, éste tipo de canal puede existir tanto en el enlace de bajada como en el enlace de subida.

Canal de Tráfico Común (CTCH). Es un canal punto a multipunto, se usa para transferir información de usuario a todos o un grupo de usuario móviles.

La interfaz entre la capa MAC y la capa física son los canales de transporte. Los canales de transporte son codificados y se ajustan a la tasa ofrecida por los canales físicos. Todos los canales de transporte son unidireccionales. Los canales de transporte se dividen en canales comunes y canales dedicados.

Canales de Transporte comunes:

Canal de Broadcast (BCH). Se utiliza para difundir información del sistema a toda la célula. Como los parámetros para el BCH son fijos, cada unidad móvil puede decodificar la información difundida. Dicha información solo existe en el enlace de bajada.

Canal de Acceso de Subida (FACH). Este solo existe en el enlace de bajada y se utiliza para enviar relativamente poca información de control. La transmisión está limitada en tiempo, los parámetros de éste canal son

difundidos vía la información del sistema. Este canal puede llevar cualquier canal de control.

Canal de Voceo (PCH). Solo existe en el enlace de bajada, su función es llevar información relevante al proceso de voceo.

Canal Compartido de Enlace de bajada (DSCH). Este canal es compartido por varios usuarios. Este canal es similar al FACH, sin embargo, éste cuenta con control de potencia por lo que puede ser utilizado más tiempo. Siempre se encuentra asociado a un DCH. La información de cuando decodificar y que código de pseudoruido utilizar va por el DCH.

Canal de Acceso Aleatorio (RACH). Este canal solo se encuentra en el enlace de subida y se utiliza para enviar información de control a la red; aunque también puede ser utilizado para enviar poca información en forma de paquetes a la red. En el área de cobertura todos los móviles utilizan este canal, existe un gran riesgo de colisiones. Los parámetros de este canal son difundidos por el BCH.

Canal de Paquetes Comunes (CPCH). Este canal existe únicamente en el enlace de subida, es similar al RACH, ya que también envía paquetes de información a la red, pero este canal cuenta con un procedimiento para su acceso por lo que se puede evitar colisiones, además utiliza un rápido control de potencia por lo que puede estar en operación un periodo de tiempo mayor. Este canal puede cambiar su tasa de transmisión en una base de segmento en segmento.

Canales de Transporte Dedicados:

Canal Dedicado (DCH). Es una canal de transporte dedicado a una unidad móvil, provee transferencia de información tanto de control como de usuario. Este es el canal que soporta handover suave. Existe tanto en el enlace de subida como de bajada.

Mapeo de canales lógicos en canales de transporte:

En la tabla VIII se muestra como se mapean lo canales lógicos en los canales transporte. Dichos canales se encuentran divididos dependiendo del enlace en el que estén.

Tabla VIII. Mapeo de Canales Lógicos

Enlace de Bajada	Enlace de Subida
BCCH ---> FACH, BCH	CCCH ---> RACH
PCCH ---> PCH	DCCH y DTCH ---> RACH, DCH, CPCH
CCCH y CTCH ---> FACH	
DCCH y DTCH ---> FACH, DCH, DSCH	

Los canales físicos se utilizan para transmitir la información por la interfaz aérea y definen las características físicas exactas del canal de radio. Un canal físico corresponde a una frecuencia portadora, a un código, y en el enlace de subida a su fase relativa. Se utiliza un código scrambling para identificar al transmisor. Así el receptor puede discriminar los transmisores que solo le causan interferencia a la señal. [3]

Canales Físicos que llevan un canal de transporte:

Cada Físico Dedicado de Datos (DPDCH). Es un canal físico dedicado que lleva información del DCH. Existe en el enlace de subida y de bajada.

Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH). Es el canal físico que lleva al RACH. Como se utiliza para acceder a la red, el sistema necesita un método de control de potencia para controlar la interferencia.

Canal Físico de Paquetes Comunes (PCPCH). Lleva el CPCH. Es asignado usando multiplexión por tiempo y por lo tanto compartido por varios usuarios. Es un canal opcional en una red y utiliza un ajuste rápido de potencia.

Canal Físico Primario de Control Común (P-CCPCH). Lleva el BCH, tiene una tasa de transmisión fija de 30 Kbps.

Canal Físico Secundario de Control Común (S-CCPCH). Lleva el FACH y el PCH, soporta varias tasas de transmisión.

Canal Físico Compartido de Enlace de Bajada (PDSCH). Lleva el DSCH. Va en el enlace de bajada asociado con un DPCCH que informa a la entidad receptora acerca del control de potencia, tiempo de acceso, y el código de spreading para el PDSCH.

Canales Físicos requeridos para la operación del sistema:

Canal Físico de Control Dedicado (DPCCH). Se transmite simultáneamente con el DPDCH. Lleva información de la capa física necesaria para la operación del sistema y para mejorar el desempeño del sistema.

Canal de Control Piloto (CPICH). Es la referencia física para otros canales, difunde una secuencia predefinida de símbolos, es necesario para la unidad móvil para poder decodificar el código de scrambling de la célula, para estimación de canal y mediciones de las células adyacentes.

Canal de Sincronización (SCH). Es necesario para que la unidad móvil busque células y para la sincronización con las mismas. Tiene dos subcanales, un primario y un secundario.

Canal Indicador de Adquisición (AICH). Se utiliza para el proceso de acceso del PRACH.

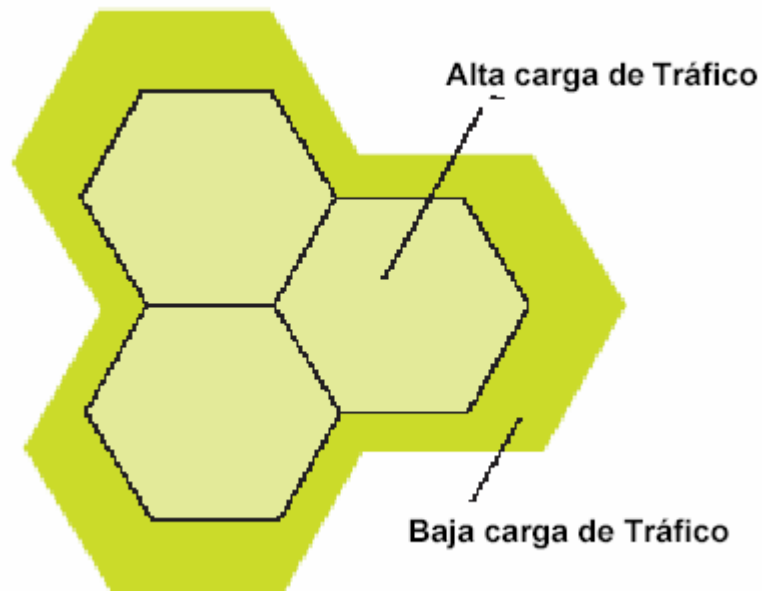
Canal Indicador de Voceo (PICH). Se utiliza para soportar recepción discontinua, lleva información acerca de presencia de mensajes de voceos en el PCH. [3]

3.3.5 Control de Potencia

El control de potencia en WCDMA aumenta el número de usuarios por portadora al disminuir el nivel de interferencia. En WCDMA se toman 1500 mediciones de la potencia por segundo, gracias a esto se puede modificar la potencia con la que transmite tanto el móvil como la estación base, debido a

que los niveles de interferencia son muy bajos, el número de usuarios puede incrementar. Además de disminuir el nivel de interferencia, con el control de potencia se presenta un fenómeno llamado *Cell Breathing*. *Cell Breathing* significa que dependiendo de el número de usuarios el tamaño de la célula puede variar, mientras con muchos usuarios el tamaño de la célula será menor, mientras menos usuarios se encuentren en el sistema la cobertura será mucho mayor. Esto se muestra en la figura 12.

Figura 12. Tamaño de la célula dependiendo del tráfico WCDMA [2]



3.3.6 Handover en UMTS

Existen tres tipos de handovers en WCDMA: el handover suave, el handover duro y el handover entre sistemas. Un proceso de handover es iniciado en el sistema, para esto se tiene que basar en algunos criterios de RF medidos por el móvil o por el sistema, como lo es el nivel de la señal o RSSI, la calidad de la conexión y el retraso en el nivel de potencia de propagación. Este proceso

también puede depender del el tráfico actual en una célula, requerimientos de mantenimiento, niveles de interferencia.

Para identificar cuando un handover es requerido, el móvil toma mediciones de radio de las células vecinas. Estas mediciones son reportadas a la célula que esta prestando el servicio. Con esto el sistema puede encontrar la célula más viable para recibir al móvil.

El handover suave se ejecuta dentro del mismo sistema. El handover duro puede ser ejecutado por la red UTRAN/GERAN, o por UTRAN y GERAN, o incluso con la participación de la red central si las interfaces Iur entre RNSs no existen, con esto se da al usuario la función de movilidad.

El handover entre sistemas consiste en el cambio de un sistema a otro completamente diferente, por ejemplo, un cambio de UMTS a GSM. Este tipo de Handover es el más complicado ya que tiene que llenar ciertos requisitos. Primero el usuario debe contar con una Terminal que funcione en modo dual, el handover toma más tiempo debido a que tiene que sincronizarse con el sistema al que está ingresando, la transmisión debe ser detenida en UMTS y reiniciada en GSM, además de la adaptación de la tasa de transmisión del sistema.

Además en UMTS se agregaron otros tipos de handover, como el handover más suave, el handover entre frecuencias y el handover entre modos.

3.3.7 Autenticación y Parámetros de Seguridad

Los parámetros de autenticación y cifrado en UMTS utilizan las mismas bases que en GSM o GPRS. Para la autenticación mutua del usuario y de la red se

agregaron dos parámetros a los tres que existen para GSM y GPRS. Estas adiciones a los procesos de seguridad de GSM se crearon para tener la máxima compatibilidad con la red GSM ya existente.

Además de la clave única de usuario (ki) que fue discutida en el capítulo de GSM, así como el número de acceso aleatorio (RAND) se crea una secuencia SQN por el centro de autenticación, que será utilizada posteriormente para comprobar que la autenticación en proceso no se ha utilizado anteriormente. Este número de secuencia es generado por dos contadores, uno en el AuC y otro en el USIM, en el USIM se revisa cuál ha sido el mayor SQN que ha aceptado el dispositivo. El contador en el AuC incrementará con cada autenticación y la unidad móvil solo revisará que el valor actual sea mayor al anterior. El último elemento para la autenticación es el AMF o campo de administración de la autenticación.

4. CAPACIDADES DE DATOS PARA LA EVOLUCIÓN DE GSM A UMTS

4.1 Introducción

El negocio de los datos inalámbricos tiene el potencial de generar grandes ingresos a los operadores de este servicio por medio de la telefonía móvil, y las aplicaciones que podrían prestar serían como el servicio de mensajes cortos, mensajería multimedia, el protocolo de aplicaciones inalámbricas, streaming de medios, oficina móvil, e-mail, y automatización de recursos en el trabajo.

Los datos pronto representarían un porcentaje creciente del tráfico celular. Debido a que los datos constituyen un porcentaje cada vez mayor del tráfico celular, es fundamental que los operadores desplieguen tecnologías de datos que satisfagan las exigencias de rendimiento de los clientes y que estos sean eficientes desde el punto de vista espectral, y a un más cuando las aplicaciones de datos pueden demandar recursos de red.

4.2 Capacidades Tecnológicas

La migración de GSM desde tecnología de segunda generación a tecnología de tercera generación incorpora optimizaciones constantes de capacidad y eficiencia. Esto hace que existan un número mayor de aplicaciones. En GSM el soporte para datos celulares se limita a aplicaciones de datos básicas, tales como mensajería, e-mail basado en texto, descarga de tonos de llamada y carece de suficiente conectividad para acceso eficiente a Internet. Cuando se agrega GPRS a GSM se hace factible un nuevo mundo de aplicaciones, como aplicaciones empresariales, navegación Web, aplicaciones para el consumidor, y ciertas aplicaciones multimedia. EDGE amplía la capacidad de GPRS. Con

UMTS y HSDPA, los usuarios podrán acceder a teléfonos con video, música de alta fidelidad, aplicaciones multimedia, y un acceso sumamente efectivo.

Es necesario que los servicios de datos sean flexibles, tengan alta eficiencia espectral, y den soporte a una amplia variedad de aplicaciones. Los servicios de datos de la evolución GSM a UMTS proveen exactamente esta capacidad, como se resume en la tabla IX.

Tabla IX. Resumen de las capacidades de datos desde GSM a UMTS

Tecnología	Beneficios
GPRS utilizando los esquemas de codificación 1 a 2	El servicio de datos por paquetes IP entrega throughputs efectivos de hasta 40 Kbits/s.
GPRS utilizando los esquemas de codificación 1 a 4	Incluye una opción para que los operadores incrementen las velocidades del servicio GPRS de esquema 1 a 2 en un 33%.
EDGE	La tecnología de tercera generación triplica las velocidades de datos GPRS de manera efectiva y duplica su eficiencia espectral.
UMTS	El radio enlace WCDMA da soporte a servicios integrados de voz y datos flexibles, con velocidades pico de 2 Mbits/s.
HSDPA	Una optimización a WCDMA y totalmente compatible en sentido inverso, HSDPA ofrecerá velocidades de datos pico de 10 Mbits/s, mayores que las de cualquier otro servicio
Calidad de Servicio	Disponibles para EDGE como para WCDMA, los mecanismos QoS dan soporte a múltiples clases de aplicaciones.
Soporte Multimedia	Esto posibilita las aplicaciones de voz sobre IP y video
Integración con WLAN	Redes futuras integrarán a las redes celulares con hot spots WLAN.

4.2.1 GPRS

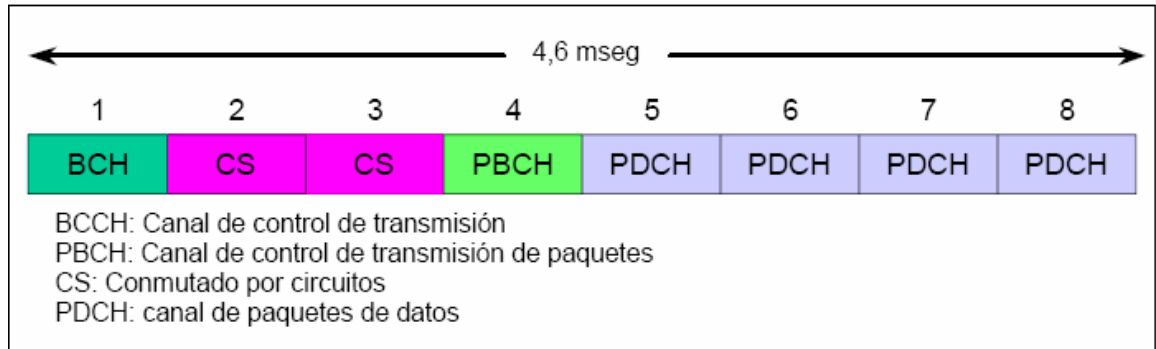
GPRS es una solución de conectividad IP basada en paquetes, que da soporte a un amplio rango de aplicaciones para empresas y consumidores. Las redes

GPRS operan como extensiones inalámbricas de Internet, y dan a los usuarios acceso a Internet así como acceso a sus organizaciones desde cualquier lugar. Si se utilizan dispositivos de cuatro ranuras de tiempo, las velocidades de *throughput* alcanzadas son de hasta 48 Kbits/s y 80 Kbits/s utilizando CS3 a CS4, y los usuarios tienen la misma velocidad efectiva de acceso que con un modem, pero con la comodidad de poder conectarse desde cualquier lugar.

La Arquitectura de GPRS se detalló en el capítulo 2. Lo significativo es que la infraestructura de paquetes puede utilizarse para dar soporte a servicios de datos en redes EDGE y WCDMA, lo que simplificará las futuras actualizaciones de red para los operadores.

En el radio enlace, GSM utiliza radio-canales de un ancho de 200 KHz, divididos temporalmente en ocho ranuras de tiempo que se repiten cada 4.6 msec, como se muestra en la figura 13. La red puede tener múltiples radio-canales (conocidos como transceptores) operando en cada sector de la celda. La red asigna diferentes funciones a cada ranura de tiempo, tales como el canal de control de transmisión, funciones conmutadas por circuitos como llamadas de voz o llamadas de datos conmutadas por circuito, el canal de control de transmisión de paquetes (optativo), y canales de datos en paquetes. La red puede ajustar dinámicamente la capacidad entre las funciones de voz y de datos, y también puede reservar una cantidad mínima de recursos para cada servicio. Esto posibilita mayor tráfico de datos cuando el tráfico de voz es bajo, o mayor tráfico de voz cuando el tráfico de datos es bajo, y maximizar el uso general de la red.

Figura 13. Estructura de ranuras de tiempo en GSM/GPRS [5]



Con respecto al rendimiento de datos, cada ranura de tiempo puede entregar velocidades de datos al usuario de aproximadamente 10 Kbits/s utilizando los esquemas de codificación de CS1 a CS2, y con los dispositivos actuales, la red puede sumar hasta cuatro de ellas en el *downlink* para entregar a los usuarios *throughputs* percibidos de datos de hasta 40 Kbits/s. Si hay múltiples usuarios de datos activos en un sector de celda, comparten los canales de datos disponibles. Esto es limitado por el total de su espectro disponible y la radio planificación.

Con los esquemas de codificación 3 y 4, GPRS tiene mayor flexibilidad en la forma en que el radio-enlace asigna bits y la forma de control de errores, lo que brinda un *throughput* incrementado y mayor calidad de señal. Con estos esquemas de codificación podemos obtener *throughput* de hasta un 33% más y una eficiencia espectral general incrementada en alrededor del 30%. Para aumentar el rendimiento y la capacidad de GPRS aún más, los operadores pueden utilizar la tecnología EDGE.

4.2.2 EDGE

EDGE es una tecnología celular oficial de 3G que puede desplegarse en las bandas de espectro de 450, 850, 900, 1800, 1900 MHz. EDGE es una potente optimización a las redes GSM/GPRS e incrementar las velocidades de datos en un factor de tres sobre GPRS, y duplica la capacidad de datos. EDGE es una actualización del software de la red únicamente. Una red que utilice la interfaz de radio EDGE técnicamente se denomina red GPRS Optimizada o *Enhanced GPRS*, y la combinación de redes de acceso de radio GSM y EDGE se conoce como GERAN. EDGE es totalmente compatible con GPRS y cualquier aplicación desarrollada para GPRS funciona también en EDGE.

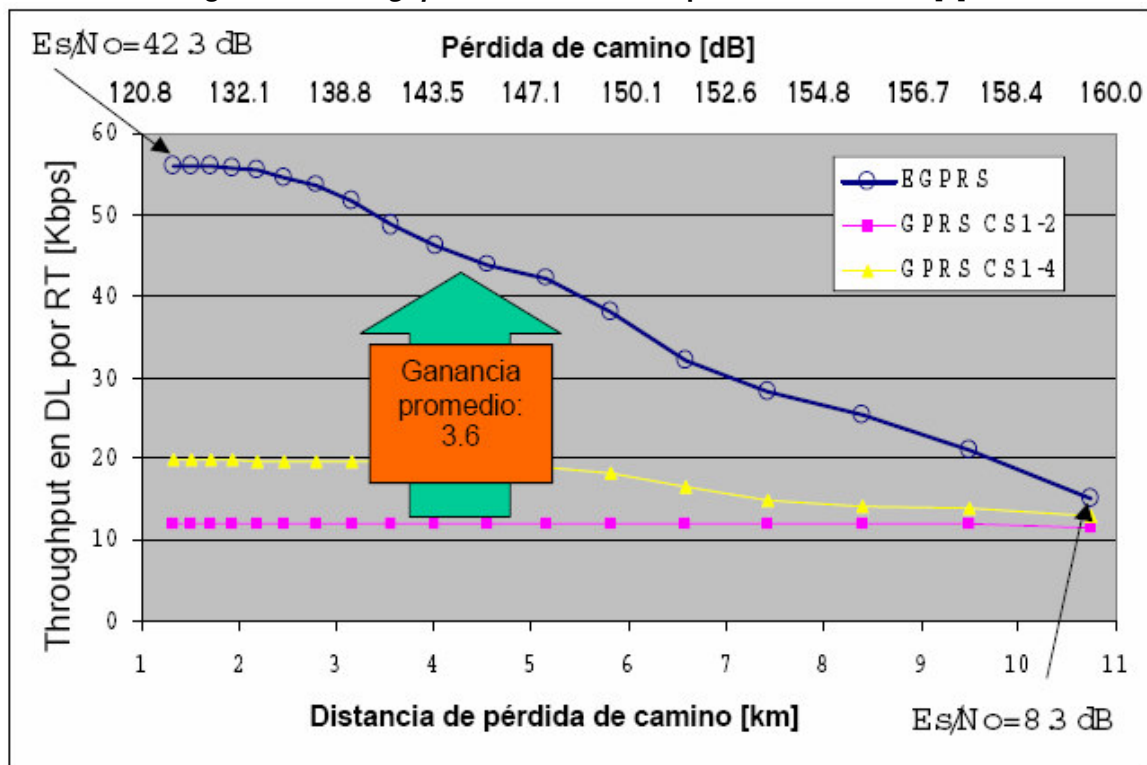
EDGE selecciona dinámicamente el esquema de modulación y codificación óptimo para el entorno de radio en ese momento. EDGE tiene la capacidad de re-transmitir un bloque de datos con una mayor cantidad de datos correctores de error, haciendo que cada re-transmisión tenga mayor probabilidad de éxito que la anterior.

Con EDGE, el *throughput* resultante por ranura de tiempo puede variar entre 8.8 Kbits/s bajo condiciones inversas y 59.2 Kbits/s con una muy buena relación portadora a interferencia. Si bien EDGE en teoría puede proveer 59.2 Kbits/s en cada una de un total de ocho ranuras de tiempo, lo que da una velocidad de red pico de 473.6 Kbits/s en ocho ranuras de tiempo, las velocidades de datos para el usuario generalmente se encuentran en el rango de 130 a 170 Kbits/s con dispositivos de cuatro ranuras de tiempo.

Al enviar más datos en cada ranura de tiempo, EDGE también incrementa la eficiencia espectral en 150% en comparación con GPRS cuando

utiliza los esquemas de codificación 1 y 2, y en 100% comparado con GPRS cuando se utilizan los esquemas de codificación 1 a 4. EDGE es tan efectivo como técnica para ampliar la capacidad de datos como es el codec Adaptable a Múltiples Velocidades (AMR) como técnica de ampliación de la capacidad de voz. Al funcionar ambos a la vez, hacen de GSM una tecnología celular sumamente eficiente. En la figura 14 podemos observar el *throughput* en el downlink (Kbits/s por ranura de tiempo) contra la distancia de pérdida de camino de hasta 11 Kilómetros. La ganancia promedio a lo largo de esta distancia para EGPRS sobre GPRS con esquemas de codificación 1 a 4 es de 2.6. La ganancia promedio sobre GPRS con esquemas de codificación 1 a 2 es de 3.6.

Figura 14. *Throughput* versus distancia para EGPRS/EDGE [5]



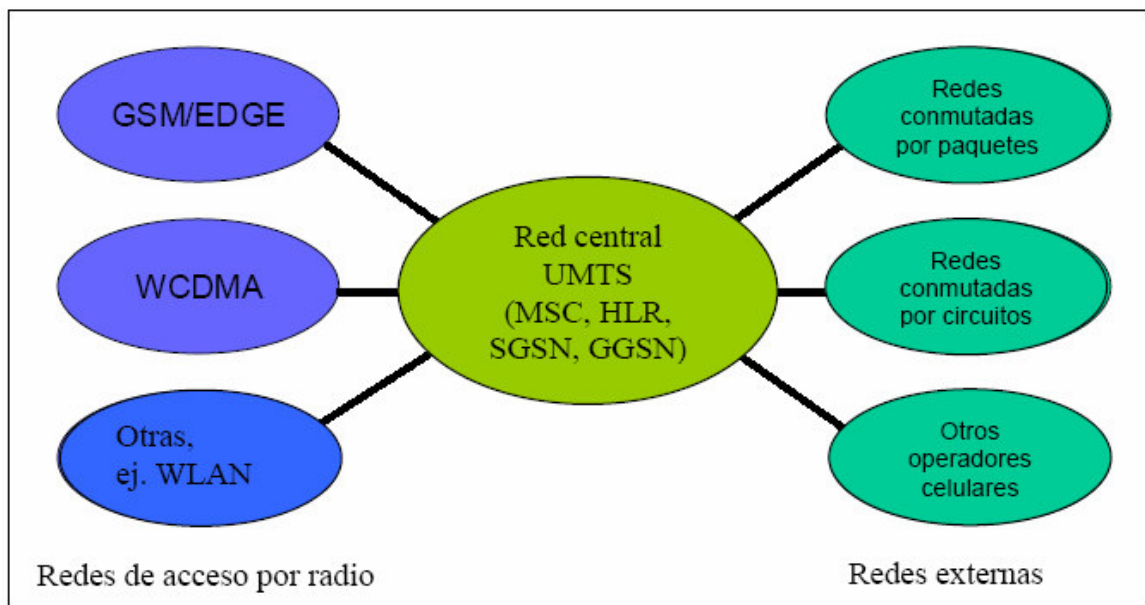
Con las capacidades de datos y la eficiencia espectral de EDGE, y la eficiencia espectral de GSM para servicios de voz, los operadores pueden

utilizar tecnología GSM para entregar una amplia variedad de servicios de datos que resultan satisfactorios para los usuarios, más allá de EDGE, los operadores pueden expandir sus ofrecimientos de datos aún más con UMTS.

4.2.3 UMTS/WCDMA

UMTS emplea una tecnología de radio-acceso CDMA de banda ancha. Los beneficios primarios de UMTS incluyen alta eficiencia espectral, altas densidades de usuarios, y soporte para aplicaciones de datos de elevado ancho de banda. Además, los operadores pueden utilizar una red central común que dé soporte a múltiples redes de radio-acceso, entre ellas GSM, GPRS, EDGE, y WCDMA. Esta red central común utiliza los mismos elementos de red que GPRS, incluyendo el SGSN, GGSN, el MSC, y el HLR. Esto se denomina la red UMTS Multi-radio, y brinda un máximo de flexibilidad a los operadores para la provisión de distintos servicios en sus áreas de cobertura. Esta red se muestra en la figura 15.

Figura 15. Red UMTS Multi-radio [5]



Mientras GSM es un sistema de espectro expandido basado en división de tiempo en combinación con salto de frecuencia, WCDMA es un sistema de espectro expandido basado en secuencia directa. WCDMA es más eficiente desde el punto de vista espectral que GSM, pero su mayor ventaja la proporciona la naturaleza de banda ancha que tiene WCDMA. Si bien WCDMA es considerado un sistema que utiliza división de código, en realidad es una combinación de acceso múltiple por división de código y acceso múltiple por división de tiempo. Una optimización con respecto a GPRS es que los canales de control que normalmente transportan datos de señalización también puedan transportar pequeñas cantidades de datos en paquetes, lo que reduce el tiempo de establecimiento de las comunicaciones de datos.

En WCDMA, los canales de datos pueden dar soporte hasta 2 Mbits/s de *throughput* de datos. Si bien el *throughput* exacto depende de cuál sea el tamaño de los canales que el operador decide dar y la cantidad de usuarios activos en la red, los usuarios pueden esperar *throughputs* de hasta 384 kbits/s, lo que es satisfactorio para cualquier aplicación de datos.

En una red UMTS Multi-radio, los operadores pueden asignar canales de EDGE a los usuarios de bajo ancho de banda y canales WCDMA a otros usuarios, optimizando así el rendimiento y la eficiencia general de la red, y maximizando la cantidad de aplicaciones para el usuario a las que se puede dar soporte.

UMTS emplea una sofisticada arquitectura de calidad de servicio para datos que contempla cuatro clases fundamentales de tráfico, que incluyen:

- ✓ **Conversación:** Datos interactivos en tiempo real con ancho de banda controlado y retardo mínimo, como en voz sobre IP o videoconferencia.

- ✓ **Streaming:** Datos continuos con ancho de banda controlado y cierto retardo, como en música o video.
- ✓ **Interactivo:** Datos en ambas direcciones sin control de ancho de banda y cierto retardo, como en la navegación Web.
- ✓ **Subordinado:** Datos de prioridad inferior que no se transmiten en tiempo real, como transferencia de lotes de datos.

Los mecanismo de QoS son también una aspecto importante de otra arquitectura UMTS llamada Subsistema IP Multimedial (IMS), un enfoque centrado en IP en que la red maneja todo el trafico, se trate de voz o datos, como trafico IP, y lo rutea a través del SGSN y el GGSN. Esto elimina de manera efectiva el centro de conmutación móvil. Los beneficios de utilizar IMS incluyen el uso más eficiente de los recursos de radio debido a que toda la comunicación se maneja en el dominio de los paquetes.

4.2.4 HSDPA

Acceso de paquetes de Alta Velocidad en Downlink es una optimización de WCDMA que entrega una capacidad para datos celulares de alto rendimiento, con velocidades pico de aproximadamente 10 Mbits/s. HSDPA es totalmente compatible con WCDMA, y cualquier aplicación desarrollada para WCDMA funciona también en HSDPA.

HSDPA alcanza sus velocidades elevadas mediante las mismas técnicas que amplifican el rendimiento de EDGE más allá de GPRS. Esta incluye la añadidura de modulación de orden más elevado, como 16-QAM, codificación variable de errores, y adaptación veloz del enlace a las condiciones de radio en ese momento, ajustando la modulación y la codificación según sea necesario.

Además, HSDPA utiliza un mecanismo de programación eficiente para determinar cuál usuario obtiene recursos. HSDPA provee el doble de capacidad que WCDMA.

4.3 Tecnologías Comparadas

Habiendo descrito las capacidades tecnológicas de las diversas tecnologías, ahora se detallara la comparación cuantitativa tanto en rendimiento para el usuario final, como la en eficiencia espectral, que también puede ser llamado como *throughput* total de la red.

4.3.1 Comparación en Rendimiento

En la tabla X se muestra la velocidad pico de la red, esto se refiere al *throughput* máximo especificado que puede entregar la red en teoría por portadora por sector, y también se muestra el *throughput* promedio para el usuario, esto se refiere a las velocidades de datos características que podrá esperar experimentar el usuario con estos servicios. Una observación importante podría ser el aumento significativo de rendimiento al pasar de GPRS a EDGE a UMTS y a HSDPA.

Tabla X. Comparación de rendimiento de datos entre distintas tecnologías

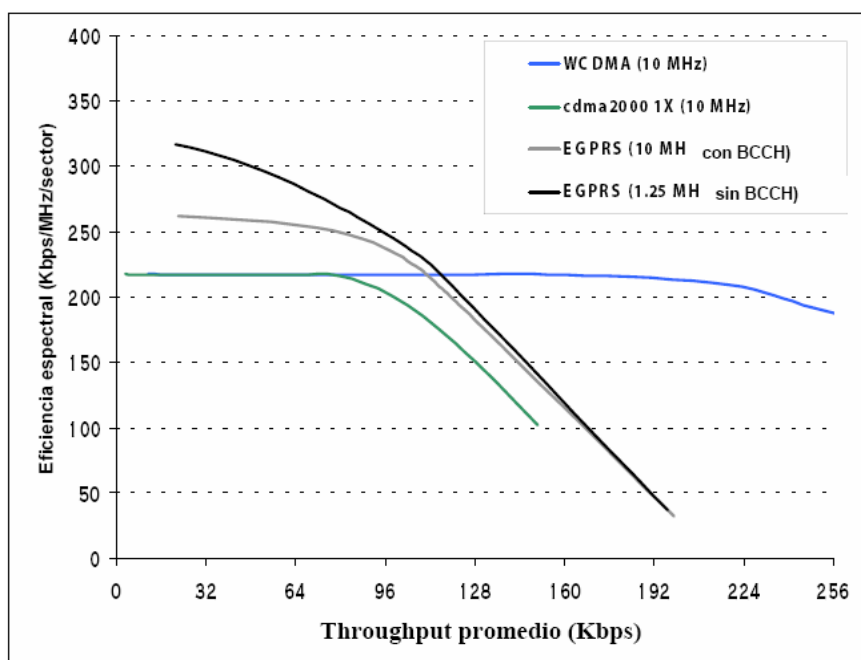
Tecnología	Velocidad Pico de la red	<i>Throughputs</i> promedio esperados para el usuario
GPRS CS1 a CS2	115 Kbits/s	35 a 40 Kbits/s
EDGE	473 Kbits/s	110 a 130 Kbits/s
UMTS	2 Mbits/s	200 a 300 Kbits/s
HSDPA	10 Mbits/s	Podrá duplicar las velocidades de WCDMA

4.3.2 Comparación de eficiencia espectral

En esta sección se comparan las eficiencias espectrales de las diferentes tecnologías. En la figura 16 se muestra la eficiencia espectral en Kbits/s por MHz por sector, versus *throughputs* promedio para el usuario en Kbits/s. En el eje Y del grafico muestra la carga máxima a la que puede dar soporte la red para el requerimiento de *throughput* que se expresa en el eje X. La figura 16 compara a EDGE con WCDMA y CDMA2000.

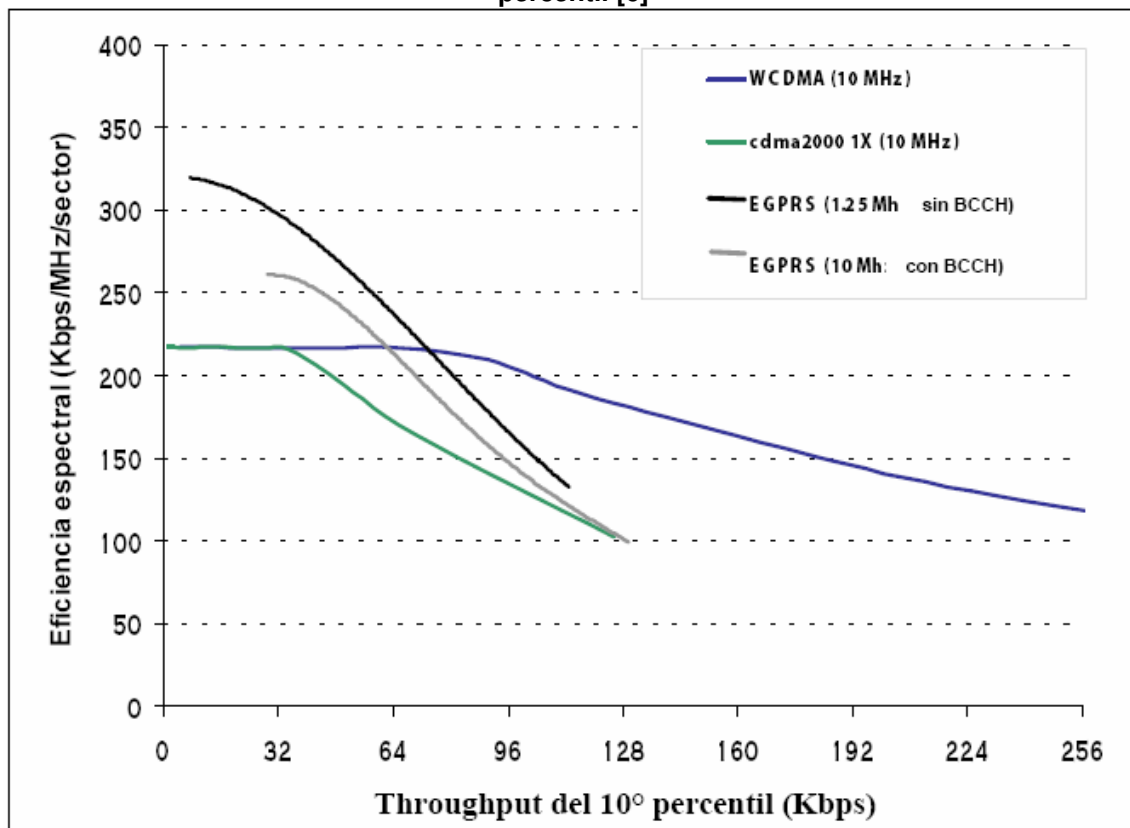
Para el *Throughput* promedio, en la figura se muestra que EDGE tiene la mayor eficiencia espectral para velocidades de datos por debajo de 100 Kbits/s. Para velocidades de datos de más de 100 Kbits/s, WCDMA tiene la mayor eficiencia espectral. En los casos en que EDGE se despliegue en una banda de 1.25 MHz sin un canal de control y utilizando dos transceptores, la eficiencia espectral es aún mayor.

Figura 16. Comparación de Eficiencia espectral basada en *throughput* promedio [6]



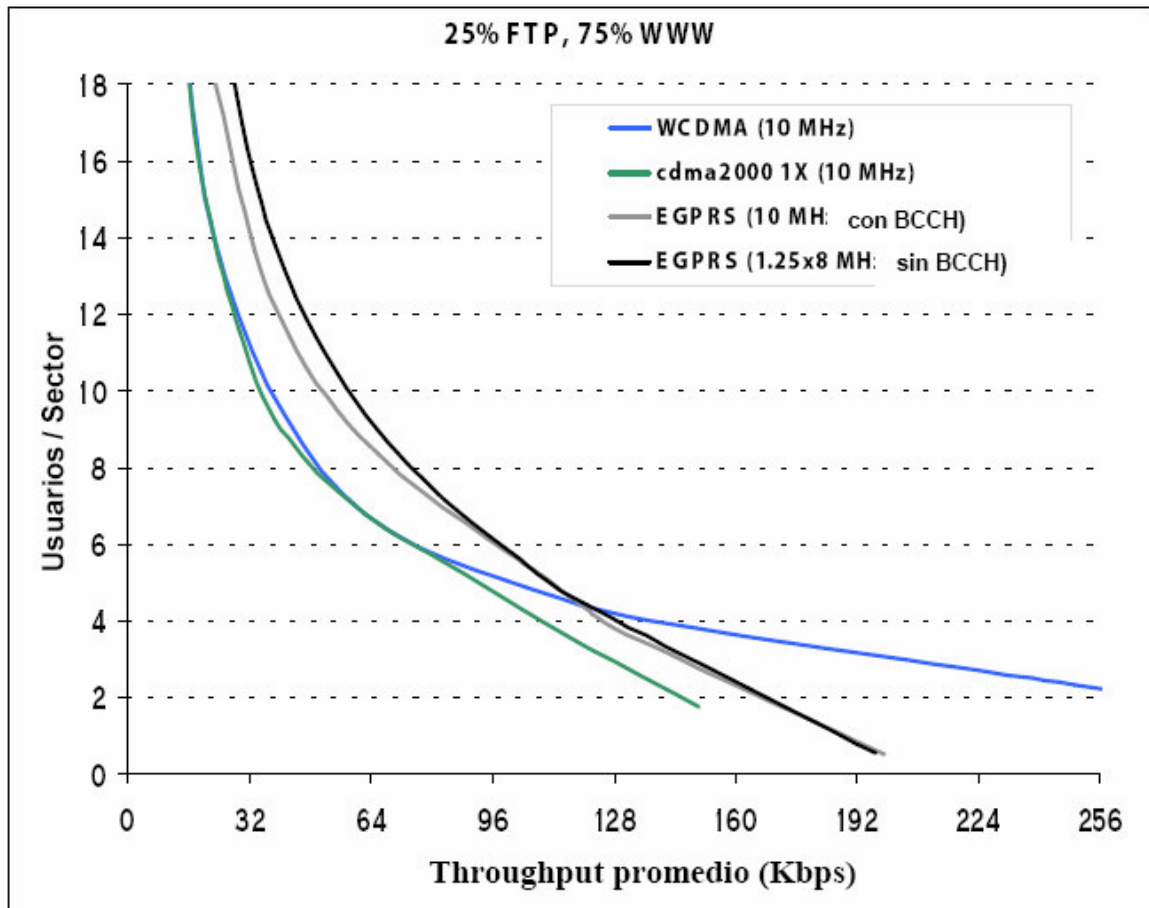
En la figura 17 se muestra la eficiencia espectral en Kbits/s por MHz por sector versus el *throughput* del décimo percentil en Kbits/s, y compara a EDGE con WCDMA y CDMA2000. La importancia de utilizar el décimo percentil es que el noventa por ciento de los usuarios obtienen velocidades de datos mayores que esa cantidad. En esta comparación, EDGE es la tecnología más eficiente desde el punto de vista del espectro en velocidades menores a los 75Kbits/s.

Figura 17. Comparación de eficiencia espectral basada en *throughput* del décimo percentil [6]



En la figura 18 se muestra la cantidad de usuarios a los que se puede dar soporte por sector en 10 MHz, versus el *throughput* promedio. Esta comparación se basa en las dos comparaciones anteriores, aunque se utiliza un modelo de tráfico diferente, y provee una comparación alternativa de eficiencia espectral.

Figura 18. Usuarios por sector en 10 MHz versus *throughput* promedio [6]



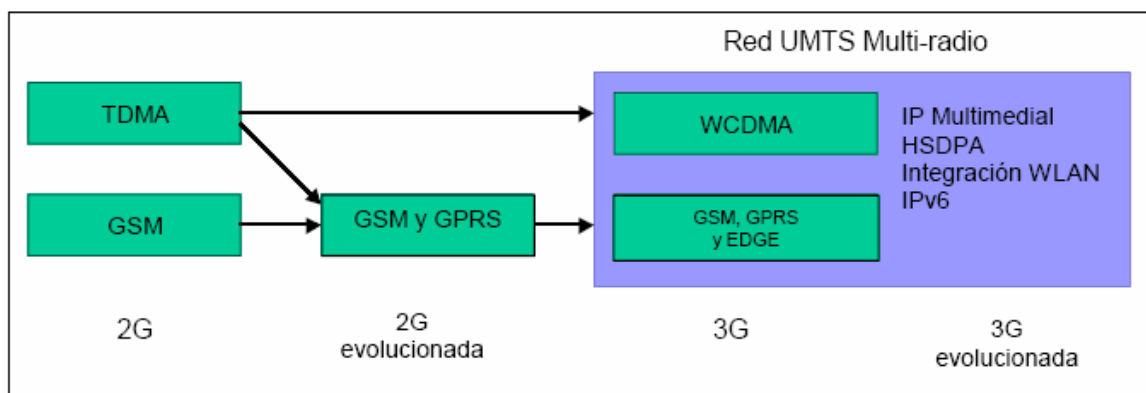
EDGE es la que promete ser la de mayor eficiencia espectral para *throughputs* de datos inferiores y WCDMA la de mayor eficiencia espectral para los *throughputs* de datos más elevados, y la red UMTS Multi-radio que combina redes de acceso EDGE y WCDMA, entregará el rendimiento de datos más elevado y eficiente.

4.4 Caminos Evolutivos desde GPRS a UMTS

A continuación se detallará la evolución de la capacidad de datos desde GPRS a UMTS y las etapas que atravesarán los operadores al evolucionar sus redes.

Esta evolución se describe en la figura 19, esto ocurre a lo largo de varias fases, primero agregando GPRS a una res existente GSM, seguida de la primera fase de capacidad 3G utilizando redes de radio-acceso EDGE y UMTS, y por ultimo por la capacidad de 3G evolucionada a través de la optimizaciones tale como redes totalmente IP.

Figura 19. Evolución GPRS a UMTS [5]



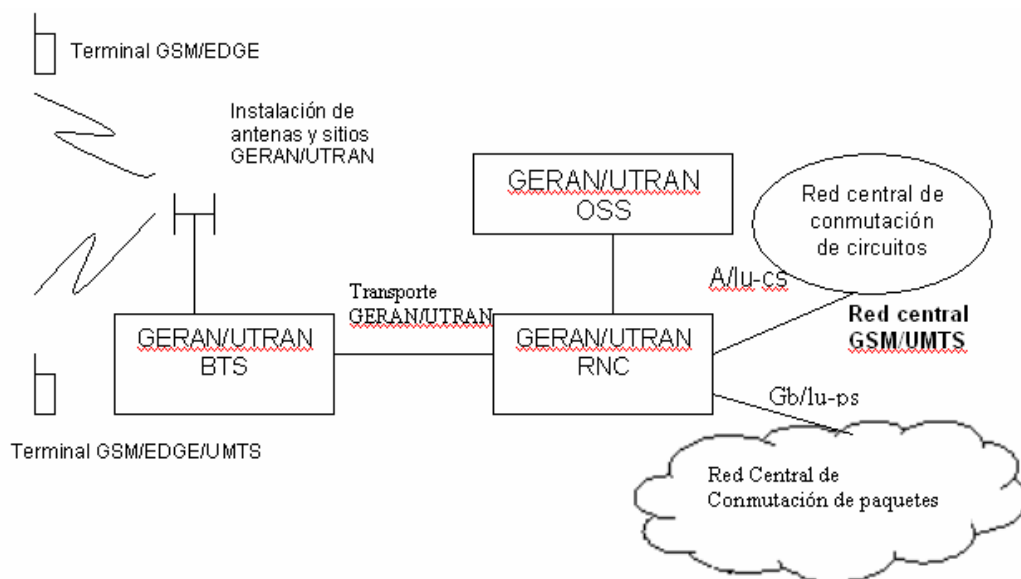
Los operadores de redes GSM existentes han optimizado sus redes para dar soporte a GPRS mediante la añadidura de la infraestructura GPRS. Esto se puede hacer utilizando las celdas, transceptores e infraestructuras de interconexión existentes. Los operadores TDMA y CDMA también tienen la opción de evolucionar sus redes a GSM/UMTS.

La primera actualización de importancia para GPRS es EDGE, esto es una actualización relativamente directa a GPRS para carriers GSM. EDGE utiliza los mismos radio-canales y ranuras de tiempo que GSM y GPRS, es decir que no requiere recursos adicionales de espectro y en EDGE se puede utilizar el espectro existente de una manera más eficiente. Para una red GSM/GPRS ya existente, EDGE es mayormente una actualización de software en las BTS y las BSC.

Para los operadores que cuentan con EDGE, pueden optimizar sus capacidades de aplicaciones mediante el despliegue del Subsistema IP Multimedial en sus redes centrales, que también pueden dar soporte a una red de radio-acceso WCDMA.

Los operadores pueden desplegar UMTS para aumentar su funcionalidad y capacidad. UMTS es una tecnología complementaria de EDGE, o una alternativa. UMTS implica una red de radio-acceso nueva, pero tiene varios factores que facilitarían su adaptación. Primero, el hecho de que la mayoría de las celdas UMTS pueden co-ubicarse con celdas GSM. Segundo factor es que puede utilizarse una buena parte de la red central GSM/GPRS (actualización del SGSN y el centro de conmutación móvil, el GGSN continua igual). Las redes GSM y UMTS comparten muchos aspectos como: arquitectura de paquetes, arquitectura de calidad de servicio, administración de la movilidad y administración de la cuneta del abonado. La figura 20 muestra la integración física de los elementos funcionales de una red UMTS Multi-radio.

Figura 20. Integración del Equipo Central de red UMTS y GSM/EGE



5. DISEÑO DE REDES DE ACCESO EN SISTEMAS MÓVILES UMTS CON SOPORTE DE CALIDAD DE SERVICIO

5.1 Introducción

En este capítulo se aborda desde el punto de vista práctico el problema del dimensionado de la red de acceso de radio UTRAN para UMTS. Tomando como objetivos fundamentales la optimización de recursos de transmisión y el soporte de QoS, se analizarán los principales parámetros y alternativas de diseño a considerar en un escenario de despliegue real.

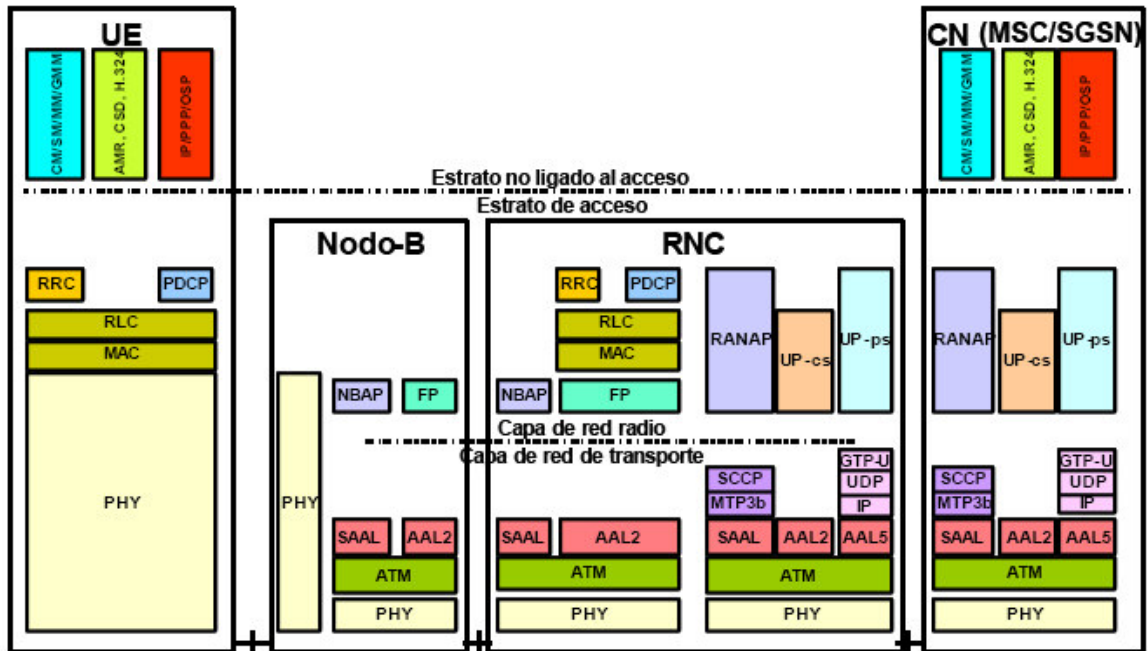
5.2 Fundamentos de UMTS

En el capítulo tres se describió la arquitectura de una red UMTS y cada uno de sus nodos dentro de la red por lo que ahora se detallará los protocolos UTRAN y la calidad de servicio para UMTS.

5.2.1 Protocolos UTRAN

Como se puede observar en la figura 21 se muestran, de manera simplificada los diversos bloques que componen la arquitectura de protocolos UTRAN.

Figura 21. Arquitectura de Protocolos UTRAN [7]



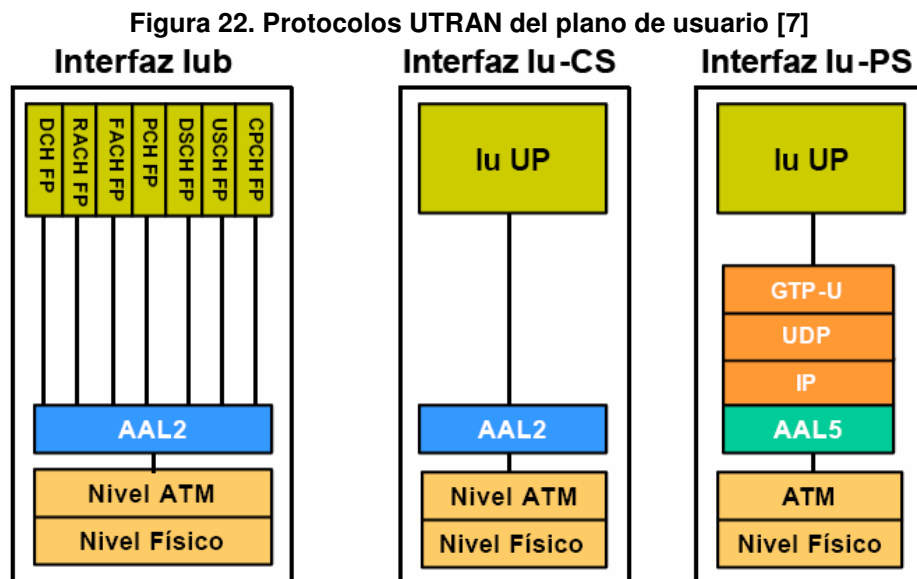
Los protocolos de UTRAN se estructuran en dos capas: la capa de radio RNL por sus siglas en inglés *Radio Network Layer* y la capa de red de transporte TNL por sus siglas en inglés *Transport Network Layer*. Esta descomposición en dos capas tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema UMTS (específicas para RNL), de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada (específicas de TNL).

La capa de red de transporte TNL se articula en torno de ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). La información que se transporta sobre ATM es básicamente de dos tipos:

- ✓ Información móvil-red: se trata de la información, señalización o tráfico de usuario, que intercambian entre sí los móviles y el nodo de entrada al núcleo de red. Este nodo será un MSC (*Mobile Switching Center*) en caso de una conmutación de circuitos, o un SGSN (*Serving GPRS Support Node*) en el caso de conmutación de paquetes.

- ✓ Señalización UTRAN: Se trata de información intercambiada entre Nodos-Bs y RNCs (protocolo NBAP, *Node-B Application Part*), entre RNCs y Núcleo de Red (protocolo RANAP, *Radio Access Network Protocol*) y entre RNCs (RNSAP, *Radio Network Subsystem Application Part*).

En la figura 22 se muestra con detalle los protocolos involucrados en el plano de usuario de las interfaces Iub, Iu-CS e Iu-PS. Los protocolos de adaptación ATM utilizados en cada caso son AAL2 para Iub, Iu-CS e Iu-PS y AAL5 para Iu-PS.



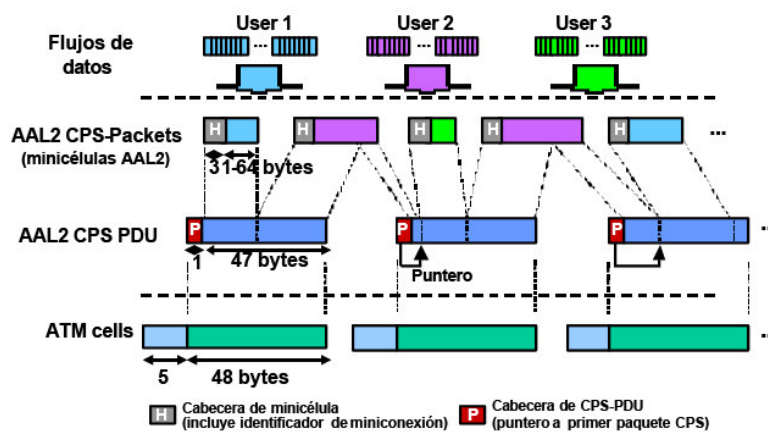
Desde la perspectiva del plano de usuario, la interfaz Iub puede considerarse como una prolongación de la interfaz de radio. Como podemos observar en la figura 21 los protocolos de radio (RRC/RLC/MAC) terminan en el RNC. El transporte de las tramas radio (MAC) entre un Nodo-B y su correspondiente RNC se basa en la utilización del protocolo AAL2, de modo que cada canal de radio emplea una miniconexión AAL2. Un circuito virtual ATM

permite la multiplexión eficiente de varios flujos de datos (hasta 248 miniconexiones) para el protocolo AAL2.

El funcionamiento del protocolo AAL2 se detalla en la figura 23. En un primer paso, cada flujo de datos se convierte en un flujo de paquetes CPS (*Common Part Sublayer*), genéricamente denominados minicélulas AAL2, con una cabecera de tres octetos y una carga útil de 1 a 45 o de 1 a 64 octetos. Los flujos de minicélulas resultantes son multiplexados a continuación formando bloques de 47 octetos. Añadiendo a cada bloque un octeto adicional (un puntero que facilita la recuperación ante pérdidas en recepción), se forman los segmentos de 48 octetos (CPS PDUs) con los que se rellena la carga útil de las células ATM de la conexión.

En el caso de la interfaz lu-CS, el empleo de AAL2 constituye la mejor opción para el transporte eficiente de flujos de datos modo circuito (paquetes de voz, datos modo circuito, fax, etc...). En el caso de lu-PS, la solución adoptada consiste en el empleo de un túnel IP (protocolo GTP, *GPRS Tunneling Protocol*) por sesión de datos, recurriéndose al protocolo AAL habitual para el transporte de IP, esto es, el protocolo AAL5.

Figura 23. Protocolo de adaptación ATM tipo 2 (AAL2) [7]



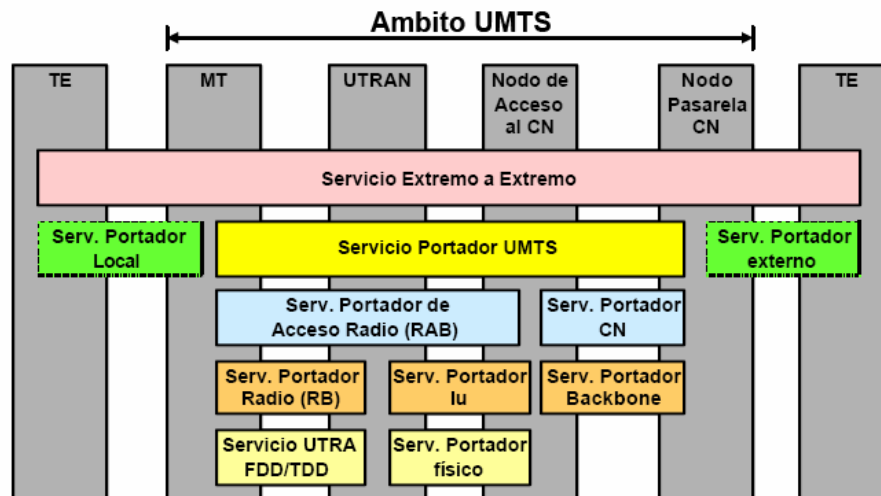
5.3 Calidad de servicio en UMTS

El soporte de QoS en UMTS se basa en la arquitectura jerárquica definida en la figura 24. La calidad de servicio extremo a extremo se sustenta en la calidad que proporciona los servicios portadores subyacentes: el servicio portador local, el servicio portador UMTS y el servicio portador extremo. Esta primera descomposición tiene como objetivo no limitar innecesariamente los equipos terminales a emplear (por ejemplo una PC) y las posibles redes destino (por ejemplo Internet) con la que comunicarse. Por este motivo se centrará exclusivamente en la normalización del servicio portador UMTS, dejando fuera los servicios de portador local y externo.

En una segunda descomposición, el servicio portador UMTS se sustenta en los QoS que le proporciona el servicio portador de acceso de radio (RAB) y el servicio portador núcleo de red. El primero abarca el trayecto comprendido entre la terminal móvil y el nodo de acceso al núcleo de red (un MSC o un SGSN, según sea el caso), pasando a través de la interfaz de radio (Uu), la red de acceso de radio (UTRAN), y la interfaz Iu. El concepto de RAB es determinante en la provisión de servicios UMTS con distintos perfiles de calidad de servicio, puesto que implica la utilización de recursos sobre la interfaz radio y la red de acceso, precisamente donde se presentan las mayores limitaciones de ancho de banda.

El servicio portador de núcleo de red, abarca el trayecto comprendido entre el nodo de acceso (MSC o SGSN) hasta el nodo pasarela (GMSC o GGSN) hacia la red destino de interés (ejemplo PSTN o Internet). La QoS en este trayecto lo proporciona el correspondiente *backbone*.

Figura 24. Arquitectura de calidad de servicio UMTS [8]



Desde el punto de vista de los requisitos de QoS, y atendiendo fundamentalmente al criterio de su tolerancia al retardo, en UMTS se han definido cuatro clases de tráfico (como se menciona en el capítulo 4):

- ✓ **Conversacional.** Dentro de esta clase se encuadran las comunicaciones de audio y video en tiempo real entre personas. Este tipo de comunicaciones se caracteriza por exigir un retardo extremo a extremo muy reducido, con objeto de que los usuarios no pierdan la sensación de interactividad. Ejemplos de aplicaciones conversacionales son la telefonía, la videotelefonía o la videoconferencia.
- ✓ **Streaming.** Afluente, en esta categoría se incluyen las aplicaciones que permiten a los usuarios la descarga de contenidos multimedia (audio y video clips) para su reproducción on-line, con una sensación que, sin serlo, se aproxima a la de tiempo real. El hecho de que la transferencia de información sea unidireccional permite retrasar el instante de inicio de la reproducción permitiéndole empleo de buffers relativamente grandes en el extremo receptor para absorber las fluctuaciones de retardo.
- ✓ **Interactivo.** Esta clase de tráfico engloba las aplicaciones de acceso remoto a información en la modalidad on-line, donde el usuario envía

peticiones hacia el equipo remoto esperando que este devuelva las respuestas en un tiempo razonable reducido. Ejemplos de aplicaciones bajo esta categoría son la navegación web, las consultas a bases de datos o el acceso remoto a ordenadores.

- ✓ **Background.** Diferible, esta última clase da cabida a un número considerable de aplicaciones de datos en las que el usuario no exige una respuesta inmediata por parte de la red, admitiendo retardos que oscilan desde unos pocos segundos hasta incluso varios minutos. Ejemplo de tales aplicaciones son el correo electrónico o la descarga de ficheros.

5.3 Dimensionado de UTRAN

El empleo de una tecnología de conmutación de paquetes, como lo es ATM, en UTRAN supone un cambio trascendental en relación con los actuales sistemas 2G, basados en conmutación de circuitos. Este cambio afecta a la metodología de dimensionado, puesto que los clásicos modelos de *Erlang* utilizados en las redes 2G no son de aplicación directa en la conmutación de paquetes.

El dimensionado de UTRAN debe inspirarse en los modelos desarrollados dentro del ámbito de las redes multiservicio con garantías de QoS. Al dimensionar UTRAN requiere la consideración de múltiples factores, entre los que cabe considerar los siguientes:

- ✓ La carga de tráfico a soportar en cada interfaz, tomando en cuenta las distintas contribuciones (tráfico de usuario, señalización, gestión, sobrecarga de cabeceras, etc.)
- ✓ Los parámetros de tráfico de fuentes (tasa de pico, tasa media, factor de actividad, etc.)
- ✓ Los requisitos de QoS (tolerancia a las pérdidas y retardos) asociados a cada tipo de tráfico.

- ✓ Las diferentes estrategias de multiplexión de tráfico sobre ATM y el ahorro de ancho de banda que estas pueden proporcionar (ganancia por multiplexión estadística).
- ✓ Las políticas de gestión de tráfico (control de admisión, priorización de tráfico, control de congestión, etc.)

La consideración detallada de todos estos factores puede conducir a modelos analíticos muy complejos. Es por esto que en la práctica suele recurrirse a modelos simplificados, como los modelos con varios estados o modelo de fluidos, etc., o a empleo de técnicas de simulación. En los siguientes apartados se proporcionan una serie de pautas acerca de cómo abordar en la práctica los diferentes factores antes mencionados.

5.3.1 Carga de tráfico

Uno de los puntos de partida esenciales en el dimensionado de cualquier red de comunicaciones es el conocimiento acerca de la demanda de tráfico a cursar. En el caso de UMTS, su naturaleza multiservicio requiere el desglose de las previsiones de tráfico por servicio o, al menos, por clases de tráfico. Las consideraciones de tráfico a aplicar en UTRAN deben estar de acuerdo con las utilizadas en el proceso de planificación de radio. El resultado principal de este proceso es la determinación del número de Nodos-B necesarios para cubrir una determinada zona geográfica según criterios de cobertura, previsiones de tráfico y grado de servicio. Puesto que el cuello de botella en las redes celulares normalmente está en la interfaz de radio, puede plantearse como criterio inicial para el dimensionado de UTRAN su capacidad para cursar todo(o casi todo) el tráfico que la interfaz de aire puede admitir.

Además del tráfico debido a las aplicaciones utilizadas por los usuarios, es necesario tener en cuenta otros: señalización móvil-red, señalización UTRAN (NBAP, RNSAP, RANAP), y tráfico de gestión (OAM, *Operation and Maintenance*). En el caso de las interfaces Iub e Iur también debe considerarse la contribución adicional debida a trasposos suaves. A la hora de efectuar los cálculos es necesario tomar en cuenta también las sobrecargas debidas a las cabeceras de los distintos protocolos UTRAN.

5.3.2 Modelos de tráfico

En este apartado se propone un modelo de tráfico que se estima apropiado para el dimensionado de UTRAN. Se trata de un modelo aplicable a las cuatro clases de tráfico, y capaz de representar las tasa variable que muchas fuentes de tráfico exhiben en la realidad, posibilitando la consideración y evaluación del efecto de la multiplexión estadística en la fase de dimensionado.

En este apartado se estudia la red de transporte ATM de UTRAN, en los modelos de tráfico se considera no sólo el comportamiento de la aplicación en sí, sino las características relevantes de los protocolos de la capa de red de radio. En el caso de aplicaciones asimétricas, se supondrá implícitamente que se modela el sentido descendente de la comunicación, por ser esta el que presenta más cantidad de tráfico.

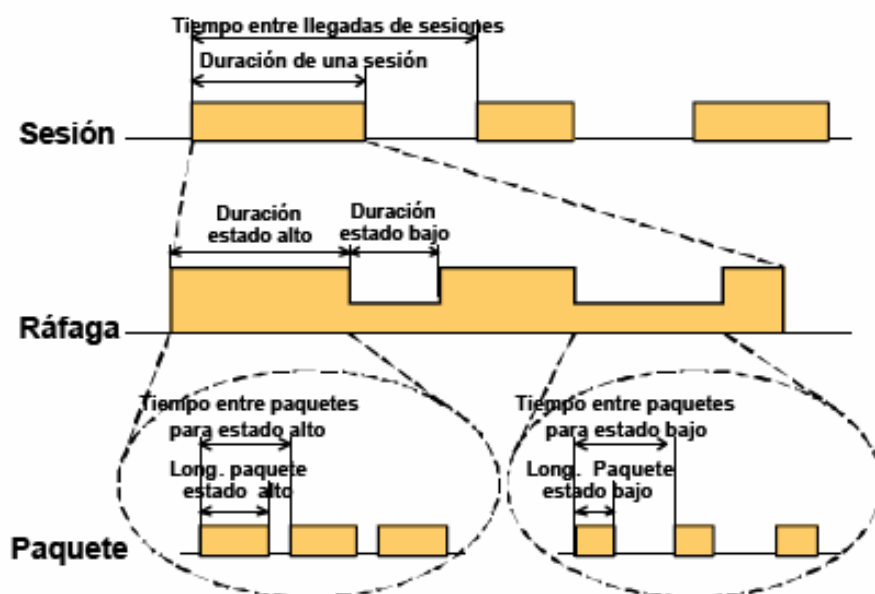
Este modelo de tráfico propone 3 niveles a considerar, los cuales se muestran en la figura 25. Los tres niveles considerados son los siguientes:

- ✓ **Nivel de Sesión.** Mediante este nivel se modela el inicio y final de una sesión de usuario (por ejemplo, una llamada de voz, o una sesión de navegación Web). A este nivel los parámetros relevantes son los

patrones de llegada y de duración de las sesiones. En caso de que, como resultado de la fase de planificación de radio, se disponga de información acerca del número de usuarios activos simultáneamente por cada Nodo-B, este nivel se podría suponer, a la hora de dimensionar UTRAN, que todos los usuarios se encuentran dentro de una sesión activa.

- ✓ **Nivel de ráfaga.** Cuando un usuario se encuentra activo, dentro de una sesión, su patrón de generación de tráfico se modela mediante dos estados (alto y bajo) con características diferenciadas de generación de paquetes. Los datos necesarios para la completa caracterización de este nivel son las distribuciones estadísticas de la duración de cada uno de los estados.
- ✓ **Nivel de paquete.** A este nivel se especifica, dentro de cada uno de los dos estados del nivel anterior, el proceso estadístico de generación de paquetes. Las distribuciones del tiempo entre llegadas de paquetes y el tamaño de los paquetes son los aspectos significativos.

Figura 25. Modelo de fuente en tres niveles [9]



5.3.3 Parámetros de QoS

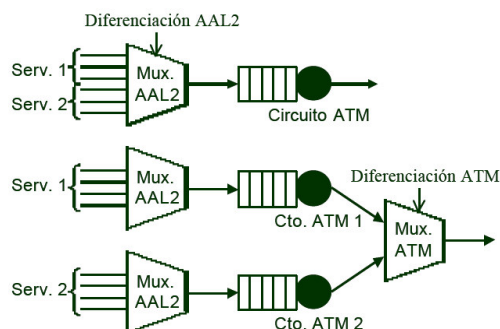
Cada clase de tráfico impone un conjunto de requisitos de QoS para cuya satisfacción la red de transporte debe ser cuidadosamente dimensionada en cada uno de sus tramos. De todo los parámetros de QoS que las especificaciones de UMTS definen, dos de los que mas claramente influyen en el dimensionado de UTRAN son el ratio de errores y el retardo máximo de transferencia, este ultimo para las dos clases de tiempo real: conversacional y afluente.

5.3.4 Estrategias de Multiplexión y Tipos de Conexiones

A partir de lo expuesto anteriormente, puede decirse que la QoS en UTRAN viene determinada por la capacidad para diferenciar tipos de tráfico en los niveles ATM y AAL.

Existen dos métodos básicos para proporcionar diferenciación de tráfico a nivel AAL2/ATM, que son: diferenciación de tráfico a nivel AAL2 y a nivel ATM. En el caso de UTRAN, cabe considerar la aplicación de dichos métodos en las interfaces lub, lur e lu-CS. En la figura 26 se ilustra los dos métodos mencionados suponiendo solo dos tipos de servicios.

Figura 26. Métodos básicos de diferenciación de tráfico [10]



Resumidamente, el funcionamiento de cada uno de los métodos es:

- ✓ Solo a nivel AAL2. El multiplexor AAL2 incluye algún método de diferenciación de tráfico, como un planificador capaz de dar distinto tratamiento a los paquetes de distintos servicios. Posteriormente todo el tráfico se envía por el mismo circuito ATM, por lo tanto, en este caso a nivel de ATM no se utiliza gestión de tráfico.
- ✓ Solo a nivel ATM. En este caso conceptualmente se tiene un multiplexor AAL2 dedicado a cada tipo de servicio, con lo que el tráfico de entrada de cada uno es homogéneo, y no es necesario realizar diferenciación a este nivel. Sin embargo, la salida de cada multiplexor será transportada por un circuito ATM distinto, cada uno del tipo y parámetros adecuados al tratamiento que requiera el servicio. Es decir, se utiliza los mecanismos de gestión de tráfico que proporciona ATM.
- ✓ Existe la posibilidad de realizar diferenciación a los dos niveles: AAL2 y ATM.

Puesto que los diversos tipos de circuitos proporcionan garantías de QoS distintas, una posible decisión es dedicar un circuito ATM adecuadamente dimensionado para cada clase de tráfico de usuario. Adicionalmente, y puesto que se trata de un tipo de tráfico vital para el funcionamiento de la red, se podría decidir la utilización de un circuito exclusivo para el tráfico de señalización. El tipo de circuito a utilizar para cada clase de tráfico es otro de los aspectos a determinar. Hay múltiples posibilidades para este aspecto, como por ejemplo, parece adecuado utilizar circuitos de tipo CBR para el tráfico de voz o que requieran de un aislamiento especial debido a sus requisitos de retardo, y se podría utilizar circuitos de tasa variable (VBR-rt o VBR-nrt) para datos de las clases afluente o interactivo. La clase diferible, al carecer de requisitos de QoS, parece una buena candidata para ser transportada sobre un circuito UBR.

Cada circuito virtual ATM (VCC, *Virtual Channel Connection*) puede transportar hasta 248 miniconexiones AAL2, correspondientes a otras tantas comunicaciones de usuarios que, en caso de ofrecer un comportamiento de tasa variable, podrían exhibir ganancia por multiplexión estadística. A la hora de estimar el ancho de banda requerido, podemos aplicar algún método de aproximación, como por ejemplo los métodos de fluidos.

5.4 Diseño de la red de Transmisión

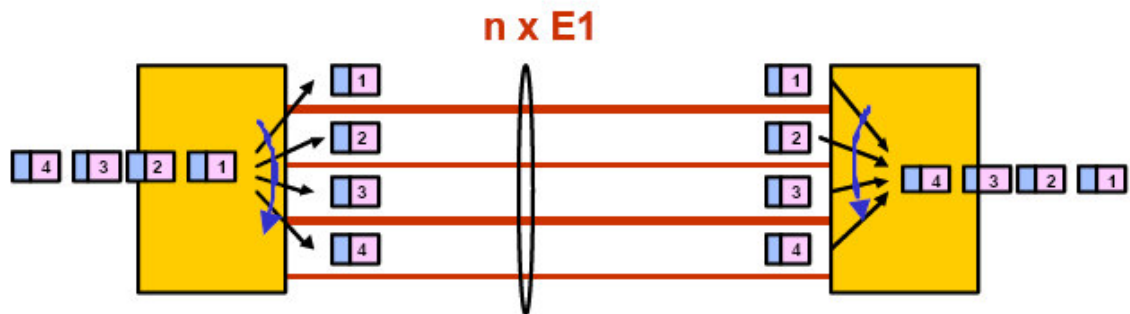
5.4.1 Interfaces de transmisión

A la hora de seleccionar la infraestructura de transmisión a emplear en UTRAN, cabe recurrir a cualquiera de las soluciones tradicionales: coaxial, fibra óptica o radioenlaces. Gracias a la existencia de numerosos interfaces ATM normalizados, los esquemas de transmisión sobre dichos medios pueden ser los habituales PDH (por ejemplo E1, E3, etc.) o SDH (por ejemplo STM-1).

Uno de los principales tipos de interfaces a utilizar en la fase inicial de despliegue de UMTS puede ser las interfaces PDH. En particular, para células con poco tráfico, cabe la posibilidad de pensar en la utilización de interfaces E1 (2048 Kbit/s) explotados en ATM. Si el tráfico en la célula es mayor, se puede pensar en la utilización de la siguiente interfaz en la jerarquía PDH, la interfaz E3 (34 Mbits/s). Sin embargo, es muy posible que la capacidad de esta interfaz sea demasiado elevada en la mayoría de los casos. Como alternativa, se puede recurrir a la combinación de varios E1s mediante la técnica IAM (*Inverse Multiplexing ATM*).

La interfaz IAM permite la utilización de varios interfaces E1 ATM, de manera que el conjunto se comporta como un único interfaz ATM cuya capacidad es la suma de la que ofrece cada uno de las interfaces E1 de manera aislada. El funcionamiento de este tipo de interfaces se ilustra en la figura 27.

Figura 27. Funcionamiento de una interfaz IMA [10]

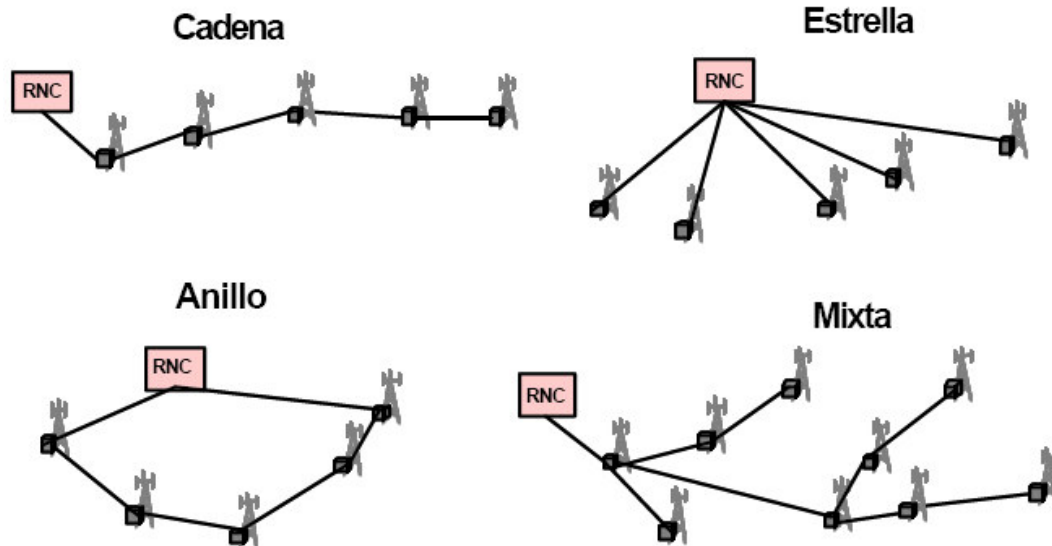


En caso de necesitar interfaces ATM de mayor capacidad, es posible recurrir al empleo de interfaces ATM sobre SDH. Así, por ejemplo, una posibilidad es el empleo de interfaces STM-1 (155Mbit/s) no canalizados. La necesidad de este tipo de interfaces puede aparecer conforme va aumentando el grado de concentración de tráfico en la red de interconexión entre Nodos-B y RNCs, así como para la conexión de estos con el núcleo de red.

5.4.2 Topología de la red de transmisión

En cuanto a la topología de red de acceso, a la hora de interconectar los Nodos-B con los RNCs, así como éstos al núcleo de red (MSC/SGSN), es posible considerar varias alternativas. En la figura 28 se representan algunas de las configuraciones más habituales utilizadas en redes celulares.

Figura 28. Configuración topológicas de UTRAN [7]

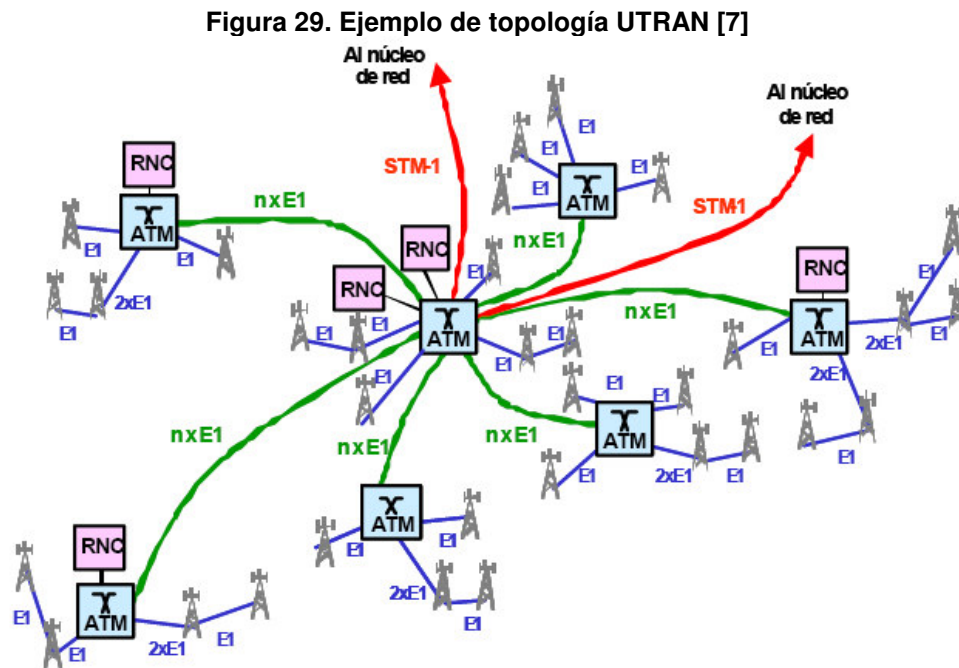


Desde una óptica económica, resultan especialmente atractivas las topologías de interconexión que favorecen la concentración de tráfico. Así, por ejemplo, la elección de una configuración en cadena para interconectar varios Nodos-B a un RNC puede conducir a un ahorro considerable de recursos de transmisión, especialmente en aquellos casos en los que la capacidad de los Nodos-B sea relativamente pequeña. Este podría ser el caso de células UMTS en entornos rurales, e incluso de una gran mayoría de células durante la fase inicial de despliegue de la red.

La concentración de tráfico en UTRAN puede efectuarse mediante equipos auxiliares independientes o integrados dentro de los Nodos-B. Una primera posibilidad es efectuar la concentración a nivel PDH, mediante DXXs (*Digital Crossconnects*). Esta solución, sin embargo, no permite aprovechar las ventajas que ofrece ATM. Para aprovechar estas ventajas, podemos recurrir a dispositivos capaces de multiplexar el tráfico a nivel de circuitos virtuales ATM, como multiplexores ATM o conmutadores ATM. Puede ser muy útil que los

Nodos-B incluyen este tipo de funcionalidades a fin de evitar el empleo de equipos auxiliares.

En la figura 29 se muestra una posible topología de red de transmisión para el despliegue inicial de UTRAN. Suponiendo que las necesidades iniciales de tráfico no son muy elevadas, y los Nodos-B utilizan interfaces E1. En ocasiones, un Nodo-B puede actuar como concentrador de tráfico de otros Nodos-B, haciendo que el número de E1s necesarios para llevar el tráfico agregado hacia el RNC sea menor que los que se usarían para una topología en estrella. Como se indica en la figura 29, existe la posibilidad de utilizar conmutadores ATM intermedios para poder concentrar tráfico a mayor escala. También se puede notar que el uso de conmutadores permite concentrar el tráfico de varios árboles de Nodos-B que pueden estar lejos del RNC que les controla. Finalmente, en la figura se observa cómo el uso de conmutadores ATM permite concentrar el tráfico de varios RNCs hacia el núcleo de red.



CONCLUSIONES

1. La evolución de GSM a UMTS ocurre en etapas sucesivas, en que cada etapa incrementa los servicios de datos y la eficiencia espectral, y agrega nuevas funcionalidades tales como calidad de servicio y soporte multimedia. La migración y los beneficios de la evolución desde GSM a UMTS resultan al mismo tiempo prácticos e inevitables. UMTS ya es la tecnología de tercera generación más seleccionada en el mundo, y cuenta con el apoyo de prácticamente todos los principales organismos regionales de normalización. Ofrece un excelente camino de migración para los operadores TDMA y GSM existentes y un camino disponible también para operadores CDMA.
2. Los beneficios y funcionalidades concretos de la evolución desde GSM a UMTS comienzan con GPRS, una capacidad IP de datos en paquetes para redes GSM con *throughputs* percibidos para el usuario promedio de hasta 40 Kbit/s, y la opción de incrementarlos con los esquemas de codificación 1-4. El soporte GPRS para una amplia selección de aplicaciones empresariales y al consumidor impulsará la demanda de servicios de datos y generarán nuevos ingresos para los operadores.
3. EDGE provee una solución de 3G en relación a costo y efectiva para que los operadores puedan actualizarse a una tecnología de 3G aprobada por la UIT. EDGE provee a los operadores velocidades de datos significativamente mayores y mejor eficiencia. Utilizando redes de radio avanzadas, EDGE promete ser una de las tecnologías más eficiente desde el punto de vista espectral para servicios de datos

celulares. EDGE se trata de una inversión incremental que aprovecha la red GPRS existente.

4. A medida que se incrementa la demanda de servicios de datos, los operadores podrán desplegar redes UMTS, que aportan todo un conjunto de capacidades nuevas, particularmente el soporte de aplicaciones de elevado ancho de banda. Mientras que EDGE es sumamente eficiente para servicios de datos de banda angosta, el radio enlace WCDMA es sumamente eficiente para servicios de banda ancha. Una red que utilice tanto EDGE como WCDMA provee una solución óptima para una amplia variedad de usos.
5. Con el crecimiento sostenido de la computación móvil, plataformas potentes para computación portátil, una creciente cantidad de contenido móvil, mensajería multimedia, comercio móvil, y servicios basados en la ubicación, los datos inalámbricos inevitablemente se convertirán en una industria enorme. GPRS/EDGE/UMTS (UMTS Multi-radio) provee un marco óptimo para la concreción de este potencial. La red central de una red GSM de segunda generación, puede ser reutilizada para su evolución a una tecnología de tercera generación como UMTS Multi-radio.
6. El dimensionado de UTRAN para UMTS, tiene como objetivos fundamentales la optimización de recursos de transmisión y el soporte de QoS, se han analizado los principales parámetros y alternativas de diseño a considerar en un escenario de despliegue real.

RECOMENDACIONES

1. En este trabajo de graduación se desarrollaron modelos de los sistemas de telefonía móvil de 2da Generación y 3ra generación, así de las capacidades tecnológicas de cada sistema. Por lo tanto, es importante para la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica promover investigaciones que traten temas del plan de radiofrecuencia para estos sistemas, así de cómo optimizar el uso de radiofrecuencias, para evitar interferencias.
2. A lo largo de nuestro análisis se ha puesto manifiesto la complejidad asociada al dimensionado de UTRAN. Así, este trabajo puede servir como primera aproximación al problema, es necesario seguir profundizando en la elaboración de una metodología más precisa. Se considera conveniente un estudio más exhaustivo del impacto que puede tener los mecanismos de gestión de tráfico y estrategias de multiplexión.
3. Las nuevas aplicaciones inalámbricas que provee un sistema de telefonía móvil de 3ra Generación son muy amplias, por lo que es de vital importancia dimensionar los servicios que puede ofrecer un operador a evolucionar a esta Generación de telefonía móvil, así como el costo para los usuarios finales, para utilizar estos servicios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ericsson. ***EDGE Inroduction of high-speed data in GSM/GPRS networks***. 2003. Obtenido de <http://www.ericsson.com>
2. Ericsson. ***Basic Concepts of WCDMA radio Acces Network***. 2001. Obtenido de <http://www.ericsson.com>
3. 3GPP TS25.211. ***Technical Specification Group Radio Acces Network Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels***. Diciembre 2003.
4. Pagina Principal de GSM España <http://www.gsmspain.com>. Manuales de Información técnica GSM y GPRS.
5. Nokia. ***A comaprison between EDGE and Alternative Technologies***. 5 de junio de 2001. Obtenido de <http://www.3Gamericas.org>.
6. Cingular Wíreles. ***Spectrum Efficiency Comparison, GSM vs. UMTS vs. 1RXTT***. 14 de marzo de 2002. Obtenido de <http://www.3Gamericas.org>
7. 3GPP. ***UTRAN General Overview***. 3GPP TS 25.401, Marzo 2002.
8. 3GPP. ***QoS Concept and Architecture***. 3GPP TS 23.107, Marzo 2002
9. Klemm Alexander, Lindemann Chridtoph, Lohmann Marco. ***Traffic Modeling and Characterization for UMTS Networks***. *Proc. Of the Globecom, Internet Performance Symposium*, San Antonio TX, Noviembre 2001.

10. Eneroth Goran, Fodor Gabor, Leijonhufvud, Gosta; Rác András, Szabó István. ***Applying ATM/ALL2 as a Switching Technology in Third-Generation Mobile Access Networks***. *IEEE Communications*. Vol, 37 Num.6, Junio 1999.

BIBLIOGRAFÍA

1. Halonen T., Romero J., Melerom J. **GSM, GPRS, AND EDGE PERFORMANCES**. 1era Edición. Editorial Wiley, 2002.
2. Ahoene T., Barret J. **SERVICES FOR UMTS**. 1era Edicion. Editorial Wiley, 2002.
3. Ericsson. **EDGE Introduction of high-speed data in GSM/GPRS networks**. 2003. Obtenido de <http://www.ericsson.com>
4. Ericsson. **Basic Concepts of WCDMA Radio Access Network**. 2001. Obtenido de <http://www.ericsson.com>
5. IEEE *Communications Magazine*, **Transparent IP Radio Access For Next Generation Mobile Networks**. Agosto 2003.
6. ETS 300 574. **Digital cellular telecommunications system (Phase 2), Multiplexing and multiple access on the radio path (GSM 05.02 version 4.10.1)**. Agosto 1999.
7. 3GPP TR23.934. **3GPP system to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking; Functional and architectural definition**. Agosto 2002.
8. 3GPP TS25.211. **Technical Specification Group Radio Access Network; Physicla channels and mapping of transport channels onto physyscal channels**. Diciembre 2003.
9. Tomasi waye. **SISTEMA DE COMUNICACIONES ELECTRÓNICAS**. 4ta. Edicion. Editorial Prentice Hall, 2003.

10. Cingular Wíreles, ***Spectrum Efficiency Comparision, GSM vs, UMTS vs. 1XRTT.*** Material de investigación, 14 de marzo de 2002, entrega a 3G Ameritas.
11. Ericsson ***GSM to WCDMA the Global Choice – White Paper.*** 2004. Obtenido de <http://www.ericsson.com>
12. Ericsson. ***WCDMA, EDGE and cdma2000 – Capacity for Packet Data Services.*** Julio de 2002. Obtenido en <http://www.3Gamericas.org>.
13. Ericsson, Nokia, Siemens. ***Agreed Data Performance Characterization for EGPRS, WCDMA and cdma2000 1XRTT.*** 20 de septiembre de 2002. Obtenido de <http://www.3Gamericas.org>.
14. Halonen Timo, Romero Javier, Melero Juan, ***GSM, GPRS and EDGE Performance – GSM Evolution towards 3G/UMTS.*** Mayo 2002
15. Nokia. ***A comparison between EDGE and Alternative Tchnologies.*** Junio 2001. Obtenido de <http://www.3Gamericas.org>
16. Nokia. ***EGPRS Throughput versus Path Loss.*** Octubre 2002. Obtenido de <http://www.3Gamericas.org>
17. Dr. B. Wegmann, Siemens. ***Comparison of WCDMA and cdma 2000 – White Paper.*** Febrero 2002. Obtenido de <http://www.3Gamericas.org>
18. UMTS Forum. ***The UMTS Third Generation Market Study.*** Informe del UMTS Forum Núm. 17, Agosto 2001. Obtenido de <http://www.umtsforum.com>
19. Dimitriou N., Tafazollim R., Sfikas G., ***Quality of service for multimedia CDMA.*** IEEE *Communications Magazine*, Vol. 38, Núm. 7. Julio 2000. Págs. 88-94.

20. Lister D., Dehghan S., Owen R., Jones, P. **UMTS capacity and planning issues**. *First International Conference on 3G Mobile Communications technologies*. Marzo 2000. Págs. 218 – 223.
21. Parsa Kourosh, Ghassemzadeh saeed s., Kazeminejad Saied. **Systems Engineering of Data Service in UMTS WCDMA Systems**. 2001 IEEE *international Conference on Communications (ICC2001)*. Helsinki, Junio 2001.
22. Holma H., Toskala A. **WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications**. Editorial John Wiley & Sons, 2000.
23. 3GPP. **General UMTS Architecture**. 3GPP TS 23.101. Diciembre 2002.
24. 3GPP. **3rd Generation mobile system Release 1999 Specifications**. 3GPP TS 21.101. Marzo 2002.
25. 3GPP. **3rd Generation mobile system Release 4 Specifications**. 3GPP TS 21.102. Marzo 2002.
26. 3GPP. **3rd Generation mobile system Release 5 Specification**. Draft 3GPP TS 21.103. Marzo 2002.
27. 3GPP. **IP Transport in UTRAN**. 3GPP TR 25.933. Marzo 2002.
28. 3GPP. **UTRAN General Overview**. 3GPP TS 25.401. Marzo 2002.
29. ITU-T Recommendation I.363.2. **B-ISDN ATM Adaptation layer specification: Type 2 AAL**. Noviembre 2000.
30. 3GPP. **QoS Concept and Architecture**. 3GPP TS 23.107. Marzo 2002

31. Valko A. G., Racz A., Fodor G., **Voice QoS in Third-Generation Mobile Systems**. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. Vol. 17, Núm. 1. Enero 1999. Págs. 109-123.
32. Isnard O., Calmel J. M., Beylot A. L., Pujolle G. **Handling Traffic Classes at AAL2 / ATM layer over the Logical Interfaces of the UMTS Terrestrial Access network**. *11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication*, Vol. 2. Londres: Septiembre 2000. Págs. 1464-1468.
33. Yoo Sang Kyung, Park Hong Shik. **Quality-of-Service Provisioning for Mobile Voice and Data Services over ATM Network using AAL2**. 3rd ICACT, Muju (Corea), Febrero 2001.
34. Reyes-Lecuona A., Gonzalez Parada E., Casilari E., Casasola J. C., Diaz Estrella A. **A page-oriented WWW traffic model for wireless system simulations**. *Proceedings of the 16th International Teletraffic Congress (ITC'16)*. Endinburgo (Reino Unido), Junio 1999. Págs 1271-1280.
35. Staehle Dirk, Leibnitz Kenji, Tran-Gia Phuoc. **Source Traffic Modeling of Wireless Applications**. *International Journal of Electronics and Communications*. Vol. 55, Núm. 1, 2001.
36. Klemm Alexander, Lindemann Christoph, Lohmann Marco *Proc. of the Globecom, Internet performance Symposium*,. **Traffic Modeling and Characterization for UMTS Networks**, San Antonio TX, Noviembre 2001.
37. ETSI. **Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS**, TR 101 112 V3.2.0. Abril 1998.
38. 3GPP. **Services and Service Capabilities**. 3GPP TS 22.105.
39. 3GPP. **AMR Speech Codec; General Description**. 3GPP TS 26.071.

40. 3GPP. ***Delay Budget within the Access Stratum***. 3GPP 25.853.
41. 3GPP. ***QoS optimization for AAL type 2 connections over lub and lur interfaces***. 3G TR 25.934.
42. Lim Huhnkuk, Lee Suwon, Lee Dongwook, Kim Kiseon. Song Kwangsuk, Oh Changhwan. ***A New AAL2 Scheduling Algorithm for Mobile Voice and Data Services over ATM***. ITC-CSCC 2000. Pusan (Corea), Julio 2000. Vol. 1, págs 229-232
43. Wu J. C., Huang Chi-Hong, Sheu Rong-Tsung. ***Performance Study of AAL2 protocol for low-bit-rate multimedia services***. 15th International Conference on Information Networking. 2001. Págs. 793-798.
44. McDysan David E. Spohn Darren L. ***ATM Theory and Applications***. Editorial McGraw-Hill, 1999.
45. Hersent Olivier, Gurle David, Petit Jean-Pierre. ***IP Telephony. Packet-based multimedia communications systems***. Addison-Wesley, 2000.