



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

**UMTS vrs. GSM, ESTUDIO COMPARATIVO Y  
RECOMENDACIONES PARA LOS OPERADORES MÓVILES EN  
GUATEMALA**

**Jorge Alberto Catalán López**

Asesorado por el Ing. Luis Eduardo Durán Córdova

Guatemala, octubre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**UMTS vrs. GSM, ESTUDIO COMPARATIVO Y  
RECOMENDACIONES PARA LOS OPERADORES MÓVILES EN  
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**JORGE ALBERTO CATALÁN LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. LUIS EDUARDO DURÁN CÓRDOVA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007

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	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

## **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:

### **UMTS vrs. GSM, ESTUDIO COMPARATIVO Y RECOMENDACIONES PARA LOS OPERADORES MÓVILES EN GUATEMALA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 29 de septiembre de 2004.



Jorge Alberto Catalán López

Guatemala 6 de septiembre de 2007

Ingeniero  
Julio Cesar Solares Peñate  
Coordinador Área Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado: **UMTS vrs. GSM, estudio comparativo y recomendaciones para los operadores móviles en Guatemala**, elaborado por el estudiante Jorge Alberto Catalán López, de la carrera de Ingeniería Electrónica, el cual a mi criterio cumple con los objetivos propuestos.

Por ello, el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusiones de la misma

Atentamente



Ing. Luis Eduardo Durán Córdova  
Colegiado No.5362



Guatemala, 19 de septiembre 2007.

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

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**UMTS vs. GMS, estudio comparativo y recomendaciones para los  
operadores móviles en Guatemala, desarrollado por el estudiante;  
Jorge Alberto Catalán López,** por considerar que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.

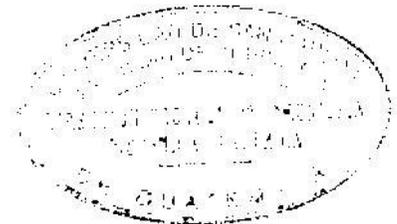
Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

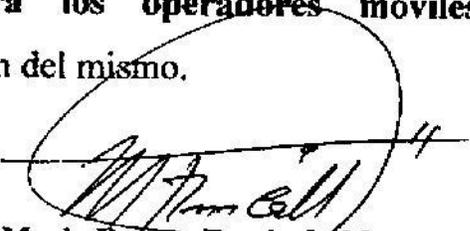
  
**Ing. Julio César Solares Peñate**  
Coordinador Área de Electrónica

JCSP/sro





El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de Graduación del estudiante; Jorge Alberto Catalán López titulado: **UMTS vrs. GSM, estudio comparativo y recomendaciones para los operadores móviles en Guatemala**, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

**DIRECTOR**



GUATEMALA, 21 DE SEPTIEMBRE 2007.



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: **UMTS vrs. GSM, ESTUDIO COMPARATIVO Y RECOMENDACIONES PARA LOS OPERADORES MÓVILES EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Alberto Catalán López**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, octubre de 2007

/gdech

**DEDICADO A:**

*Las tres bendiciones que Dios me ha dado, mis hijas: Yeinny, Shirley y Aislynn*

## **AGRADECIMIENTO A:**

<b>DIOS</b>	Por todo, especialmente por permitirme llegar a este momento.
<b>MI ABUELA</b>	Por toda su ayuda a lo largo de toda mi vida.
<b>MI ESPOSA</b>	Por su apoyo y amor en cada momento.
<b>MIS PADRES</b>	Por estar allí cada vez que los necesité y darme el privilegio de la vida.
<b>MIS COMPAÑEROS DE ESTUDIO Y TRABAJO</b>	En todos los lugares en los que he estado, por compartir conmigo su experiencia, convirtiéndome en un mejor profesional.
<b>MI ASESOR</b>	Por su paciencia y ayuda.
<b>LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y A LA FACULTAD DE INGENIERÍA</b>	Por las enseñanzas recibidas para mi formación académica y profesional, que constituyen la base para alcanzar mayores logros.





# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XXIII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XXVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXIX</b>

## **1. GENERACIONES DE LA TELEFONÍA CELULAR**

1.1 Primera generación (1G): Sistemas análogos .....	1
1.1.1 Servicio telefónico móvil avanzado (AMPS).....	2
1.1.2 Sistema de comunicación de acceso total (TACS) .....	4
1.2 Segunda generación (2G): Sistemas digitales múltiples .....	4
1.2.1 Segunda generación avanzada (2.5G) .....	7
1.3 Tercera generación (3G): Evolución de los sistemas GSM.....	10
1.4 IMT-2000.....	15
1.5 Cuarta generación (4G) .....	18

## **2. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS CELULARES**

2.1 Técnicas de acceso múltiple .....	21
2.1.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).....	22
2.1.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).....	23
2.1.2.1 Servicio general de paquetes por radio (GPRS) .....	26

2.1.2.2 Mayores velocidades de datos para la evolución GSM (EDGE) .....	29
2.1.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA) .....	31
2.2 Modulación digital .....	35
2.2.1 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK) .....	37
2.2.2 Modulación por desplazamiento de fase (PSK) .....	38
2.2.3 Modulación por desplazamiento gaussiano mínimo (GMSK) .....	42
2.3 Sistema celular .....	43
2.3.1 Área de cobertura .....	46
2.3.2 Reutilización de frecuencia .....	48
2.3.3 Tamaños de células .....	50
2.3.4 Sectorización de células .....	51
2.3.5 <i>Handover</i> .....	53
2.4 Capacidad del sistema e interferencias .....	54
2.4.1 Interferencia co-canal .....	54
2.4.2 Interferencia de canal adyacente .....	55
2.5 Canales en redes celulares .....	56
2.5.1 Canales físicos .....	56
2.5.2 Canales lógicos .....	56
2.5.2.1 Canales de control .....	57
2.5.2.2 Canales de tráfico .....	58

### **3. EL SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICACIONES MOVILES (GSM)**

3.1 Definición del sistema global para comunicaciones móviles (GSM) .....	59
3.2 Arquitectura de la red del sistema global para comunicaciones móviles (GSM) .....	61
3.2.1 La estación móvil (MS) <i>Mobil Station</i> .....	62
3.2.2 Subsistema de estación base (BSS) <i>Base Station Subsystem</i> .....	63
3.2.2.1 La estación base (BTS) <i>Base Transceiver Station</i> .....	63

3.2.2.2 Controlador de estaciones base (BSC) <i>Base Station Controller</i> .....	65
3.2.3 Subsistema de conmutación y red (NSS) <i>Network and Switching Subsystem</i> .....	67
3.2.3.1 Centro de conmutación de servicios móviles (MSC) <i>Mobile Services Switching Center</i> .....	68
3.2.3.2 Puerta de enlace del centro de conmutación de servicios móviles (GMSC) <i>Gateway Mobile Services Switching Center</i> .....	70
3.2.3.3 Registro de posición base (HLR) <i>Home Location Register</i> .	70
3.2.3.4 Registro de posición visitante (VLR) <i>Visitor Location Register</i> .....	72
3.2.3.5 Centro de autenticación (AuC) <i>Authentication Center</i> .....	73
3.2.3.6 Registro de identidad de equipo (EIR) <i>Equipment Identity Register</i> .....	74
3.2.4 Centro de mantenimiento y operaciones (OMC) <i>Operations and Maintenance Center</i> .....	75
3.3 Áreas de la red GSM.....	76
3.4 Especificaciones para el GSM .....	79
3.4.1 Bandas de frecuencia .....	79
3.4.2 Canales de frecuencia .....	80
3.4.3 Modulación.....	82
3.4.4 Tasa de transmisión.....	83
3.4.5 Método de acceso.....	83
3.4.6 Codificador de voz .....	83
3.5 Procedimientos de la capa física .....	84
3.5.1 Control de potencia.....	84
3.5.2 <i>Handover</i> (HO).....	88
3.5.3 Salto de frecuencia .....	92

3.6	Modulación digital en GSM .....	94
3.7	Codificación de voz en GSM .....	99
3.7.1	Entrelazado ( <i>Interleaving</i> ).....	101
3.8	Autenticación y seguridad .....	101

#### **4. SISTEMA UNIVERSAL DE COMUNICACIONES MOVILES (UMTS)**

4.1	Acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) ....	105
4.1.1	Tipos de sistemas WCDMA.....	106
4.1.2	<i>Scrambling</i> .....	109
4.1.3	Parámetros de WCDMA .....	110
4.2	Definición del UMTS .....	113
4.3	Arquitectura de la red celular UMTS.....	114
4.3.1	Equipo de usuario (UE) <i>User Equipment</i> .....	115
4.3.2	Red de acceso de radio terrestre para UMTS (UTRAN) UMTS <i>Terrestrial Radio Access Network</i> .....	117
4.3.2.1	Nodo B.....	118
4.3.2.2	Controlador de la red de radio (RNC) <i>Radio Network     Controller</i> .....	120
4.3.3	Núcleo de red (CN) <i>Core Network</i> .....	123
4.3.3.1	Dominio de conmutación de circuitos .....	123
4.3.3.2	Dominio de conmutación de paquetes.....	125
4.3.3.3	Otros elementos de la red central .....	126
4.4	Interfaces y protocolos del UMTS.....	128
4.4.1	Interfaces para el UMTS .....	128
4.4.2	Protocolos del UMTS.....	131
4.5	Espectro .....	135
4.6	Procedimientos de la capa física .....	138
4.6.1	Control de potencia.....	138
4.6.1.1	Control de potencia de lazo abierto .....	139

4.6.1.2 Control de potencia de lazo cerrado.....	140
4.6.2 <i>Handovers</i> del UMTS .....	141
4.6.2.1 <i>Soft handover</i> .....	142
4.6.2.2 <i>Softer handover</i> .....	143
4.6.2.3 <i>Hard handover</i> .....	144
4.6.2.4 <i>Handover</i> inter-sistemas .....	146
4.7 Proceso de dispersión ( <i>Spreading</i> ).....	147
4.7.1 Canalización.....	149
4.8 Técnicas de modulación .....	152
4.8.1 Modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK) .....	152
4.8.2 Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) <i>Quadrature Phase Shift Keying</i> .....	155
4.9 Codificación de canales .....	158

## **5. GSM vrs. UMTS**

5.1 Beneficios, servicios y características del GSM.....	163
5.1.1 Beneficios.....	163
5.1.2 Servicios.....	166
5.1.3 Características .....	168
5.2 Beneficios, servicios y características del UMTS.....	170
5.2.1 Beneficios.....	170
5.2.2 Servicios.....	174
5.2.3 Características .....	175
5.3 Diferencias en procesos debido a la técnicas de acceso.....	177
5.4 Como despliega UMTS a un operador de GSM.....	182
5.5 Tecnologías de ayuda y evolución.....	184
5.5.1 Protocolo IP.....	185
5.5.2 Bluetooth.....	187
5.5.3 IEEE 802.11 .....	189

5.5.4 HSDPA .....	191
5.6 Razones por las cuales UMTS resulta ideal para operadores en el continente americano .....	193

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>197</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>199</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>201</b>
<b>E-GRAFÍA</b>	<b>203</b>
<b>ANEXO</b>	<b>209</b>

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Tecnologías 2G y evolución a 3G	12
2.	Bandas de frecuencias para IMT-2000	17
3.	Cobertura por tipo de red.	19
4.	FDMA	22
5.	TDMA	24
6.	Arquitectura simplificada del sistema GPRS	29
7.	Módulos agregados por EDGE a GPRS	31
8.	Distribución de usuarios en CDMA	32
9.	CDMA handover suave	34
10.	a) Señal de datos binarios, b) Señal FSK producida por la combinación de frecuencias con respecto a la señal de entrada de datos binarios.	37
11.	Modulación PSK	39
12.	Modulación 8PSK	40
13.	Elementos de la red celular	44
14.	Cluster de 7 células	49
15.	Célula sectorizada 120o	52
16.	Representación de la interferencia co-canal.	55
17.	Estructura de la red GSM	61
18.	Identificación del IMEI de una estación móvil	62
19.	Partes de una estación base	64

20.	Distribución de las áreas de la red GSM	77
21.	Trama e intervalos de tiempo	81
22.	Esquema del salto de frecuencia cíclico.	92
23.	Generación de una señal MSK	96
24.	Diagrama a bloques de un transmisor GMSK usando un transmisor de FM	98
25.	Distribución de bits en una trama de voz	100
26.	WCDMA FDD y TDD	108
27.	Arquitectura de la red UMTS	115
28.	Protocolos de aplicación e interfaces de la red UMTS	133
29.	Soft handover	142
30.	Softer handover	144
31.	Hard Handover	145
32.	Procedimiento de handover inter-sistemas de una red UMTS a una red GSM	146
33.	Proceso de dispersión	148
34.	Canalización de datos	150
35.	Árbol de códigos de canalización	151
36.	Modulación BPSK	153
37.	Transmisor a bloques BPSK	154
38.	Receptor a bloques BPSK	155
39.	Transmisor QPSK	156
40.	Combinación de datos binarios y fases de salida respectivas para QPSK	157
41.	Receptor rake de 4 dedos	179
42.	Estructura jerárquica de las células	180
43.	Mejoras en las descargas con HSDPA	192

## TABLAS

I	Porcentaje por tecnología del mercado mundial de telefonía celular	10
II	Cambios de fase para cada código de entrada 8PSK	41
III	Bandas de frecuencias para GSM	79
IV	Niveles de la señal	87
V	Niveles de calidad de la señal	88
VI	Variaciones de fase y frecuencia de la señal MSK con respecto a la señal de entrada	97
VII	Parámetros del WCDMA	112
VIII	Interfaces de la red central del UMTS	130
IX	Bandas de frecuencia para UMTS-FDD	137
X	Bandas de frecuencia para UMTS-TDD	137
XI	Utilización de los esquemas de corrección de errores	160
XII	Características de GSM	169
XIII	Características de UMTS	176



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
-	menos
+	mas
( )	paréntesis
%	porcentaje
=	igual
$\pi$	pi
“ ”	comillas
$\sqrt{\quad}$	raíz cuadrada
°	grados
<b>etc.</b>	etcétera
<b>Kbps</b>	kilobits por segundo
<b>Mbps</b>	megabits por segundo
<b>Mcps</b>	megachips por segundo
<b>dB</b>	decibelio
<b>dBm</b>	decibelio por miliwatt



## GLOSARIO

<b>Algoritmo</b>	Lista de instrucciones donde se especifica una sucesión de operaciones necesarias para resolver cualquier problema de un tipo dado.
<b>Ancho de Banda</b>	Es la anchura medida en hertz, del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal.
<b>Área Rural</b>	Es el área que se encuentra fuera de los límites suburbanos, destinada específicamente a la agricultura.
<b>Área Suburbana</b>	Son áreas localizadas en el borde externo de la ciudad es decir fuera de los límites oficiales de la misma.
<b>Área Urbana</b>	Se considera a los centros poblados en donde se realizan todas las edificaciones habitacionales, comerciales, industriales, etc.
<b>Autenticación</b>	Acción de verificar que un mensaje viene de la fuente

que se dice y que no ha sido alterado durante su transferencia.

**BER**

*Bit Error Ratio*, es el número de bits erróneos dividido por el total de bits transmitidos, recibidos o procesados sobre algún periodo de tiempo estimado.

**Canal adyacente**

Canal que en el espectro de frecuencias esta inmediatamente por encima o por debajo del canal considerado.

**Canal dedicado**

Canal asignado a un usuario o a un servicio en especial en forma permanente, es decir que no es compartido, por lo que es muy veloz y eficiente.

**Canal dúplex**

Canal sobre el que se puede realizar una transmisión simultanea en ambas direcciones

**CCK**

*Complementary Code Keying*, es un esquema de modulación usado por las redes inalámbricas WLAN que emplea las especificaciones de IEEE 802.11b. Se basa en un conjunto de secuencias finitas de igual longitud de manera que el número de pares de elementos idénticos es igual al número de pares de elementos diferentes teniendo la misma separación en las otras secuencias.

**Chip**

En UMTS este término es usado para denotar la unidad más pequeña de información.

<b>Clúster</b>	Parte en que se divide geográficamente una red celular, la cual se encuentra formada por un grupo de células ubicadas en un área determinada, estas divisiones son utilizadas para llevar orden y control del sistema.
<b>Co-Canal</b>	Canal que provoca interferencia debido a que trabaja en la misma frecuencia que otro canal.
<b>Códigos de Canalización</b>	Son códigos utilizados en el <i>uplink</i> y el <i>downlink</i> . Estos códigos conservan propiedades de ortogonalidad entre los canales físicos de diferentes usuarios. La creación de dichos códigos se basa en un algoritmo el cual produce árboles de códigos en donde cada nivel define un código de canalización.
<b>Control dinámico de potencia</b>	Control que se encarga de limitar la potencia transmitida en ambas direcciones mientras se mantiene la calidad del enlace bajo todas las condiciones, modificando el tamaño de cada célula según sea la necesidad.
<b>Correlacionador</b>	Sirve para demodular la señal recibida comparando dicha señal con una señal de referencia, de manera de dejar pasar únicamente los valores correctos.

<b>Datagrama</b>	Es un fragmento de paquete que es enviado con la información suficiente como para que la red pueda simplemente encaminar el fragmento hacia el receptor, de manera independiente a los fragmentos restantes.
<b>Detección coherente</b>	Es la detección que se realiza multiplicando la señal recibida por una portadora de frecuencia y fase idénticas a las usadas en el transmisor, para la recuperación de la señal.
<b>Dibit</b>	Grupo de dos bits, usados para especificar uno de cuatro valores posibles. Usando modulación de fase un dibit puede ser modulado sobre una portadora con diferentes cambios en la fase de la señal a transmitir.
<b>Direcciones estáticas</b>	Dirección IP fija configurada por el usuario a un equipo o dispositivo conectado a una red.
<b>Direcciones dinámicas</b>	Dirección IP temporal que asigna un servidor DHCP, la cual cambia en cada reconexión.
<b>Directividad</b>	Parámetro que caracteriza a las antenas direccionales. Es el cociente de la densidad de potencia que se tiene a una cierta distancia de la antena direccional emisora y la densidad de potencia que se tendría en el mismo punto si la antena

	emisora fuese isotrópica y radiara la misma potencia que la direccional.
<b>Eficiencia espectral</b>	Es el rendimiento obtenido en el proceso de modificar alguna de las características técnicas de una portadora, de acuerdo con las características de la señal de información.
<b>Enlace</b>	Sistema de comunicación de radio de dos vías que forma parte de una red más amplia de telecomunicaciones.
<b>FER</b>	<i>Frame Error Rate</i> , es el número de tramas erróneas divididas dentro del total de las tramas enviadas. Estas tramas erróneas son desechadas generalmente.
<b>Filtro gaussiano</b>	En la electrónica y el procesamiento de señales, un filtro gaussiano es diseñado para evitar las variaciones bruscas en la señal de entrada, mientras maximiza el tiempo de subida y bajada. Este comportamiento esta relacionado con el hecho de que el filtro gaussiano tiene un retardo mínimo de recuperación.
<b><i>Frame relay</i></b>	Es una técnica de comunicación mediante la retransmisión de tramas. Consiste en una forma simplificada de tecnología de conmutación de paquetes que transmite una variedad de tamaños de tramas para datos.

<b>Hoyo de RF</b>	Lugar donde la cobertura del operador se pierde, ya sea por las condiciones geográficas del área o por la cantidad de obstáculos en la trayectoria de la señal.
<b>Índice de modulación</b>	Es el cociente entre la desviación de frecuencia y la frecuencia moduladora
<b>Infraestructura</b>	Es todo el equipo que el operador tiene instalado para el funcionamiento de su red, tanto físico como programas.
<b>Lóbulos laterales</b>	Son los lóbulos de radiación de una antena que se encuentran en direcciones distintas al del eje o lóbulo central.
<b>Nodo combinado</b>	Es el punto donde se unen varias partes de la arquitectura de la red.
<b>Nodo independiente</b>	Es el punto donde se une solamente una parte de la arquitectura de la red
<b>Paging</b>	Servicio de radio unidireccional que permite el envío de mensajes, así como la transferencia de instrucciones, datos o ambos hacia los aparatos receptores fijos o móviles.
<b>Portadora</b>	Señal eléctrica que permite la modulación de otra

señal que contiene la información.

**Proceso iterativo**

Proceso en donde se deben hacer repeticiones, es decir que los resultados no son determinados con una sola ejecución del proceso de desarrollo, por lo que este queda en disposición de ser modificado para las repeticiones sucesivas de manera que se pueda obtener el resultado más confiable posible.

**Propagación**

Acción de expandir la señal, en forma de ondas electromagnéticas en la dirección normal. Generalmente esta es esférica, o forma parte de una esfera o de un plano. Fenómeno por el cual una señal originada en un punto alcanza a otro.

**Protocolo**

Conjunto de reglas establecidas para fijar la forma en que se realiza algún proceso.

**Pseudo aleatorio**

Valor, proceso o resultado, aparentemente, impredecible, o impredecible en la práctica debido a la propagación de errores iniciales propia de un sistema caótico, pero predecible en forma de probabilidad.

**Radiocanal**

Se entiende por radiocanal a un par de frecuencias portadoras más un intervalo de tiempo, las cuales van a servir como canales de tráfico en el proceso de comunicación.

<b>Roaming</b>	Es la capacidad de un dispositivo móvil para moverse de una zona de cobertura a otra. Es una palabra de procedencia inglesa que significa vagar o rondar.
<b>Ruido blanco</b>	Es una señal aleatoria que se caracteriza porque sus valores de señal en dos instantes de tiempo diferentes no guardan correlación estadística.
<b>Sector</b>	Cada una de las direcciones en que apuntan las diferentes antenas direccionales de una celda,
<b>Streaming</b>	Este término hace referencia a los ficheros multimedia, como video clips y sonido. Streaming es un término que se refiere a ver u oír un archivo directamente en una página web sin necesidad de descargarlo antes al ordenador o computador. En términos más complejos podría decirse que describe una estrategia sobre demanda para la distribución de contenido multimedia a través del internet.
<b>Tasa de transmisión</b>	Indica la cantidad de datos enviados durante un periodo específico de tiempo.

<b>Teléfonos DECT</b>	Son teléfonos que utilizan el estándar –DECT- <i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i> - para teléfonos inalámbricos digitales, comúnmente utilizado para propósitos domésticos o corporativos. Los teléfonos DECT son como las estaciones móviles de GSM, siendo la diferencia entre ambos sistemas el radio de operación ya que en los aparatos DECT es desde 25 hasta 100 m, mientras que en los GSM es de 2 a 10 Km.
<b>Throughput</b>	Es la cantidad de datos digitales por unidad de tiempo que es entregada sobre un enlace físico o lógico o que está de paso a través de un cierto nodo de la red. El <i>throughput</i> es usualmente medido en bits por segundo, ocasionalmente en paquetes de datos por segundo o en paquetes de datos por intervalo de tiempo.
<b>Transreceptor</b>	Aparato para telecomunicaciones, el cual en la misma unidad incluye un transmisor y un receptor
<b>Transcodificación</b>	Término con el que se hace referencia al proceso de lograr convertir datos y aplicaciones codificadas de cierta forma, en otros formatos de codificación de manera que sean entendidos por dispositivos inalámbricos.

**Transmisión  
asíncrona**

Este tipo de transmisión se da lugar cuando el proceso de sincronización entre emisor y receptor se realiza en cada palabra de código transmitido. La sincronización se lleva a cabo a través de bits especiales, de manera que por medio de un nivel lógico el emisor informa al receptor la llegada de un carácter, disparando un reloj interno en la espera de los bits sucesivos que contienen la información. Recibidos todos los bits de información es enviado un bit de parada para volver a colocar en estado inicial la línea de datos, dejándola así preparada para la siguiente transmisión del siguiente carácter.

**Vulco**

Material elástico y pegajoso, el cual sirve de sellador en los empalmes realizados entre el jumper y el *feeder*, evitando, de esta manera, que el agua le entre al cable.

**Wi-Fi**

Es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en las especificaciones 802.11. Creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas, además de ser actualmente usado para acceder a internet. Wi-Fi es una marca de la *Wi-Fi Alliance* - anteriormente la *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* - la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares 802.11.

## RESUMEN

La telefonía celular actual, parte de los sistemas celulares de segunda generación como lo son GSM y CDMA. En sus inicios estos sistemas fueron diseñados para comunicación de voz, pero, con el tiempo, fueron innovando a sistemas más complejos llegando a la generación 2.5, la cual ofrece transmisión de datos por paquetes a baja velocidad y se encuentra formada por los sistemas GPRS, EDGE y CDMA 2000. Cada uno de estos sistemas tienen características propias y aplicaciones que van mejorando de una generación a otra, preparando, de esta manera, el camino para los sistemas de tercera generación como lo es UMTS entre otros.

El sistema GSM es un sistema basado en el acceso múltiple por división de tiempo TDMA, el cual permite que un número de usuarios accedan a un simple canal de frecuencia colocando a cada uno en un intervalo de tiempo dentro de este canal. Utiliza la modulación por desplazamiento mínimo gaussiano GMSK, la cual, por medio de un filtro gaussiano, estabiliza las variaciones de la frecuencia instantánea reduciendo de esta manera los niveles de los lóbulos laterales del espectro transmitido. La implementación de GPRS sobre la red GSM le da a esta la capacidad de transmitir datos con una velocidad de 115 Kbps al incorporar en el subsistema de conmutación y red NSS, el nodo de soporte de la puerta de enlace de GPRS (GGSN) y el nodo de soporte de servicio GPRS (SGSN).

Por su parte, el sistema UMTS puede ser implementado sobre una red GSM que posea GPRS o sobre una red EDGE utilizando gran parte de la infraestructura existente. UMTS agrega a la arquitectura de la red GPRS la red de acceso de radio terrestre para UMTS conocida como UTRAN. Esta red se basa en el acceso múltiple por división de código de banda ancha WCDMA, en donde a cada usuario se le asigna una frecuencia portadora y un código conocido como código de ruido pseudo aleatorio. UMTS utiliza modulación por desplazamiento de fase en cuadratura QPSK, obteniendo de esta manera cuatro fases distintas en la señal de salida, esto permite soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144 Kbps sobre vehículos a gran velocidad, 384 Kbps en espacios abiertos y 2 Mbps en lugares de baja movilidad, mas el soporte del protocolo de internet (IP) para poder prestar servicios de multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, como servicios de video telefonía y video conferencia.

En GSM el control de potencia ayuda a reducir el nivel general de ruido y a mejorar la relación C/I, para lo cual el salto de frecuencia contribuye positivamente, mientras que en UMTS el control de potencia es fundamental ya que a mayor potencia, menor capacidad. Una de las principales ventajas de UMTS sobre GSM es la manera en que se manejan las señales multitrayectoria debido a que GSM las ve como interferencia mientras UMTS las utiliza para aumentar el nivel de la señal recibida.

UMTS implementa diversos tipos de *handover*, siendo el principal el *handover* intersistemas, ya que, los sistemas de tercera generación deben ser compatibles con los sistemas de la generación anterior, para brindar mejor cobertura y manejo de tráfico de llamadas.

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



# **OBJETIVOS**

## **GENERAL**

Hacer un estudio de dos tecnologías de telefonía celular, el sistema móvil de comunicación global GSM, ya expandido alrededor del mundo y el sistema universal de telecomunicaciones móviles UMTS, el cual se encuentra implementado en varias redes de Europa y Asia y que comienza su implementación en el continente americano. Logrando, de esta forma, establecer las razones por las cuales uno de los sistemas resulta más idóneo para los operadores en el continente americano que el otro y brindar las recomendaciones necesarias para su implementación.

## **ESPECÍFICOS**

1. Describir las diferencias entre GSM y UMTS
2. Establecer las ventajas del UMTS sobre el GSM
3. Establecer las ventajas del GSM sobre el UMTS
4. Describir la diferencia entre los tipos de modulación utilizada para las tecnologías de telefonía celular GSM y UMTS
5. Describir las diferencias básicas entre la tercera y cuarta generación de tecnologías de telefonía celular



# INTRODUCCIÓN

Alexander Graham Bell patentó el teléfono en 1876 y fue el fundador de *Bell Telephone Company*, la cual se dedicó a la fabricación de teléfonos y a operar la primera red telefónica. La compañía Bell fue conocida después como AT&T la cual creció y dominó la industria de las telecomunicaciones hasta 1984 cuando una acción judicial antimonopolista despojó a la compañía de sus redes telefónicas locales. Para ese entonces, los primeros teléfonos celulares comerciales ya habían sido probados desde finales de los '70s por Illinois Bell en Chicago Illinois, siendo un tremendo éxito.

Antes de la disponibilidad del servicio celular, el servicio telefónico móvil constaba de unidades telefónicas móviles de dos vías de un tamaño bastante grande, las cuales se comunicaban con una simple antena dentro de una ciudad o área determinada. Las señales de radio a menudo interferían a las radios comerciales y debido a la tecnología de ese entonces las frecuencias no podían ser reusadas como se hace actualmente, por lo tanto había un número limitado de canales para los usuarios, siendo el servicio inconfiable y costoso.

Las portadoras del servicio celular empezaron operaciones en los estados unidos a nivel nacional a mediados de la década de los 80's en la banda de 800 a 900 MHz. A causa de la demanda del consumidor por las telecomunicaciones celulares la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) a mediados de los 90's, autorizó que podían haber más proveedores de servicios en cada área de servicio.

En la actualidad, hay millones de usuarios de telefonía celular en el mundo utilizando las diversas tecnologías disponibles, las cuales les ayudan dependiendo de los servicios que el operador ofrece.

Uno de estos sistemas es el GSM, el cual por el momento tiene el mayor número de clientes en el mundo incluyendo a Guatemala. Inicialmente, este se pensó para ser un sistema de radio celular inter-europeo aunque terminó siendo un sistema mundial. En 1987 el TDMA fue escogido como el método de acceso para GSM, siendo a finales de 1991 que comenzó a comercializarse, de esa fecha hasta ahora su tecnología ha ido innovándose con nuevas tecnologías y servicios.

El UMTS, por su parte, es el objetivo al que se espera que llegue GSM en nuestro país, este forma parte de la familia del IMT-2000 y utiliza WCDMA como método de acceso el cual le da más capacidad y velocidad que la que poseen los servicios actuales. El WCDMA se encuentra en servicio en Japón desde el 2001, encontrándose actualmente disponible, también, en Europa. En el continente americano la implementación de este sistema ya se encuentra en marcha, habiendo sido lanzado, inicialmente, en islas del Caribe.

En Guatemala, todos los operadores cuentan ya con sistemas y servicios 2.5G y se espera que a finales del 2007 se empiecen a implementar los sistemas de tercera generación en todo el territorio nacional.

Debido a que en la mayor parte del mundo, incluyendo este país, los servicios de GSM y GPRS se encuentran en su apogeo, la cantidad de información acerca de estos sistemas es bastante extensa, pero debido a lo nuevo que resulta el sistema UMTS en nuestra región, resulta necesario conocer más acerca de este, lo cual es una de las expectativas de este trabajo, con el objetivo de obtener conclusiones y recomendaciones que sean de apoyo a los operadores locales o información para las personas interesadas en el tema.



# 1. GENERACIONES DE LA TELEFONÍA CELULAR

## 1.1 Primera generación (1G): Sistemas análogos

La primera generación de los sistemas de comunicación celular apareció en los años 1980's, en ese tiempo existían varias redes de radios móviles, pero estas no eran sistemas celulares propiamente, consistían de una sola antena con un número limitado de canales que intentaba dar servicio a todos sus usuarios.

Las principales características que destacan a la primera generación son: la implementación de una red celular y la utilización de técnicas analógicas, con servicios limitados en su mayoría de voz.

La principal tecnología empleada para la comunicación celular en esta generación es la FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) la cual como su nombre lo indica consiste en la división del espectro disponible en varios canales. Con FDMA, cada canal es asignado a un usuario a la vez. El canal no puede ser utilizado por otras conversaciones hasta que la del usuario termine, o hasta que esta sea entregada a otra célula. Una transmisión FDMA *full-duplex* (completamente bidireccional) requiere de dos canales, uno para transmitir y otro para recibir.

Los dos estándares más exitosos de la primera generación son: el Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (TACS) y el Servicio Telefónico Móvil Avanzado (AMPS).

Aunque también hubo otros estándares como el NMT creado en Escandinavia, que usaba la banda de 450MHz a 900MHz y el NTT's MCS creado en Japón.

### **1.1.1 Servicio telefónico móvil avanzado (AMPS)**

Este servicio fue inventado por Laboratorios Bell e implementado en los Estados Unidos a inicios de 1980. Las frecuencias asignadas al AMPS por la FCC están entre 824 a 849 MHz para la transmisión (móviles a base) y 869 a 894 MHz para la recepción (base a móvil).

Cada canal físico es de 30 KHz de ancho y esta dedicado a una sola estación móvil durante la llamada en la celda actual en que se encuentra.

Para explicar el funcionamiento general de este sistema, se debe dejar claro que un sistema celular esta compuesto por dos elementos: el móvil o aparato celular y la estación base, que es la celda más cercana a la ubicación en que el móvil se encuentra. Cuando el móvil se enciende, va en busca del canal principal de control, el cual tiene la información de identificación del sistema, de la célula donde se encuentra actualmente ubicado. Si en cualquier momento, la señal de localización cae por debajo de un valor determinado, entonces el móvil ira en busca de otra señal más fuerte.

En todo momento el móvil envía y recibe información, ya que registra su ubicación con la estación base próxima a fin de que esta localización sea actualizada cada vez que se mueva de una célula a otra.

Cuando un móvil desea iniciar una llamada, el número de teléfono deseado es marcado y esta información es enviada sobre el canal principal de control a la estación base, la cual selecciona un par de canales para el móvil. Si ninguno de los canales está disponible, la estación base simplemente rechaza la petición, lo cual resulta en el móvil como la señal audible de “ocupado”. Si la estación base concede un canal para el abonado, entonces debe asociar la llamada directa para el destino. Entonces el móvil sintoniza su transmisor y su aparato receptor para el par asignado de canales de tráfico en lo que dura la llamada.

En caso contrario, si el móvil recibe una llamada, una señal de requerimiento de llamada es enviada por el canal de control. En caso de que el móvil estuviera temporalmente en un hoyo de RF o no pudiera recibir el primer requerimiento de llamada, este es repetido varios segundos más tarde. El tiempo entre requerimientos de llamada es corto para minimizar el retraso del repique experimentado por la llamada original. La respuesta del móvil también es repetida. Cuando el móvil recibe la asignación del canal, procede hacia ese canal y produce un tono de llamada audible para el usuario, pudiendo este responder entonces la llamada.

### **1.1.2 Sistema de comunicación de acceso total (TACS)**

El sistema TACS fue adoptado en Inglaterra en el año 1985 y se deriva del sistema analógico AMPS americano. Las frecuencias asignadas al TACS están entre 872 a 905 MHz para la transmisión y 917 a 950 MHz para la recepción, es decir que este sistema trabaja en la banda de frecuencia de los 900 MHz en donde cada MHz se divide en 40 semicanales de 25 KHz, por lo que resulta bastante útil, debido a su gran disponibilidad de canales para cubrir áreas urbanas. Dispone de 1320 canales dúplex, de los que 21 se dedican exclusivamente a control (señal digital) y el resto para voz (señal analógica).

Entre las características de este sistema se puede mencionar: mejor calidad de audio, mejor conmutación al pasar de una a otra célula, resultando casi imperceptible el ruido para el usuario, sin embargo sus estaciones base cubren un rango menor. La descripción general de su funcionamiento es igual que la del AMPS descrita en el inciso anterior.

Nótese, que aunque el mundo avanza hacia nuevos estándares, en algunas partes del mundo todavía se utilizan los sistemas de primera generación, como nuevos y otros siguen solamente creciendo.

## **1.2 Segunda generación (2G): Sistemas digitales múltiples**

La aparición de la segunda generación fue en el año 1990 y a diferencia de la primera se caracterizó por ser digital.

Los sistemas de segunda generación presentaron una capacidad mayor con respecto a los de la primera generación. Se logró dividir un canal de frecuencia para poder ser utilizado simultáneamente por varios usuarios, gracias a las técnicas digitales de división por tiempo y por código, las cuales podían dividir un espacio muy pequeño de tiempo entre varios usuarios, siendo esta división imperceptible para ellos.

También la estructura de las células se modificó: el área de cobertura se dividió en macro, micro y pico células - respecto al área de cobertura y al tráfico esperado - esto aumentó la capacidad de los sistemas aún más. El tamaño de las células era escogido de acuerdo a cálculos probabilísticos y estadísticos, los cuales relacionaban el tráfico esperado en un área con la capacidad del sistema.

Las tecnologías predominantes de esta generación son: GSM (Sistema Global de Comunicaciones Móviles), TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo), CDMA (Acceso Múltiple por División de Código) y PDC (Comunicaciones Personales Digitales), esta última utilizada en Japón.

Estas tecnologías soportan velocidades de información más altas para voz, pero se encuentran aún un poco limitadas en comunicación de datos, solamente pueden ofrecer servicios auxiliares, como envío de datos, fax y SMS (Servicios de Mensajes Cortos). En Estados Unidos y otros países se le conoce a la segunda generación como PCS (Servicios de Comunicación Personal).

TDMA (IS-136) fue aceptada en Norteamérica principalmente, este estándar fue creado con el antecedente de ser compatible con el estándar analógico AMPS.

Es una tecnología inalámbrica que brinda servicios de alta calidad de voz y datos, en las bandas más usadas del espectro, lo que incluye las de 850 y 1900 MHz. TDMA divide un único canal de frecuencia de radio en seis intervalos de tiempo.

A cada persona que realiza una llamada se le asigna un intervalo de tiempo específico para la transmisión, lo que hace posible que varios usuarios utilicen un mismo canal simultáneamente sin interferirse entre sí. Este diseño hace un uso eficiente del espectro y ofrece tres veces más capacidad que la tecnología analógica AMPS, de la primera generación.

GSM, por otra parte, fue inicialmente implementada en Europa y luego se expandió alrededor del mundo, hasta llegar actualmente a ocupar el 75% de la telefonía celular mundial. Esta tecnología presta también servicios de voz de alta calidad, así como servicios de datos conmutados, en una amplia gama de bandas del espectro, entre ellas las de 450, 850, 900, 1800 y 1900 MHz.

GSM permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio, utilizando la tecnología de TDMA explicada anteriormente. GSM también utiliza una técnica llamada "*frequency hopping*" (salto de frecuencia) que minimiza la interferencia de las fuentes externas y hace que los escuchas no autorizados sean virtualmente imposibles.

El sistema CDMA (IS-95) por su parte incorpora una nueva interfaz aérea, ya no divide un canal de frecuencia en intervalos de tiempo, ahora utiliza un código para separar la transmisión de un usuario de otro, esto quiere decir que a un usuario se le asigna un código y a otro usuario se le da uno distinto. Los principios del sistema CDMA, son también la base para los sistemas 3G.

En cuanto a PDC este fue un sistema creado en Japón, el cual desafortunadamente no fue muy aceptado fuera de su país. Sin embargo, esto no detuvo a sus creadores y fue Japón uno de los países pioneros en varias áreas de investigación para el desarrollo de la tercera generación.

Las ventajas que ofrecieron estos nuevos sistemas fueron:

1. Mayor calidad de voz
2. Menores costos de operación de las terminales
3. Mayor nivel de seguridad
4. *Roaming* internacional
5. Soporte para terminales de menor potencia
6. Una mayor variedad de servicios

Aunque todos estos sistemas pudieran o no parecerse, todos ellos debían ser competitivos, es por esto que entre ellos proveían un cierto tipo y número de servicios. De estas tecnologías GSM es sin duda la que más éxito ha tenido, pero también los otros sistemas han atenido su aceptación y crecimiento.

### **1.2.1 Segunda generación avanzada (2.5G)**

Esta generación representa a la mayoría de los sistemas establecidos actualmente en el mundo. La evolución de 2G a 2.5G se basa en los servicios ofrecidos por los sistemas para el usuario, que intentan incrementar la capacidad de transmisión. Estos nuevos servicios se suman a los ya provistos en la 2G.

El sistema básico GSM solo podía proveer una tasa de transmisión de datos de 9.6 Kbps, posteriormente se especifico una tasa de 14.4 Kbps, pero aun con estas velocidades y para poder proveer todos los servicios a los usuarios no fue suficiente este aumento en la tasa de transmisión, es por esto que la 2G se vio en la necesidad de utilizar nuevas tecnologías, entre las cuales están: HSCSD (Circuito Conmutado de Datos de Alta Velocidad), GPRS (Servicio de Radiotransmisión de Paquetes Generales) y EDGE (Mayores Velocidades de Datos para la Evolución Global).

A la utilización de estas tecnologías es a lo que se le conoce como 2.5G.

HSCSD es la tecnología en donde la velocidad del sistema se puede incrementar más fácilmente. Lo que hace esta técnica es utilizar mas de un intervalo de tiempo para la conexión, con esto, se multiplica la tasa de transferencia a un múltiplo entero de 9.6 Kbps, capacitando al sistema para aplicaciones de tiempo real. Este método es sin duda el mas barato, pues solo requiere un *software* que sea capaz de manejarlo, y obviamente, teléfonos con el soporte necesario.

Uno de los inconvenientes en la utilización de HSCSD es el precio en los recursos del sistema, ya que se hace uso de los intervalos de tiempo, aun cuando no se esta transmitiendo. En los lugares de alto tráfico esto es casi imposible de sostener. Sin embargo, esta técnica, no es muy usada, ya que la mayoría de los fabricantes se han decidido por GPRS.

GPRS, es una solución para datos móviles que ofrece eficiencia espectral para nuevos y más veloces servicios de datos, así como para *roaming* internacional.

Por tratarse de una tecnología de datos inalámbricos, GPRS ofrece velocidades de datos máximas de 115 Kbps y un *throughput* promedio de 30-40 Kbps. A GPRS se le denomina tecnología de 2.5G porque constituye el primer paso de un operador GSM hacia la tercera generación (3G).

GPRS es una tecnología basada en paquetes, lo que significa que los datos están divididos en paquetes que son transmitidos en breves ráfagas sobre una red IP. Este diseño es mucho más eficiente que las redes conmutadas por circuitos como en el caso de HSCSD, dando lugar a una reducción de los costos operativos de la red. El diseño de paquetes beneficia a los usuarios en dos formas primordiales: primero, GPRS provee una conexión “siempre activa” que no exige que el usuario deba conectarse cada vez que desea obtener acceso a datos. En segundo lugar, los usuarios solo pagan por los datos en si, en lugar de pagar por el tiempo de aire empleado en establecer una conexión y descargar los datos.

Por último EDGE, originalmente pensado para GSM, aunque posteriormente fue utilizado por varios estándares. EDGE es una tecnología de datos móviles y acceso a internet de alta velocidad, con velocidades pico de 473 Kbps y Throughput promedio de 80-130 Kbps. Las velocidades promedio son suficientemente veloces como para soportar una amplia gama de servicios avanzados de datos, incluso *streaming* de audio y video, acceso veloz a internet y descarga de archivos de gran tamaño.

Estos tres métodos pueden combinarse de ciertas formas. La combinación de GPRS y EDGE se llama *Enhanced* GPRS (EGPRS) la cual puede proveer una tasa de tres a cuatro veces la capacidad y *throughput* de datos del GPRS, otra combinación es la del EDGE con el HSCSD la cual nos da como resultado el *Enhanced* HSCSD (EHSCSD).

También CDMA es de los servicios más rápidos con velocidades de hasta 144 Kbps, colocándose en la segunda posición, atrás de GSM y su tecnología de 2.5G.

Actualmente el mercado mundial de telefonía celular esta repartido como se ve en la tabla I.

**Tabla I. Porcentaje por tecnología del mercado mundial de telefonía celular**

GSM	85.47%
CDMA	11.96%
TDMA	1.13%
PDC	0.76%
OTRAS	0.68%

Fuente: Informa Telecoms & Media Junio 2007, **Abonados digitales por tecnología en el mundo**, [www.3gamericas.org](http://www.3gamericas.org)

### **1.3 Tercera generación (3G): Evolución de los sistemas GSM**

Aun cuando las redes de comunicaciones celulares de 2da generación (incluyendo 2.5G) no han terminado de desplazar por completo a las de 1ra generación, en los últimos años ha habido una actividad muy fuerte de investigación y desarrollo a nivel internacional para finalizar los estándares de 3G, que eventualmente y de manera gradual substituirán a las redes de 2G.

El cambio de 1G a 2G se produjo como respuesta a la saturación del espectro reservado para comunicaciones celulares (banda de 800 MHz). La tecnología TDMA logro multiplicar por tres el número de usuarios que FDMA podía atender en un canal y CDMA incremento en promedio este número a cinco. La introducción de la tecnología inalámbrica de 3G no se da solamente como respuesta a la saturación del espectro radioeléctrico, sino también con el fin de ofrecer nuevos servicios de telecomunicaciones de mayor velocidad.

La 3G se caracteriza por contener convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a internet, en otras palabras, es apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos, alcanzando velocidades de hasta 384 Kbps, para usuarios que viajan a 120 Km/h en ambientes exteriores y de 2 Mbps con movilidad limitada para usuarios que caminan a menos de 10 Km/h en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores. Entre las tecnologías contendientes de la tercera generación se encuentran UMTS (Servicio Universal de Telefonía Móvil), CDMA2000, UWC-136, EGSM (GSM de Mayor Velocidad).

Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están enfocados para aplicaciones más allá de la voz como audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet, solo por nombrar algunas.

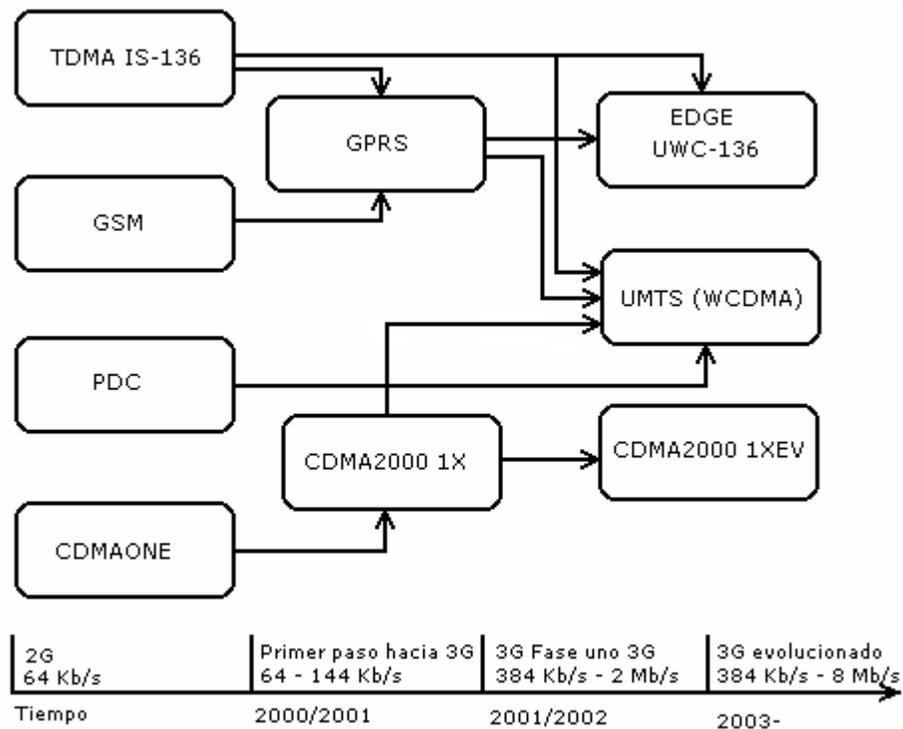
NTT Do Como fue el primer operario que lanzo mundialmente los servicios UMTS en Japón en el 2001.

Es importante mencionar que la tecnología IP (*Internet Protocol*) basada en paquetes constituye el núcleo de las redes 3G, es decir que podremos estar en línea de manera constante, “siempre conectados”.

La mayoría de las redes de tercera generación contemplan trabajar en las mismas bandas de frecuencia que las redes de segunda generación existentes. El ancho de banda considerado es de 5 MHz con lo cual se logra compatibilidad con las redes existentes y se pueden proporcionar tasas de bit de 144 Kbps y 384 Kbps con facilidad.

La figura 1 muestra la evolución de las redes de segunda generación, tal como esta sucediendo en la actualidad y las tecnologías que las soportan.

**Figura1. Tecnologías 2G y evolución a 3G**



Fuente: **Las telecomunicaciones y la movilidad en la sociedad de la información,**  
p34.

Como se puede observar en la figura 1, para los estándares PDC y GSM que utilizan tecnología TDMA, la tecnología dominante para la evolución hacia la tercera generación es WCDMA llamada UMTS, aunque algunos fabricantes se inclinan por la tecnología de GPRS. El esquema WCDMA ha sido desarrollado como un esfuerzo conjunto entre ETSI (Instituto de Estándares en Telecomunicaciones y Electrónica de Europa) y ARIB (Asociación para Negocios y Radio Industrial de Japón).

Para el estándar TDMA (IS-136) la tecnología dominante para la evolución hacia la tercera generación es UWC-136 (Comunicaciones Universales Inalámbricas). UWC-136, utiliza la tecnología ATDMA (*Advanced* TDMA). Esta usa tres diferentes tipos de portadoras: una portadora de 30 KHz que es la misma utilizada por TDMA pero con diferente modulación, una portadora de 200 KHz utilizada principalmente para tráfico de exteriores y vehicular, con una tasa de transmisión de 384 Kbps y una portadora de 1.6 MHz que se utiliza en la cobertura de interiores, con una tasa de transmisión de hasta 2 Mbps.

Por último CDMA-ONE, basado en la tecnología CDMA, al igual que UMTS. Esta tecnología evolucionará en un principio a CDMA2000 1X, brindando servicios de voz y datos de manera simultánea, con el doble de capacidad de voz que CDMA-ONE y con una velocidad de transmisión promedio de paquetes de datos de 144 Kbps. Posteriormente podrá ser implementada la fase dos de CDMA2000, denominada CDMA2000 1XEV-DO, permitiendo a los operadores ofrecer en forma dinámica velocidades de datos pico de 2.4 Mbps, cuando el usuario se encuentre realizando únicamente transmisión de datos, mientras que la capacidad de CDMA2000 1X será utilizada cuando los usuarios usen transmisión de voz y datos en forma simultánea.

Estos tres sistemas UWC-136, UMTS y CDMA2000 son los contendientes mas importantes dentro de un impulso a los estándares de la 3G, el cual esta siendo apoyado por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y que se conoce como IMT-2000 (Telefonía Móvil Internacional) el cual en conjunto con la creación de 3GPP y 3GPP2, establecen los servicios y especificaciones de los sistemas propuestos para la 3G.

3GPP *Third Generation Partnership Project* o Asociación de Proyectos para Tercera Generación fue creada en diciembre de 1998, esta se dedica a desarrollar, especificaciones para sistemas de 3G basados en la interfaz aérea UMTS, al mismo tiempo que se responsabiliza por el futuro de las especificaciones de trabajo de GSM. Dentro de sus miembros incluye a ETSI, ARIB, T1, TTA (Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones), TTC (Comité de Tecnología de Telecomunicaciones) y CWTS (Estándar de Telecomunicaciones Inalámbricas de China).

El 3GPP tiene ya establecidas especificaciones para el sistema de 3G UMTS, uno de ellos es la utilización de la tecnología de acceso WCDMA.

Por otra parte 3GPP2 o Asociación de Proyectos para 3G dos, es otra organización mayor de estandarización, encargada del estudio del sistema CDMA2000, el cual esta también basado en la tecnología de acceso CDMA. La principal diferencia entre 3GPP y 3GPP2 consiste en que 3GPP cambiaria completamente las especificaciones de la interfaz aérea, mientras que 3GPP2 plantea una interfaz compatible con el sistema CDMA (IS-95).

Los miembros de 3GPP2 incluyen a CWTS, TTA, TTC, ARIB y TIA (Asociación Industrial de Telecomunicaciones).

Se esta acordando una solución IP punto a punto basada en normas para redes CDMA2000 dentro de 3GPP2. 3GPP2 trabaja de manera estrecha con 3GPP para asegurarse de que la red central y la evolución IP de las redes CDMA 3G sean compatibles con las de las redes WCDMA y viceversa.

#### **1.4 IMT-2000**

Es el estándar global para la tercera generación de comunicaciones inalámbricas, cuyas recomendaciones son definidas por la ITU. El IMT-2000 enmarca el acceso inalámbrico mundial, conectando los diversos sistemas basados en redes terrestres y satelitales. Este estándar explotara la energía potencial entre los sistemas y tecnologías móviles digitales de telecomunicaciones, para los sistemas de acceso inalámbricos.

Las actividades de la ITU para el IMT-2000 tienen como finalidad la estandarización internacional, la cual incluye el espectro de frecuencia y las especificaciones técnicas para componentes de radio y red, tarifas y facturación, asistencia técnica y estudio sobre los aspectos políticos y regulatorios.

Las principales áreas de actividad de la ITU para el IMT-2000 son:

a) Desarrollo de las Telecomunicaciones (ITU-D)

Es responsable de estudiar, actividades y asistencia directa relacionada a la implementación de IMT-2000 en países en desarrollo.

b) Radiocomunicaciones (ITU-R)

Es responsable de todo el espectro de radio frecuencia y aspectos de sistemas de radio del IMT-2000 y sistemas posteriores, principalmente de los aspectos relacionados a la componente terrestre.

c) Estandarización de las Telecomunicaciones (ITU-T)

Es responsable de estudiar aspectos relacionados con redes de IMT-2000 y sistemas posteriores, incluido internet inalámbrico, convergencia de redes fijas y móviles, manejo de la movilidad, funciones de multimedia, interoperabilidad y el mejoramiento de las recomendaciones existentes del ITU-T sobre el IMT-2000.

d) Investigación y Análisis (SPU) Secretaria General

El SPU (Unidad de Estrategia y de Política) de la secretaria general provee investigación, análisis y estadísticas sobre el sector de las telecomunicaciones como un todo. Una de sus principales áreas de actividad son las comunicaciones móviles, incluyendo el IMT-2000.

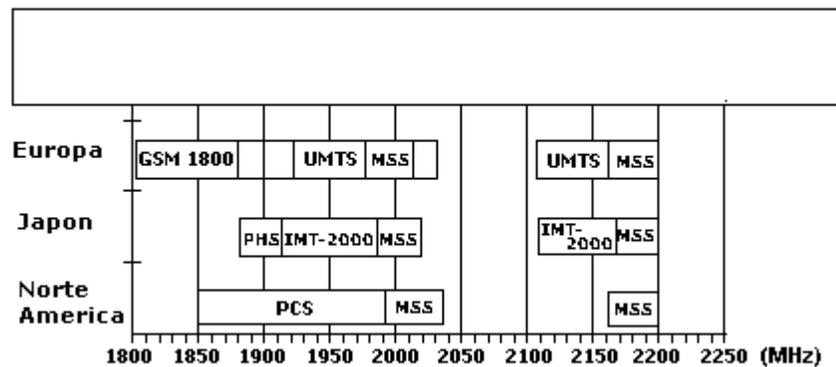
Las características fundamentales del IMT-2000 son:

- 1) Cobertura completa para 144 Kbps, preferible 384 Kbps.
- 2) Cobertura y movilidad limitada para 2Mbps.
- 3) Alta eficiencia espectral
- 4) Alta flexibilidad para nuevos servicios
- 5) Compatibilidad entre diversos sistemas (cobertura mundial)
- 6) Capacidad de ofrecer servicios multimedia.

Las bandas de frecuencias que se encuentran actualmente identificadas y establecidas en todo el mundo para la operación de los sistemas IMT-2000 son: 1885 – 2025 MHz y 2110 – 2200 MHz, con el componente satelital limitado a 1980 – 2010 y 2170 – 2200 MHz.

En la Figura 2 se observa el espectro de IMT-2000,

**Figura 2. Bandas de frecuencias para IMT-2000**



Fuente: Andreas Berg, **UMTS-universal mobile telecommunications systems**,  
[www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-111.350/1998/esitykset/Umts/UMTS.html#3](http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-111.350/1998/esitykset/Umts/UMTS.html#3).

El sistema IMT-2000 no es solo un sistema celular, si no que es un esfuerzo por proveer un sistema de comunicaciones convergente a nivel mundial, el cual incluye todo tipo de redes, incluyendo: sistemas satelitales, sistemas celulares terrestres (macro, micro y pico-células), sistemas alambrados y sistemas de acceso inalámbrico. Todos estos desarrollos no se han venido dando al mismo tiempo en todo el mundo, por lo que los sistemas 3G irán apareciendo poco a poco.

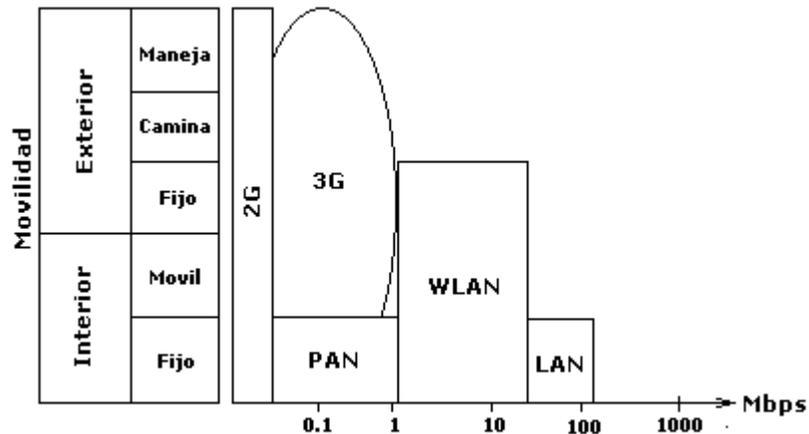
## 1.5 Cuarta generación (4G)

Las redes 3G están enfocadas hacia la transferencia de voz y datos con una velocidad máxima de 2 Mbps, velocidad que no es suficiente para proporcionar servicios verdaderamente multimedia (tales como transferencia de archivos de imágenes, video en tiempo real, etc.) los cuales requieren de velocidades que van hasta los 10 Mbps. Estos servicios multimedia de alta velocidad son el objetivo que pretende alcanzar la tecnología 4G.

La diferencia básica entre una red de 3G y una de 4G, es la tasa de bit disponible para el usuario. Mientras que las redes de 3G ofrecen accesos hasta de 384 Kbps, con picos de hasta 2 Mbps - con los que podría manejar servicios de audio, datos e imágenes - las redes de 4G ofrecen accesos realmente multimedia, en las que podrá manejarse la transferencia de video en tiempo real, con velocidades equivalentes a las de una LAN básica (10 Mbps) y mayores. Para lograr esto, se necesita manejar anchos de banda de al menos 20 MHz por canal, por lo que la tecnología se considera de banda ancha.

Puesto que la potencia necesaria para el transmisor es directamente proporcional al ancho de banda de la señal, el área de cobertura de una estación base para redes de 4ta generación es de diámetro reducido; por lo que se prevé que se limitara al radio de una pico célula (hasta de 200 m de radio). Por tanto, la tecnología inalámbrica de 4ta generación no vendrá a sustituir a la 3ra, sino a complementarla. En la Figura 3 se muestra la cobertura que proporcionará cada tipo de red.

**Figura 3. Cobertura por tipo de red**



Fuente: Jaime Sanchez, **Revista electro 2001**, p62.

Los factores que pueden influir en el desarrollo de las redes de 4ta generación son entre otros:

- El auge del internet que cada vez se utiliza más por medios inalámbricos.
- La proliferación de asistentes digitales personales y computadoras personales de bolsillo.
- La disponibilidad de servicios de valor añadido a los usuarios de internet móvil (transacciones bursátiles, reservaciones áreas, etc.).
- La oferta de servicios transparentes, donde los dispositivos interaccionan con otros dispositivos, a nombre de los usuarios.

Las tecnologías que pueden ser decisivas en el desarrollo de las redes de 4ta generación son:

- a) El Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) como red dorsal de la red Universal Multimedia (RUM) que ofrecerá servicios con calidad Garantizada.
- b) El protocolo IP, como la parte de transporte de la RUM (probablemente en esta red no se usen mas números de usuario sino direcciones de red).
- c) La tecnología de antenas adaptivas e inteligentes (para aprovechar la dimensión espacial de los métodos de acceso al medio).
- d) La tecnología de modulación y transmisión inalámbrica de multicanalización en frecuencia con portadoras ortogonales OFDM (para lograr una eficiencia espectral óptima).
- e) La tecnología de radios programables, la cual permitirá que una terminal móvil pueda hacer Handover desde una célula perteneciente a un tipo de red, hacia otra célula perteneciente a una red con tecnología inalámbrica diferente.
- f) La tecnología de redes locales inalámbricas WLAN de banda ancha (que brindaran el acceso a la RUM al usuario móvil).

## 2. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS CELULARES

### 2.1 Técnicas de acceso múltiple

En los sistemas de comunicaciones móviles los usuarios no se conectan directamente unos con otros ya que en muchos casos la distancia lo hace imposible, por lo cual la comunicación se realiza por medio de una estación base la cual cubre un área delimitada a la cual se le conoce como celda.

Hay varias técnicas que permiten la comunicación entre nuestro celular (MS) *mobile station* y la estación base (BS) *base station*, a estas técnicas se les conoce como técnicas de acceso múltiple. Entre ellas tenemos:

- 1) Acceso Múltiple por División de Frecuencia (*Frequency Division Multiple Access, FDMA*)
- 2) Acceso Múltiple por División de Tiempo (*Time Division Multiple Access, TDMA*)
- 3) Acceso Múltiple por División de Código (*Code Division Multiple Access, CDMA*)

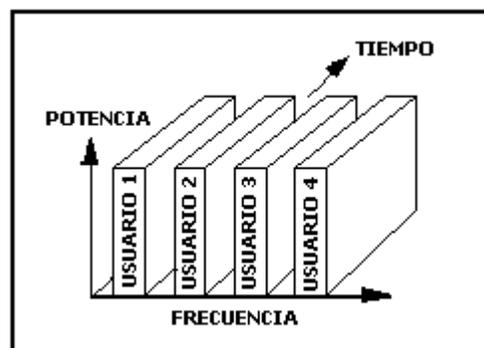
### 2.1.1 Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

Esta tecnología se utilizó durante la primera generación. FDMA posee un conjunto limitado de canales ordenados en dominio de la frecuencia. Por ser limitados son muy preciados y son asignados según las necesidades de la sociedad por los cuerpos reguladores de los gobiernos. Cuando la cantidad de usuarios sobrepasa la cantidad de canales, se bloquea el acceso al sistema.

Entre más frecuencias hay, hay mas usuarios, por lo que el trafico de señalización a través del canal de control es mayor, los sistemas muy grandes de FDMA poseen varios canales de control.

Una característica importante de FDMA es que una vez que el usuario utiliza un canal este es de su uso exclusivo hasta que deje de utilizarlo. FDMA asigna un canal simple de frecuencia a un usuario a la vez como puede ser observado en la figura 4.

**Figura 4. FDMA**



Fuente: [www.iec.org/online/tutorials](http://www.iec.org/online/tutorials), Time division multiple access, p3.

### **2.1.2 Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)**

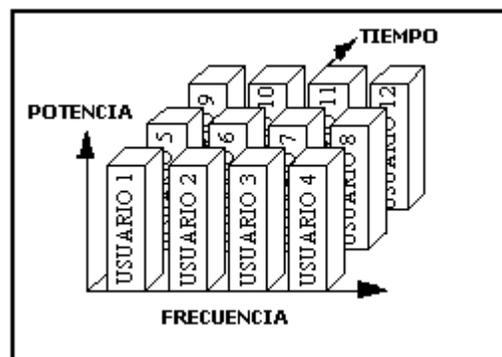
Esta tecnología permite a un número de usuarios acceder a un simple canal de frecuencia colocándolos a cada uno en un intervalo de tiempo dentro de este canal. El estándar TDMA para celulares divide cada canal en seis espacios de tiempo, en donde cada señal utiliza dos espacios, dándonos como resultado una ganancia de tres a uno con respecto al AMPS de la primera generación. Actualmente TDMA es la técnica de acceso utilizada por GSM y tiene una ganancia ocho veces mayor que los sistemas de primera generación.

Todas las técnicas de acceso múltiple dependen de la tecnología digital que utilicen, pero en general el uso de la transmisión digital tiene varias ventajas sobre la transmisión análoga, las cuales se muestran a continuación:

1. Economiza ancho de banda.
2. Permite fácil integración con los dispositivos de los sistemas personales de comunicación (PCS).
3. Mantiene una calidad de voz superior en la transmisión a largas distancias.
4. Es difícil de decodificar.
5. Utiliza menor potencia de transmisión promedio.
6. Hace posible la utilización de transmisores y receptores más pequeños.
7. Ofrece privacidad de voz.

TDMA trabaja de la siguiente manera, la señal de audio es digitalizada, es decir se divide dentro de un numero de paquetes con duración de milisegundos, estos paquetes son colocados en un canal de frecuencia durante cortos espacios de tiempo y luego son transferidos a otro canal, esto quiere decir que las muestras digitales de un simple transmisor ocupan diferentes intervalos de tiempo en varias bandas de frecuencia como se muestra en la figura 5.

**Figura 5. TDMA**



Fuente: [www.iec.org/online/tutorials](http://www.iec.org/online/tutorials), **Time division multiple access**, p3.

Además de incrementar la eficiencia de transmisión, TDMA ofrece otras ventajas.

En primer lugar, puede adaptarse a la transmisión de datos tan bien como a la transmisión de voz, ya que puede portar rangos de datos de 64 Kbps a 120 Mbps (expandible en múltiplos de 64 Kbps) lo cual hace posible utilizar servicios de fax, datos en banda de voz y servicios de mensajes cortos, llegando con rangos de datos mayores hasta poder utilizar aplicaciones intensivas de ancho de banda, como multimedia y videoconferencia.

Esta técnica asegura también que no se tendrá interferencia de otras transmisiones simultaneas como sucede con la técnica de *spread-spectrum* la cual puede sufrir interferencia entre usuarios ya que todos están en la misma banda de frecuencia y transmitiendo al mismo tiempo.

Otra ventaja que TDMA ofrece al usuario es vida de batería extendida, ya que al hablar, el móvil solo transmite en esa porción de tiempo es decir de 1/3 a 1/10 del tiempo durante las conversaciones.

TDMA es la única tecnología que utiliza eficientemente las estructuras de celdas jerárquicas (HCSs, por su nombre en ingles) ofreciendo pico, micro y macro celdas. HCSs permite cobertura para que el sistema pueda soportar a la medida, las necesidades específicas de tráfico y servicios. TDMA es compatible con los sistemas análogos de FDMA, por lo que permite compatibilidad de servicio en modo dual.

El modo dual no es más que una combinación de servicios en distintas bandas de frecuencia regularmente entre las frecuencias de 800 y 1900MHz, en donde los usuarios pueden trabajar sin irregularidades en ambas bandas y utilizar todas las aplicaciones y servicios que cada una ofrece.

Así como TDMA tiene ventajas así también tiene desventajas, como el espacio predefinido de tiempo que tienen los usuarios ya que si todos los espacios de tiempo de la siguiente celda a donde se transfiere la llamada están ocupados la llamada podría ser desconectada. De igual forma si se quiere sacar una llamada y los intervalos de tiempo de la celda en la cual se encuentra el móvil están ocupados, este no podría sacar ni recibir llamadas.

Otra desventaja es la transmisión multitrayectoria, la cual se produce cuando la señal de una torre a un móvil viene de varias direcciones, por el hecho de que la señal podría haber rebotado con varios edificios antes de llegar a su destino, lo cual causa interferencia.

Actualmente, TDMA (IS-136) y GSM se han visto en la necesidad de incrementar su capacidad y ancho de banda y para esto han contemplado la utilización de cuatro técnicas las cuales aumentan la velocidad de transmisión e introducen el manejo de información por paquetes de datos.

Las técnicas son:

1. HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*)
2. CDPD (*Cellular Digital Packet Data*)
3. GPRS (*General Packet Radio Service*)
4. EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*)

Las tecnologías que serán analizadas más a fondo son GPRS y EDGE ya que estas son responsables de que GSM logre un acercamiento hacia la 3G.

#### **2.1.2.1 Servicio general de paquetes por radio (GPRS)**

Es la tecnología capaz de enviar y recibir paquetes de datos a velocidades semejantes a las de la telefonía fija convencional. Este sistema utiliza la tecnología IP (Internet Protocol) para acceder directamente a los proveedores de contenidos de internet, por lo que se le conoce también como GSM-IP.

Esta se basa en la conmutación de paquetes y se encuentra integrada a la red GSM, complementándola, ya que utiliza sus mismas frecuencias. Cuando usamos voz nos conectamos mediante GSM y cuando usamos datos, lo hacemos mediante IP-GPRS.

Al igual que en IP, cada paquete puede tener una longitud variable dependiendo de los recursos disponibles, pero con un máximo de 1.5 Kbytes. Además GPRS puede utilizar direcciones estáticas o dinámicas (DNS).

La velocidad de conexión puede llegar a los 115 Kbps, 12 veces más que la permitida por la red básica GSM. Su elevada velocidad es consecuencia de la compresión y subdivisión de paquetes que son enviados a intervalos regulares. El sistema GPRS no establece un canal exclusivo para cada usuario, por lo que este se comparte entre los usuarios que hagan uso de él, de manera que la conexión se establece únicamente en el momento de la utilización del canal, de esta manera la facturación se realiza por volumen de datos. GPRS es una solución parcial a los problemas de velocidad de transmisión. Existen dos tipos de servicios GPRS:

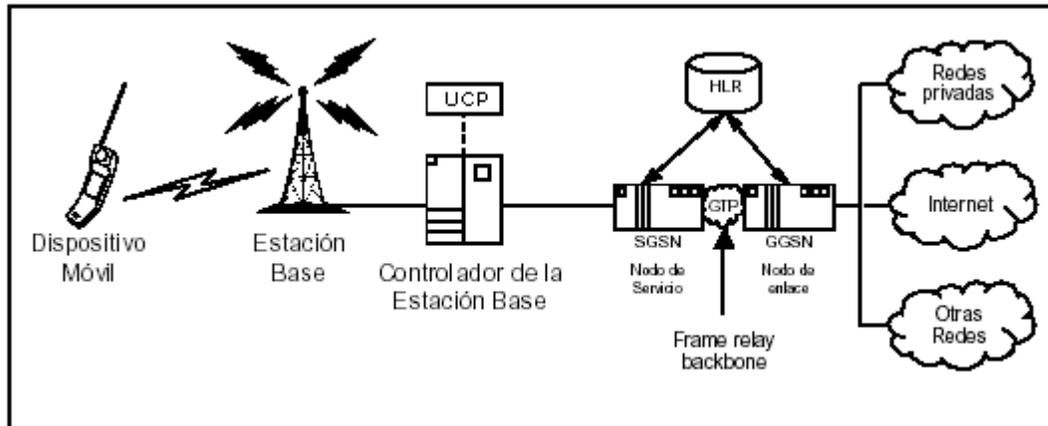
1. PTP (*point to point*): este servicio permite la comunicación entre un usuario emisor y un receptor para el envío de paquetes de datos, trabaja de dos modos, comunicación PTP-ND (*non dialogue*) en donde cada paquete viaja de forma independiente, de manera que los paquetes pueden llegar desordenados y la comunicación PTP-D (*dialogue*) donde los paquetes enviados llegan al receptor en el mismo orden en que se transmitieron.

2. PTM (*point to multipoint*): este servicio permite la comunicación de un único emisor a un grupo de usuarios receptores que se encuentren presentes en ese momento en el área o áreas geográficas definidas por el peticionario del servicio. PTM dispone de la posibilidad de que el mensaje sea recibido por cualquier usuario dentro del área geográfica, sin que el emisor tenga conocimiento de su existencia, o bien puede ser predefinida una lista de personas que pueden recibir el mensaje.

En este tipo de técnica no se debe establecer un canal dedicado para cada usuario sino que la conexión se realiza en el momento de utilización del canal, por lo tanto se factura conforme a la utilización del canal de emisión.

El sistema GPRS incorpora dos nuevos elementos a las redes GSM: el GGSN (Nodo de Soporte *Gateway* GPRS) y el SGSN (Nodo de Soporte de Servicio GPRS). De esta manera un dispositivo móvil se comunica con el Controlador de la Estación Base (BSC) mediante la Estación Base (BTS). El BSC de GSM existente, solo maneja voz, por lo que adicionalmente se requiere de una Unidad de Control de Paquetes (UCP) la cual se encarga de desviar los paquetes de datos GPRS hasta el SGSN, que envía y recibe los datos a los dispositivos móviles, además de interactuar con un registro de ubicación local (HLR) para identificar los dispositivos disponibles en su área de servicio y así hacerse cargo de los cambios de celda de las sesiones GPRS. El SGSN a su vez se conecta al GGSN mediante el relevador de cuadro (*frame relay*). En este punto la comunicación se realiza mediante un protocolo llamado GPRS *Tunnel Protocol* (GTP) que encapsula paquetes IP para ser transmitidos entre el SGSN y el GGSN. Finalmente el GGSN es quien mantiene al sistema conectado a redes como internet y otras redes privadas. Este dispositivo actúa, además, como *firewall* protegiendo la infraestructura GPRS de cualquier ataque. En la figura 6 se muestra la arquitectura del GPRS.

**Figura 6. Arquitectura simplificada del sistema GPRS**



Fuente: Giovanni Rivera, **Desarrollo de aplicaciones para dispositivos inalámbricos en un ambiente distribuido**, p24.

GPRS es un servicio que los operadores de todo el mundo lo están implementando como un paso vital hacia la telefonía celular de tercera generación.

### **2.1.2.2 Mayores velocidades de datos para la evolución GSM (EDGE)**

Es otro estándar móvil de alta velocidad, que permite velocidades de transmisión de datos de 384 kbps, esto significa una tasa de bit de 48 kbps por intervalo de tiempo en condiciones de radio normales y hasta de 554 kbps con una tasa de bit de 69.2 kbps por intervalo de tiempo en condiciones optimas, asumiendo una terminal de 8 intervalos de tiempo.

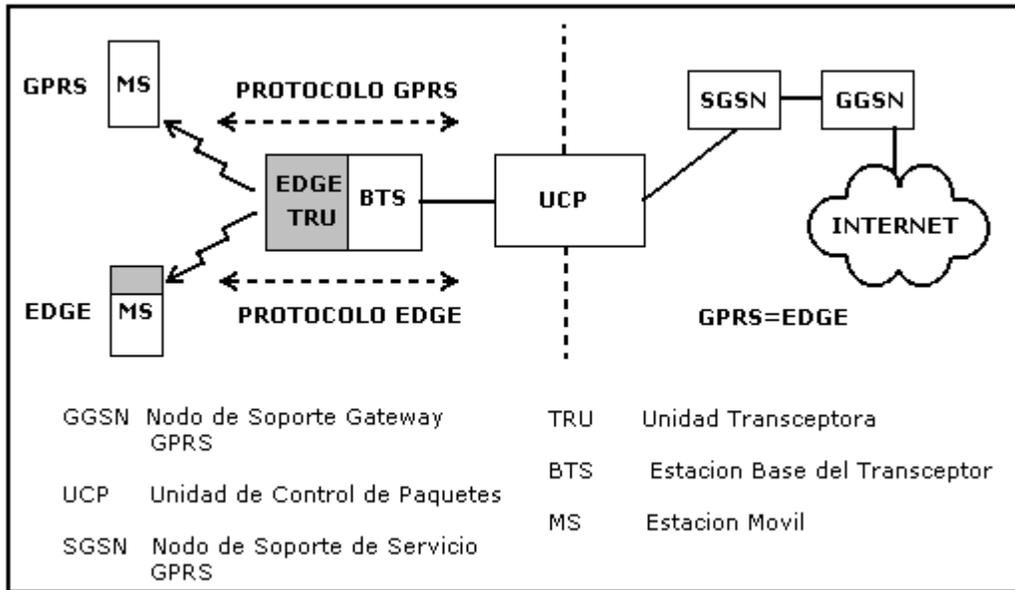
EDGE da a los operadores de GSM la oportunidad de ofrecer servicios de datos a velocidades cercanas a las disponibles en las redes UMTS, así como también sirve de camino de evolución para la migración de GPRS a UMTS, implementando ahora los cambios en modulación que serán necesarios para implementar UMTS después. La idea de EDGE es lograr tasas mas altas de datos, sobre la portadora de GSM de 200 KHz cambiando el tipo de modulación utilizado.

GPRS esta basado en un tipo de modulación conocida como Modulación por Desplazamiento Gaussiano Mínimo (GMSK, *Gaussian Minimum Shift Keying*) el cual solo permite un incremento moderado en los rangos de bit por intervalo de tiempo, limitando la velocidad de datos a 115.2 Kbps.

EDGE, por su parte esta basado en una nueva técnica de modulación conocida como *Eight Phase Shift Keying* (8PSK) que permite un rango de bit mucho mayor a través de la interfaz aérea. Este cambio en la modulación de GMSK a 8PSK es el cambio principal con el cual EDGE prepara al mundo GSM y TDMA en general para UMTS.

La implementación de EDGE para los operadores de la red ha sido diseñada para ser simple, no hay necesidad de comprar licencias nuevas ni espectro de frecuencia, ya que las celdas de GSM-GPRS y los procesos de transmisión existentes pueden ser usados. Solamente se necesitara que un transceptor para EDGE sea añadido a cada celda, mientras que las actualizaciones de software para los BSC y las estaciones base pueden ser ejecutadas remotamente. El nuevo transceptor para EDGE también puede manipular tráfico estándar GSM y automáticamente conmutar al modo EDGE cuando sea necesario. En la figura 7 se muestran de color gris los módulos agregados a GPRS por EDGE.

**Figura 7. Módulos agregados por EDGE a GPRS**



Fuente: Erick Mayoral, **Redes inalámbricas de 2G, 2.5G y 3G**, p56.

### 2.1.3 Acceso múltiple por división de código (CDMA)

CDMA es una técnica de acceso múltiple especificada por la TIA (*Telecommunications Industry Association*) como IS-95. Los sistemas IS-95 dividen el espectro en portadoras de 1.25 MHz, no de 30 KHz o de 200 KHz, como es el caso de TDMA y GSM, colocando a los usuarios en un mismo canal al mismo tiempo como se puede ver en la figura 8.

**Figura 8. Distribución de usuarios en CDMA**



CDMA utiliza códigos pseudo aleatorios los cuales se multiplican por la señal que contiene la información, codificando de esta manera los datos de banda base antes de la transmisión. La señal es transmitida en un canal el cual esta debajo del nivel del ruido.

El aparato receptor entonces usa un correlacionador para decodificar la señal buscada, lo cual se hace por medio de un filtro pasa banda angosto, las señales no deseadas no serán decodificadas y no pasaran por el filtro. Los códigos toman la forma de una secuencia cuidadosamente designada de ceros y unos producidos en un rango mucho mayor que los datos de banda base.

CDMA es un sistema de acceso múltiple de interferencia limitada. Debido a que todos los usuarios transmiten sobre la misma frecuencia, la interferencia interna generada por el sistema es el factor más importante para determinar la capacidad del sistema y la calidad de la llamada.

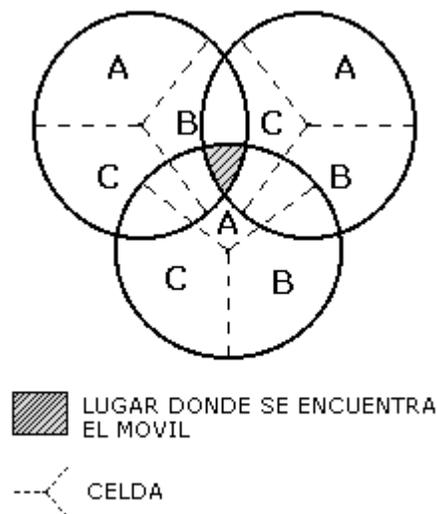
La potencia de transmisión para cada usuario debe ser reducida para limitar la interferencia, sin embargo, la potencia deberá ser suficiente para mantener la relación señal a ruido requerida para una calidad satisfactoria de llamada.

La capacidad máxima es lograda cuando la relación señal a ruido de cada usuario esta en el mínimo nivel necesario para el desempeño aceptable del canal. Como las estaciones móviles se mantienen circulando, las condiciones de RF continuamente cambian debido a la degradación rápida y lenta de la señal, interferencia externa, ensombrecimiento y otros factores, para ello existe un control dinámico de potencia cuyo objetivo es limitar la potencia transmitida en ambas direcciones mientras mantiene la calidad del enlace bajo todas las condiciones. Las ventajas adicionales de CDMA son vida mas larga de la batería del móvil y vida mas larga de los amplificadores de potencia de las BTSs.

En las redes celulares una llamada tiene que ser pasada de una celda a otra cuando el usuario se mueve entre ellas, a esto se le conoce como handover. Hay dos tipos principales de *handover*: duro y suave. En un *handover* tradicional duro, la conexión de la celda actual se rompe, y entonces la conexión a la nueva celda es hecha, esto es conocido como “romper antes de hacer *handover*”. Debido a que todas las celdas en CDMA usan la misma frecuencia, se logra hacer la conexión a la celda nueva antes de dejar la celda actual, esto es conocido como “*handover* hecho antes de romper” o “*handover* suave”. Los *handover* suaves necesitan menos potencia, lo cual reduce la interferencia y aumenta la capacidad. El móvil puede estar conectado a más de dos BTS durante el handover.

Existe un caso especial de *handover* suave llamado “*Softer*” donde los enlaces de radio que son sumados y removidos forman parte de un mismo nodo. En la figura 9 se muestra un ejemplo de *handover* suave.

**Figura 9. CDMA *handover* suave**



Fuente: [www.umtsworld.com](http://www.umtsworld.com), **CDMA overview**.

Una de las principales ventajas de los sistemas CDMA es la capacidad de usar señales que llegan a los receptores con diferentes retardos de tiempo. Este fenómeno es llamado multitrayectoria. FDMA y TDMA, son sistemas de banda angosta, que no pueden discriminar entre las llegadas multitrayectoria, por lo que suelen recurrir a la igualación de las señales para suavizar los efectos negativos de esta. Debido a su ancho de banda amplio y su grupo de receptores tipo *rake*, CDMA utiliza las señales multitrayectoria y las combina para hacer una señal aun más fuerte.

Los receptores tipo *rake*, están constituidos por varios semireceptores conocidos con el nombre de *fingers* (dedos) los cuales se encargan de alinear en tiempo las diferentes replicas y sumarlas en fase, recuperando de esta manera la señal.

## **2.2 Modulación digital**

Las técnicas de modulación digital son parte importante para la determinación de las capacidades de los diferentes sistemas celulares, al hecho de poner datos binarios sobre una portadora de RF se le llama modulación digital. La modulación digital provee más capacidad de información, compatibilidad con servicios de datos digitales, mayor seguridad de datos, mejor calidad de comunicaciones y disponibilidad más rápida al sistema.

Al momento de elegir una técnica de modulación digital, los desarrolladores de sistemas de comunicaciones deben tomar en cuenta las siguientes disposiciones:

1. Ancho de banda disponible
2. Potencia permitida
3. Niveles de ruido inherentes al sistema

El espectro de RF puede ser compartido, sin embargo cada día hay más usuarios así como demanda para el incremento de servicios de comunicaciones, llegando en muchos casos a saturar la capacidad del espectro.

Es por esto que nuevas técnicas de modulación digital son desarrolladas en base a las técnicas de modulación digital existentes, de manera que el sistema celular soporte un mayor número de usuarios y nuevas aplicaciones, sin saturar el espectro.

Hay una relación fundamental en los sistemas de comunicación, equipo simple puede ser utilizado en transmisores y receptores pero con limitación de ancho de banda, mientras que con transmisores y receptores mas complejos se transmite y recibe la misma capacidad de información en menor ancho de banda, esta relación existe si la comunicación es sobre aire o alambre, análoga o digital.

Los tipos de modulación digital se pueden agrupar según la variable que se module, estas pueden ser: amplitud, frecuencia, fase o incluso combinaciones de estas. Entre estos tipos podemos mencionar:

- a) FSK (Modulación por desplazamiento de frecuencia)
- b) PSK (Modulación por desplazamiento de fase)
- c) QPSK (Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura)
- d) 8PSK (Modulación por desplazamiento de fase de ocho estados)
- e) GMSK (Modulación por desplazamiento gaussiano mínimo)

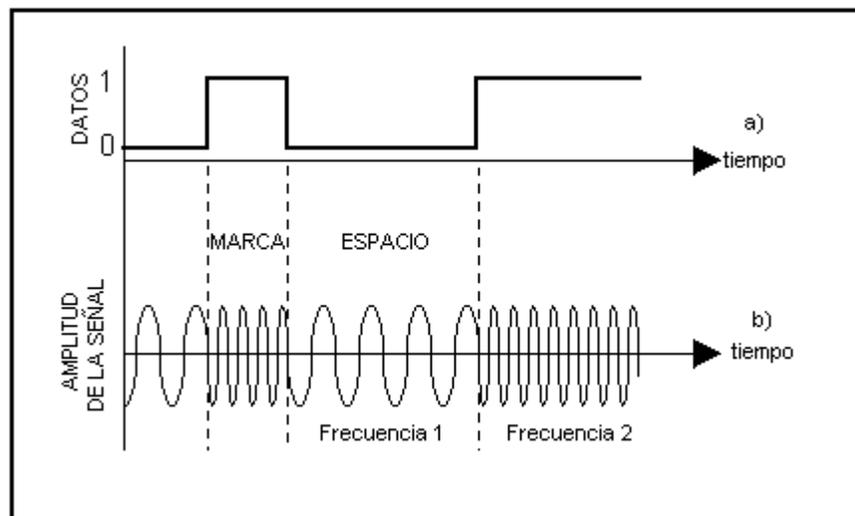
Los cuales serán analizados a continuación.

### 2.2.1 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

Esta es la más simple de las comunicaciones digitales y por lo tanto es de bajo rendimiento. Es similar a la modulación de frecuencia (FM) pero más sencilla, dado que la señal moduladora es un tren de pulsos binarios que varía entre dos valores de voltaje discretos, produciendo cambios de frecuencia de una portadora continua para una u otra de dos frecuencias.

Una frecuencia es denominada como la frecuencia de “marca” y la otra como la frecuencia de “espacio”. La marca y el espacio corresponden al uno y al cero binario respectivamente. Por convención, marca corresponde a la frecuencia de valor alto. La figura 10 muestra la relación entre los datos y la señal transmitida.

**Figura 10. a) Señal de datos binarios, b) Señal FSK producida por la combinación de frecuencias con respecto a la señal de entrada de datos binarios**



La mínima duración de una marca o espacio es llamada elemento de longitud. Los valores típicos para el elemento de longitud están normalmente entre 5 y 22 milisegundos. FSK puede ser transmitido de manera coherente en donde no ocurre variación de fase de la portadora para dígitos del mismo valor y no coherente donde si pueden ocurrir variaciones de fase de la portadora para dígitos del mismo valor.

Muchos esquemas de codificación diferentes son usados para transmitir datos con FSK. Ellos pueden ser clasificados dentro de dos grupos mayoritarios: síncronos y asíncronos.

Las transmisiones síncronas tienen transiciones marca a espacio y espacio a marca en sincronismo con un reloj de referencia mientras que las señales asíncronas no requieren un reloj de referencia pero en cambio cuentan con bits especiales para controlar el tiempo durante la decodificación.

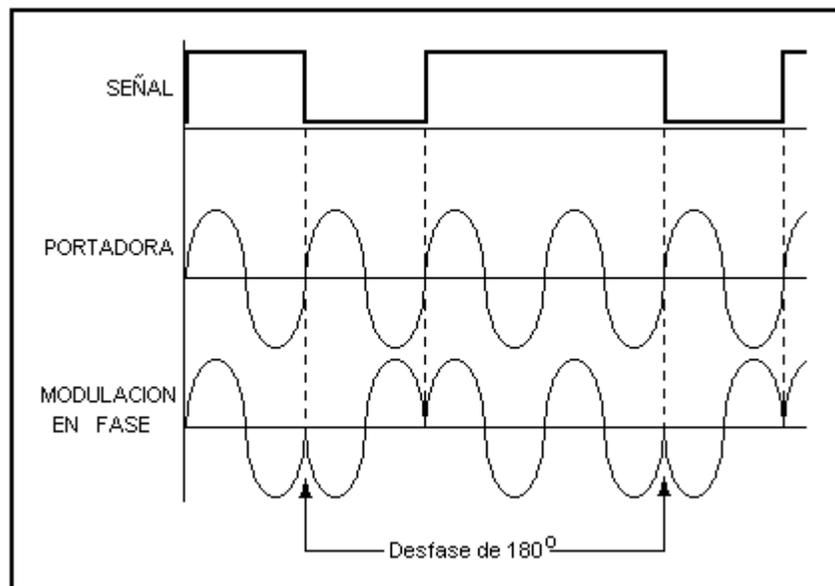
En la modulación digital, a la relación de cambio a la entrada del modulador se le llama *bit-rate* y tiene como unidad el bit por segundo (bps). A la relación de cambio a la salida del modulador se le llama *baud-rate*. En esencia el *baud-rate* es la velocidad de símbolos por segundo. En FSK el *bit rate = baud rate*.

### **2.2.2 Modulación por desplazamiento de fase (PSK)**

Es un método de comunicación digital en el cual la fase de la señal transmitida varia según la información.

Hay varios métodos que pueden ser usados para llevar a cabo PSK, el mas simple de ellos es conocido como “desplazamiento de fase binario” (BPSK) este método utiliza dos señales opuestas en fase ( 0 y 180 grados ). La señal varia en fase conforme los estados binarios van cambiando, por lo tanto si la fase de una señal cambio por 180 grados significa que el estado binario cambio de cero a uno o de uno a cero, como se puede observar en la figura 11.

**Figura 11. Modulación PSK**



Para BPSK, la razón de cambio de salida, es igual a la razón de cambio de entrada, y el ancho de banda de salida, más amplio, ocurre cuando los datos binarios de entrada son una secuencia alterativa 1/0.

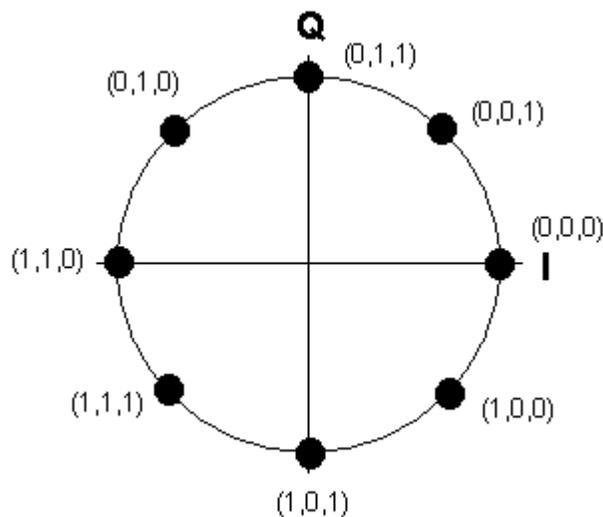
La modulación PSK, no es muy usada, pero de esta se han derivado varias formas mas complejas, las cuales son ampliamente usadas entre las cuales podemos mencionar: QPSK y 8PSK.

QPSK es otro método de comunicación digital, es una variación del PSK en donde también varía la fase de la información transmitida, con la diferencia de que son posibles cuatro fases de salida en lugar de dos, para una sola frecuencia portadora.

Debido a que hay cuatro fases de salida diferentes, tiene que haber cuatro condiciones de entrada diferentes para lo que se necesita mas de un bit.

El método de modulación 8PSK se muestra en la figura 12 sobre un plano I/Q, en donde I representa los componentes reales y Q los componentes imaginarios.

**Figura 12. Modulación 8PSK**



Como se puede observar la transferencia de datos lleva 3 bits, produciendo por cada combinación de estos un desfase de 45 grados como se puede ver en la tabla II, en donde se muestran los cambios de fase para cada variación de entrada, comúnmente utilizados.

**Tabla II. Cambios de fase para cada código de entrada 8PSK**

Código de tres bits	Cambio de Fase
000	0°
001	45°
011	90°
010	135°
110	180°
111	225°
101	270°
100	315°

Fuente: Alberto Prieto y otros, **Introducción a la informática**, Tabla 13.4.

Este tipo de modulación ofrece arriba de 48 Kbps por canal comparado con los 14 Kbps por canal de GPRS y 9.6 Kbps por canal de GSM. También permite el uso simultaneo de múltiples canales, logrando de esta manera obtener rangos de arriba de 384 Kbps, usando los ocho canales de GSM. Al igual que QPSK esta técnica de modulación no es más que una variante de PSK únicamente que un poco más compleja, la cual actualmente se utiliza en la modulación de datos EDGE.

### **2.2.3 Modulación por desplazamiento gaussiano mínimo (GMSK)**

Este método de modulación es el usado en GSM y es un derivado de MSK o modulación por desplazamiento mínimo.

MSK es un tipo especial de modulación por desplazamiento de frecuencia y fase continua (CPFSK) el cual tiene un índice de modulación de 0.5 que corresponde al espacio de frecuencia mínimo que permiten dos señales FSK para ser ortogonales.

En FSK se utilizan dos diferentes frecuencias para transmitir un mensaje en un intervalo de tiempo. Si se escogen las frecuencias de manera que cada intervalo de tiempo tenga un número entero de periodos, se puede garantizar la continuidad de la fase de la señal. Las señales de fase continua en general tienen mejores propiedades espectrales que las que no tienen fase continua. Por lo tanto el FSK con continuidad de fase o CPFSK con un índice de modulación de 0.5 es llamado MSK.

GMSK es un derivado de la modulación MSK cuya diferencia principal es la utilización de un filtro gaussiano que reduce el ancho de banda de un tren de pulsos de banda base antes de la modulación, a este filtro se le conoce como filtro de pre-modulación, el cual suaviza la trayectoria de la fase de la señal MSK limitando de esta manera las variaciones de frecuencia instantáneas.

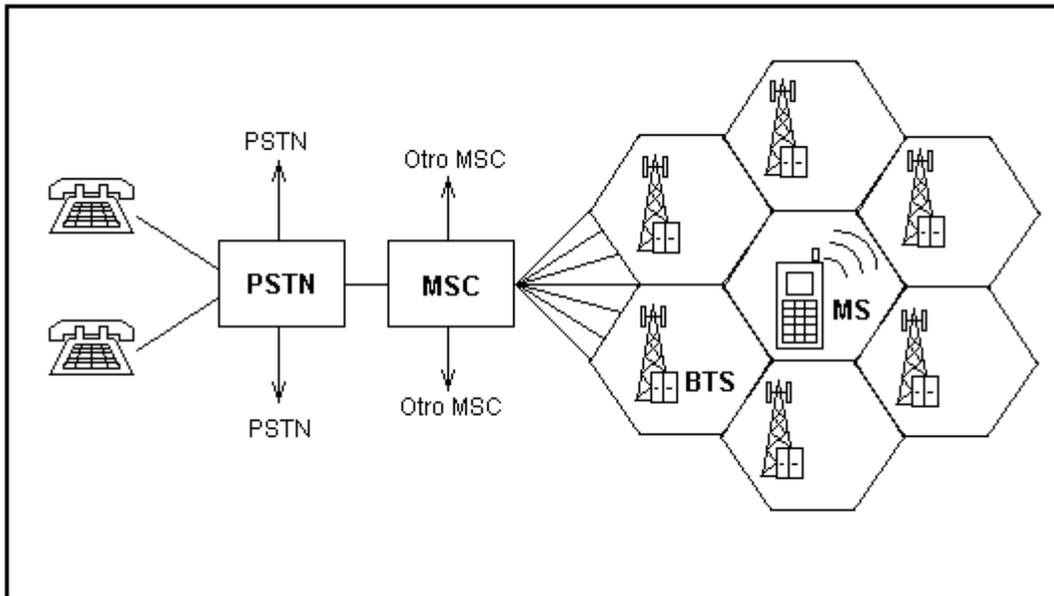
GMSK se puede detectar coherentemente como una señal MSK, o no coherentemente como una señal simple FSK.

### **2.3 Sistema celular**

El concepto básico de los sistemas celulares es muy sencillo: cada área se divide en partes mas pequeñas conocidas como células, las cuales tienen forma hexagonal y al unir las forman un patrón de panel, en donde se colocan estaciones base de pequeña o mediana potencia que se encargan de dar el servicio de telefonía celular y que dependen de un sistema de conmutación, para la interconexión entre estaciones base y la red publica. Se eligió la forma de hexágono porque proporciona la transmisión más efectiva aproximada a un patrón circular, mientras que elimina los espacios presentes entre los círculos adyacentes. Una célula se define por su tamaño físico y lo más importante, por el tamaño de su población y patrones de tráfico. El número de células por sistema lo define el proveedor y lo establece de acuerdo a los patrones de tráfico anticipados. En cada célula se utiliza un subconjunto de frecuencias dentro de la banda total que el operador tiene asignada, de manera que en una célula solo se ofrece una parte de todos los radiocanales disponibles, por lo que para dar cobertura a todo un territorio es necesario utilizar muchas células.

Los elementos principales que conforman una red celular se pueden observar en la figura 13.

**Figura 13. Elementos de la red celular**



La Estación Móvil (MS) es el terminal utilizado por el suscriptor, es decir su teléfono celular. La estación móvil se compone de las siguientes partes: unidad de control, fuente de alimentación, transmisor/receptor, unidad lógica y antena. La unidad de control se encarga de albergar todas las interfaces de usuario, incluyendo un auricular. El transceptor de radio utiliza un sintetizador de frecuencias para sintonizar cualquier canal del sistema celular asignado. La unidad lógica interrumpe las acciones del suscriptor y los comandos del sistema y maneja al transceptor y las unidades de control.

Los teléfonos celulares se cargan con una tarjeta inteligente conocida como *SIM Card* o Módulo de Identidad del Suscriptor (*Subscriber Identity Module*).

La estación móvil se caracteriza por ser portátil, transportable, movable de un lugar a otro además realiza una actualización periódica de la señal recibida de la estación base y envía información para registrarse en la estación base.

El Sistema de Estación Base (BSS) es la parte central de una célula, la cual se encarga de la comunicación con las estaciones móviles en un área determinada. Esta formado por el Controlador de Estación Base (BSC) que se encarga del control de la gestión de canales en el enlace MSC-BSC, la realización de los *handovers* y el control de potencia, y por una o varias Estaciones Base (BTS) que realizan funciones como temporización, codificación, detección de accesos de las estaciones móviles y la medición de la calidad del servicio.

Las unidades móviles transmiten directamente a la estación base y la estación base emite esas transmisiones a una potencia mayor. La estación base puede mejorar la calidad de la transmisión, pero no pueden incrementar la capacidad de canales, dentro del ancho de banda fijo de la red.

El BSS posee una serie de características opcionales que el operador puede configurar entre ellas esta: el salto de frecuencia conocido también como "*hopping*", el control de la potencia emitida y la transmisión discontinua.

Por otra parte se tiene la Central de Conmutación Móvil (MSC) cuya función es controlar el procesamiento, establecimiento y realización de llamadas, lo cual incluye señalización, supervisión, conmutación y distribución de los canales de RF, para las estaciones móviles localizadas en un área geográfica designada como el área del MSC. El MSC, también proporciona una administración centralizada y el mantenimiento crítico para toda la red e interfaces con la Red de Telefonía Pública Conmutada. (PTSN).

La diferencia principal entre un MSC y una central de conmutación fija es que la MSC tiene que llevar en consideración la movilidad de los suscriptores (locales o visitantes) incluso el *handover* de la comunicación cuando estos suscriptores se mueven de una célula a otra.

Conforme una estación móvil se aleja del transceptor en el centro de una célula, la intensidad de la señal recibida comienza a disminuir. Cuando la intensidad de la señal disminuye, por debajo de un nivel umbral predeterminado, el centro de conmutación electrónico localiza la célula en donde hay mejores niveles de señal y transfiere a la unidad móvil a esta nueva célula. La transferencia incluye convertir la llamada a una frecuencia disponible dentro del subconjunto de canales distribuidos en la nueva célula. Esta transferencia es completamente transparente al usuario (el cliente no sabe que su servicio ha sido conmutado). La transferencia toma aproximadamente 0.2 segundos, lo cual es imperceptible a los usuarios de teléfono de voz. Sin embargo, un retardo de ese orden puede ser destructivo en una transferencia de datos.

### **2.3.1 Área de cobertura**

La cobertura del sistema se refiere a las zonas geográficas en las que se va a prestar el servicio de telefonía celular. La tecnología más apropiada es aquella que permita una máxima cobertura con un mínimo de estaciones base, manteniendo los parámetros de calidad exigidos por las necesidades de los usuarios.

La tendencia en cuanto a cobertura de la red es permitir al usuario acceso a los servicios en cualquier lugar, ya sea local, regional, nacional e incluso mundial, lo que exige acuerdos de interconexión entre diferentes operadoras para extender el servicio a otras áreas de influencia diferentes a las áreas donde cada red ha sido diseñada.

El área que una célula puede cubrir depende de dos tipos de parámetros: los definidos por el usuario y los no definidos por el usuario. Entre los definidos por el usuario interviene la potencia de transmisión, la altura, la ganancia, la ubicación y la directividad de las antenas. Entre los no definidos por el usuario están las montañas, los túneles, la vegetación, los edificios y el ambiente de propagación.

Ambos parámetros influyen sobre la cobertura de RF, sin embargo los no definidos por el usuario son difíciles de predecir ya que varían de acuerdo al lugar, siendo estos en la práctica los principales causantes de irregularidades en la cobertura. Por esta razón se han desarrollado varios modelos para predecir la propagación de RF tomando en cuenta los dos tipos de parámetros, entre los cuales se encuentra, el Okumura-Hata para ambientes urbanos, suburbanos y espacio abierto, así como también el Walfish-Ikegami que se utiliza para ambientes urbanos y urbanos densos.

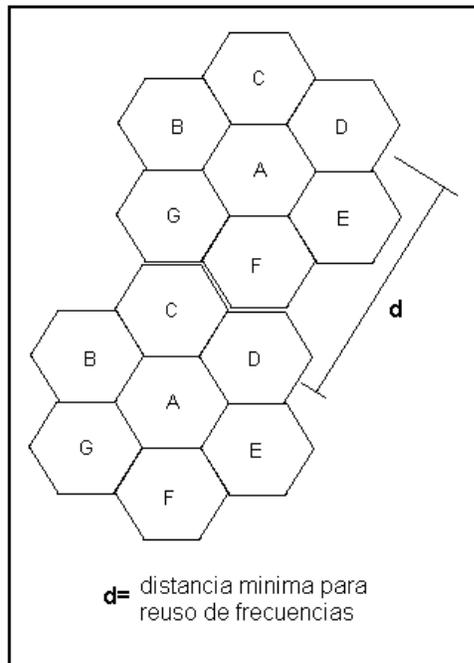
La mayoría de las herramientas de predicción para computadora están basadas en estos dos modelos. Estos modelos de predicción tienen fuertes bases teóricas, pero también se basan en una gran cantidad de datos experimentales y análisis estadísticos, que permiten calcular el nivel de potencia recibida en un medio de propagación dado.

### 2.3.2 Reutilización de frecuencia

Para dar cobertura a todo un territorio es necesario utilizar muchas células, dependiendo la extensión de este, por lo que es necesaria la reutilización de los radiocanales, ya que estos son limitados. El concepto de esta reutilización se basa en que los canales de voz de una celda puedan ser utilizados por otra celda que se encuentre ubicada a una distancia tal que no cause ningún tipo de interferencia. Así se define el reparto de los radiocanales disponibles entre varias células vecinas, lo que se conoce normalmente como racimo o *cluster*. Esta técnica permite hacer un eficiente uso del espectro disponible así como atender a más usuarios en un número determinado de canales de radio.

Los modelos o configuraciones que permiten la reutilización de frecuencia para obtener una cobertura ininterrumpida en un área determinada, son configuraciones con forma de panal de miel, de 4, 7, 12 ó 21 células, siendo la de 7 la más común como se puede ver en la figura 14.

**Figura 14. Clúster de 7 células**



La mínima distancia que permite reutilizar la misma frecuencia depende de muchos factores, tales como el número de celdas o células co-canales en la vecindad de la celda central, las características geográficas del terreno circundante, la altura de la antena y la potencia transmitida en cada celda.

La distancia mínima de reuso de frecuencia puede ser determinada mediante la siguiente fórmula

$$D = \sqrt{3 \cdot K \cdot R}$$

en donde K es el número de celdas por *cluster* y R el radio de cobertura.

### 2.3.3 Tamaños de células

Los tamaños de las células varían según la capacidad y cobertura requeridas. Existen diversos tamaños, que pueden cubrir desde áreas mayores a los 5 Km. hasta áreas menores de 50 m. Los factores al momento de definir el tamaño de una célula son: el tamaño físico, el tamaño de la población y los patrones de tráfico de la zona urbana.

Los tamaños de las células se dividen en:

- a) *Megacelulas*, estas son las que tienen mejor área de cobertura, con un radio mayor a los 35 Km. Estas células se han establecido para ambientes de muy poco tráfico o de tráfico ocasional. Las podemos encontrar en ambientes rurales o en cobertura de carreteras.
  
- b) *Macrocelulas*, cuyo rango de cobertura se encuentra entre 1 y 35 Km, por lo que son utilizadas principalmente para el manejo de tráfico poco denso originado por usuarios que se encuentran en movimiento a gran velocidad, reduciendo de esta forma la cantidad de *handover* y aumentando así la calidad del servicio al reducir la probabilidad de caída de llamadas.

Estas células proveen servicios en ambientes exteriores y vehiculares. Sin embargo para ambientes urbanos intensos tanto las megacelulas como las macrocelulas no son suficientes.

- c) *Microcelulas*, estas son establecidas como la siguiente jerarquía, con un área de cobertura entre 100 a 1000 metros. Pueden soportar ambientes urbanos intensos y hace posible la utilización de potencias de transmisión muy bajas. Desde el punto de vista del operador, esto se traduce en ventajas, como mejor cobertura, bajos costos de red por usuario y mayor eficiencia en la operación del sistema. Para poder proveer estos tamaños de células, es necesario un estudio pobabilístico y estadístico exhaustivo, así como una buena planeación del sistema celular a fin de logra una buena reutilización de las frecuencias.
  
- d) *Picocelulas*, estas están diseñadas para ambientes urbanos intensos e interiores, tales como centros de negocios o centros comerciales, donde los usuarios tienen un comportamiento de baja movilidad y se encuentra en un ambiente cerrado. Su cobertura es de menos de 100 mts.

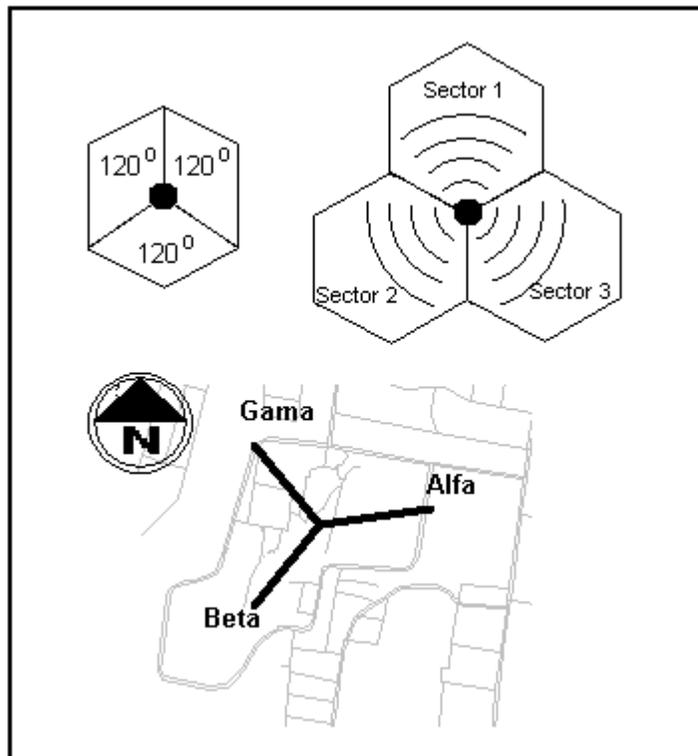
#### **2.3.4 Sectorización de células**

La sectorización es otra estrategia para mejorar la reutilización de frecuencias en ambientes con tráfico muy denso. Consiste en dividir la célula en sectores. Cada sector de la célula recibe y transmite las señales por medio de una antena direccional, la cual cubre cierto rango de grados, según la sectorización.

En Guatemala, la mayor parte de las células están divididas en tres sectores, es decir que cada antena cubre 120°. Cada sector recibe un nombre, el sector que tiene la dirección más próxima al norte, en dirección de las manecillas del reloj, recibe el nombre de alfa mientras los otros dos son llamados beta y gama.

Para que la reutilización de frecuencias pueda llevarse a cabo se asigna un grupo de canales de voz y un canal de control por sector. En la figura 15 podemos ver un ejemplo de sectorización en una célula con tres sectores.

**Figura 15. Célula sectorizada 120°**



### 2.3.5 Handover

Cuando se deteriora el nivel de la transmisión durante una llamada en progreso, se realiza un cambio automático de estación base. La conmutación de una llamada en progreso de una estación base a otra se conoce como *handover*.

Básicamente el *handover* es requerido en dos situaciones en las cuales la estación base recibe señales débiles desde la unidad móvil: una es cuando el móvil llega al límite del área de cobertura de la celda en donde el nivel de la señal cae por debajo de un límite predeterminado por el operador y el otro es cuando el móvil entra en alguno de los pozos de intensidad de señal dentro de la celda.

El *handover* es esencial, ya que de no existir en las situaciones mencionadas anteriormente, la comunicación se perdería, por lo que el usuario debería restablecerla manualmente volviendo a marcar.

Para implementar este mecanismo, durante una llamada en progreso el equipo del canal de voz en la estación base esta supervisando continuamente la calidad de la señal, tanto su intensidad como relación señal/interferencia y en base a estas mediciones se pueden diferenciar dos tipos de *handover*: por intensidad de señal y por relación señal interferencia.

El *handover*, se puede dar a diferentes niveles, desde un sector a otro de una célula sectorizada, entre células de un mismo *cluster*, entre células de distintos *clusters* o incluso entre sistemas diferentes.

## 2.4 Capacidad del sistema e interferencias

La capacidad de canal, es la capacidad del sistema para ofrecer canales libres a los usuarios de la telefonía móvil.

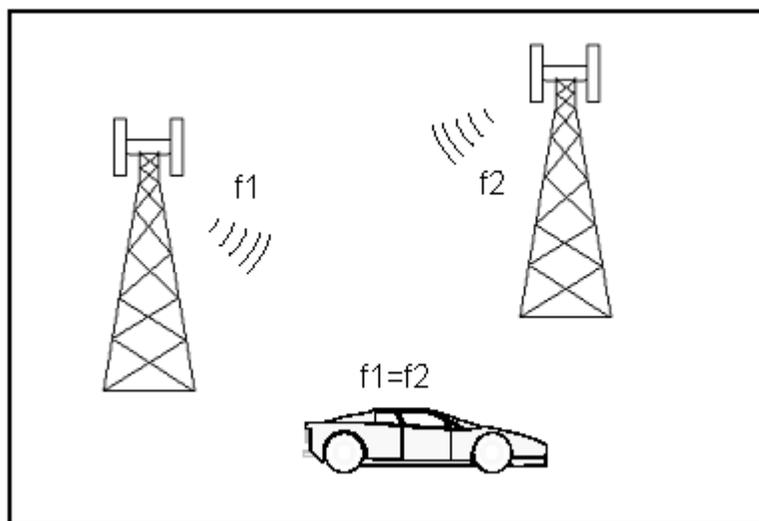
La capacidad de canal esta determinada por la ingeniería de tráfico. El objetivo de la ingeniería de tráfico es de proveer al sistema con canales *full-duplex* en un área de servicio dada, tomando en cuenta el número de abonados y el grado de servicio, QoS.

El QoS es la probabilidad de bloqueo de llamada y esta en términos de la cantidad de llamadas que serán bloqueadas durante la hora pico, debido a la falta de canales. Otro parámetro utilizado es el ACHT (*Average Call Holding Time*) que es el tiempo promedio que se espera que dure la llamada de cada usuario activo durante la hora pico, este varia dependiendo del tipo de usuario ya sean ejecutivos, negociantes, personal, etc.

### 2.4.1 Interferencia co-canal

Si una señal a determinada frecuencia es interferida por otra señal de la misma frecuencia con potencia similar o mayor, es decir no despreciable como ruido, la correcta demodulación de la señal original se hace imposible, esto es a lo que se le conoce como interferencia co-canal. El resultado de esta interferencia es una reducción considerable de la calidad de la señal, llegando a cortar la llamada.

**Figura 16. Representación de la interferencia co-canal.**



#### **2.4.2 Interferencia de canal adyacente.**

Cada célula tiene asignado un grupo de canales, los cuales generalmente están separados 30 KHz o 200 KHz dependiendo del sistema utilizado.

Cuando se transmite en canales adyacentes las componentes más altas y más bajas de la información, se mezclan con las componentes de los canales adyacentes, esto provoca interferencia en el canal. Estas interferencias afectan en la recepción, presentándose como ruido en el canal de transmisión tanto en el *uplink* como en el *downlink*, afectando a los datos transmitidos. Para reducir esta interferencia se controla la potencia de los canales, y se trata de que en la reutilización de frecuencias el canal principal de preferencia no tenga canales adyacentes cerca.

## **2.5 Canales en redes celulares**

Los canales son los medios por los cuales se transmite la información entre la estación base y la estación móvil, estos controlan la forma en que la información de control y señalización es enviada para establecer una conversación estable. Existen diferentes maneras de clasificar los canales, una de ellas es en: canales físicos y canales lógicos.

### **2.5.1 Canales físicos**

Son el soporte físico para el envío de la información a través de la interfaz aérea. Vienen definidos por los parámetros de transmisión, como lo son la estructura de la trama, la frecuencia de transmisión, el código utilizado, la potencia de transmisión, etc. Es importante establecer las características que los identifican, ya que dependen de la técnica de modulación empleada y el sistema utilizado para la transmisión, por lo que se trataran más a fondo en los siguientes capítulos.

### **2.5.2 Canales lógicos**

Estos canales son usados para enlazar la capa física con la capa de datos dentro de las capas de la red GSM. Los canales lógicos transmiten eficientemente los datos del usuario, a parte de proporcionar el control de la red en cada estación base.

Los canales lógicos se dividen en dos categorías: los canales de tráfico y los canales de control.

### **2.5.2.1 Canales de control**

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*. Estos canales se dividen en cuatro clases: Canales de Control de Transmisión (BCCH), Canales de Control Común (CCCH), Canales de Control Dedicado (DCCH) y Canales de Control Asociados (ACCH).

*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 (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.

*CCCH*. Este canal está formado por tres tipos diferentes de canales: el canal de búsqueda (PCH) utilizado en el *downlink*, el canal de acceso aleatorio (RACH) utilizado en el *uplink*, y el canal de acceso concedido (AGCH) también utilizado en el *downlink*. Este es el más común dentro de los canales de control y se usa para buscar a los usuarios, asignar canales de señalización y recibir contestaciones de los móviles para el servicio.

*SDCCH*. Los Canales de Control Dedicados (SDCCH) se usan para proporcionar servicios de señalización requeridos por los usuarios.

*ACCH*. 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.

### **2.5.2.2 Canales de tráfico**

Conocido también como Canal de Voz, es el encargado de conducir el tráfico (voz y datos) entre la estación base y el móvil cuando se está en un proceso de llamada. También es usado para mandar mensajes de señalización de la BTS hacia el móvil, manejar el proceso de *handover* y controlar la potencia de transmisión de la estación móvil. Los datos provenientes de la BTS se llaman "datos en adelanto" y los provenientes de la estación móvil se denominan "datos reversos", ambos son enviados a 10 Kbps regularmente.

Los canales de tráfico pueden ser de velocidad completa ("*full-rate*") o de velocidad media ("*half-rate*"). Cuando transmitimos a velocidad completa, los datos están contenidos en un intervalo de tiempo por trama. Cuando transmitimos a velocidad media, los datos de usuario se transportan en el mismo intervalo de tiempo, pero se envían en tramas alternativas.

### **3. EL SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICACIONES MÓVILES (GSM)**

#### **3.1 Definición del sistema global para comunicaciones móviles (GSM)**

En 1982, un grupo de países europeos creó el “*Group Special Mobile*” (GSM) con la finalidad de desarrollar una tecnología celular que especificara un único sistema de radiocomunicaciones para Europa, trabajando a 900 MHz, que dispusiera de servicios avanzados no disponibles en las redes analógicas. Este sistema debía de cumplir con los siguientes criterios:

- a) Buena calidad de voz
- b) Bajo costo en terminales y servicios
- c) Soporte de enlaces internacionales
- d) Soporte para un rango nuevo de servicios y facilidades
- e) Eficiencia espectral
- f) Compatibilidad con ISDN

En 1989, El Instituto Europeo de Normas para Telecomunicaciones (ETSI) se hizo cargo de este proyecto y la primera fase de especificaciones para GSM fue publicada en 1990. La primera red GSM fue lanzada en 1991 y para 1993 ya había 36 redes GSM en 22 países.

Al adoptarse la tecnología en varios países no europeos, se hizo evidente que GSM sería una tecnología global y no europea, así fue como el significado de las siglas GSM cambio a “Sistema Global Para Comunicaciones Móviles”.

GSM es una tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) que presta servicios de voz de alta calidad, así como servicios de datos conmutados por circuitos, utilizando canales de 200 KHz divididos en intervalos de tiempo de 25 KHz, en las bandas de 450, 850, 900, 1800 y 1900 MHz. GSM es una tecnología digital o PCS que se puede considerar como la base genérica para denominar a una familia de tecnologías que incluye a GPRS, EDGE y UMTS, ofreciendo una evolución fluida y costo-efectiva a la tercera generación (3G).

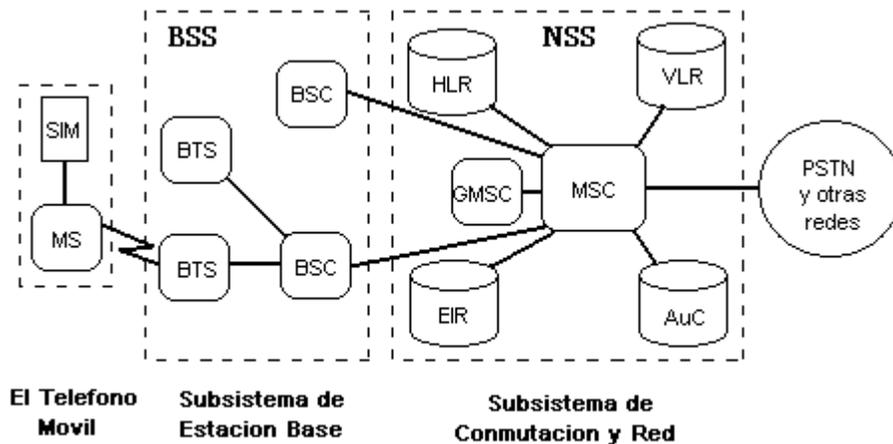
GSM permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio ya que utiliza la multiplexación por división de tiempo (TDM). Durante el proceso de comunicación, a cada llamada se le asigna una ranura de tiempo específica, lo que permite que varias llamadas compartan un canal al mismo tiempo sin interferirse unas con otras, garantizando de esta manera el uso efectivo del espectro, superando en todos los aspectos al AMPS utilizado en la primera generación (1G). GSM también utiliza una técnica llamada "*frequency hopping*" (salto de frecuencias) que minimiza la interferencia de las fuentes externas y hace que las escuchas no autorizadas sean virtualmente imposibles.

GSM implementa el uso de las tarjetas SIM (*Subscriber Identity Module*). Estas son pequeñas tarjetas inteligentes removibles que identifican al usuario en la red celular y puede también guardar información. Las tarjetas SIM permiten a los usuarios cambiar de teléfono simplemente moviendo su tarjeta SIM de un teléfono a otro, sin perder sus datos de usuario.

### 3.2 Arquitectura de la red del sistema global para comunicaciones móviles (GSM)

Para su estudio la red GSM se puede dividir en tres partes principales que son: la estación móvil, que es portada por el suscriptor, el sub-sistema de estación base, el cual controla los enlaces de radio con el móvil y el subsistema de red, que realiza la conmutación de llamadas entre usuarios móviles y entre usuarios móviles y fijos de la red. Estas tres partes principales a su vez se componen de varias partes funcionales las cuales se relacionan entre si como se ve en la figura 17, la cual muestra una red GSM genérica.

**Figura 17. Estructura de la red GSM**



Fuente: John Scourias, **GSM history**, [www.privateline.com](http://www.privateline.com)

En la figura anterior no se muestra el Centro de Mantenimiento y Operaciones (CMO) el cual supervisa la correcta operación y configuración de la red.

### 3.2.1 La estación móvil (MS) *Mobil Station*

Es la parte de la red celular a la cual el usuario tiene acceso, es decir, su teléfono celular. La diferencia entre los distintos tipos de estaciones móviles es la potencia que manejan, la cual puede variar de 20 W (para móviles instalados en vehículos) a menos de 2 W (para móviles de bolsillo). Cada estación móvil esta identificada por un código único de seguridad el cual el fabricante asigna a cada unidad llamado IMEI (*International Mobile Equipment Identification*). La estación móvil también necesita de una tarjeta la cual se inserta en la parte posterior de esta, conocida como tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*) la cual es una tarjeta inteligente que se puede intercambiar entre cualquier móvil que sea GSM de una misma compañía. Sin esta tarjeta la estación móvil no puede acceder a la red ya que esta contiene el número telefónico del usuario así como todos sus datos para poder establecer la conexión. La unidad móvil esta en la capacidad de almacenar números telefónicos y realizar operaciones simples en los modelos mas sencillos, aunque los modelos modernos ya cuentan con memoria independiente a la de la tarjeta SIM para almacenar datos ajenos a los datos originales del teléfono. En la figura 18 se puede ver la etiqueta que contiene el número de IMEI de una estación móvil.

**Figura 18. Identificación del IMEI de una estación móvil**



Otro dato importante almacenado en la tarjeta SIM es el número telefónico, el cual es utilizado para hacer o recibir llamadas en la estación móvil, conocido como MSISDN (*Mobile Station Integrated Services Directory Number*).

La tarjeta SIM puede tener dos MSISDN, uno primario que es usado para hacer y recibir llamadas de voz y el servicio de mensajería, y otro secundario asociado con las llamadas para fax y datos.

### **3.2.2 Subsistema de estación base (BSS) *Base Station Subsystem***

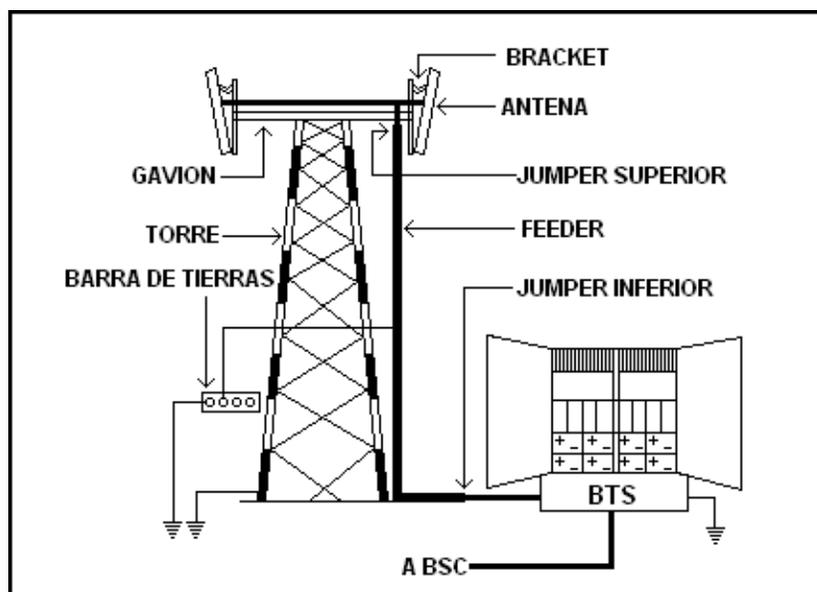
El subsistema de estación base o BSS por sus siglas en inglés está dividido en dos partes que son: la estación transreceptora base o estación base (BTS) y el controlador de las estaciones base (BSC). Este subsistema provee la interfaz entre la estación móvil y los sistemas de conmutación de la red celular.

#### **3.2.2.1 La estación base (BTS) *Base Transceiver Station***

La estación base es la parte central de cada célula y está formada principalmente por los radios transreceptores que se encuentran instalados dentro de un tipo de armario hermético el cual cuenta con aire acondicionado para mantener una temperatura adecuada para el buen funcionamiento de los mismos y con baterías de respaldo para asegurar la continuidad del servicio celular.

A este armario es a lo que se le conoce generalmente como BTS, aunque la estación base también cuenta con otras partes como se puede observar en la figura 19 en donde se muestran las conexiones físicas de una estación base.

**Figura 19. Partes de una estación base**



Las antenas para GSM son generalmente direccionales y difieren en potencia de transmisión y recepción así como en ancho del haz, forma y tamaño, estas están sujetadas al gavión por medio de un brazo ajustable llamado "*bracket*" el cual sirve para modificar la inclinación y la dirección de la antena, aunque en las antenas modernas se puede variar la inclinación eléctricamente o a distancia desde el OMC. Las antenas están conectadas a la BTS por medio de un cable el cual recibe el nombre de "*feeder*" que se encarga de conducir la señal que se transmite y recibe de la estación móvil.

Cada antena cuenta con su cable de tierra el cual se conecta a una barra común, generalmente de cobre, la cual va sujeta directamente a la torre para proteger a las antenas de cualquier rayo o descarga eléctrica.

Los *jumpers* son uniones entre distintos calibres de cables, los cuales se arman con conectores especiales que sirven de acople y luego son forrados con vulco y cinta de aislar a presión para evitar que les entre agua, ya que esta podría provocar efectos no deseados en la potencia de transmisión.

Las principales funciones de la BTS son:

- 1) Codificación/decodificación de los canales.
- 2) Diversidad en recepción.
- 3) Búsqueda de las estaciones móviles.
- 4) Recepción de las peticiones de canal desde las estaciones móviles.

### **3.2.2.2 Controlador de estaciones base (BSC) *Base Station Controller***

El BSC se considera el paso intermedio entre los transreceptores de la estación base y el Centro de Conmutación de Servicios Móviles (MSC). Típicamente un BSC tiene de 10 a 100 BTSs bajo su control y se encarga de manejar los recursos de radio entre las mismas. Los diseñadores del GSM idearon esto como una solución a las redes celulares de alta cantidad de usuarios. Si cada estación base se comunicara directamente con el MSC, el tráfico llegaría a provocar un congestionamiento en la red celular.

Para asegurar una comunicación de calidad debe haber un manejo de las vías de tráfico, por esto la infraestructura de la red inalámbrica usa los controladores de estaciones base (BSCs) como una manera de segmentar la red y controlar la congestión.

La relación entre los circuitos de un MSC con un BSC son los responsables del enrutamiento de una gran cantidad de llamadas simultáneamente.

El BSC maneja la asignación de los canales de radio, recibe mediciones de nivel y calidad desde los teléfonos móviles, controla los *handovers* entre BTS y BTS (excepto en el caso de un inter-BSC *handover*, en cuyo caso el control es en parte responsabilidad del MSC).

Es decir, que las redes están a menudo estructuradas para tener muchas BSCs distribuidas dentro de regiones cercanas a sus BTSs las cuales están entonces conectadas a un MSC centralizado.

El BSC es indudablemente el elemento más robusto en el BSS porque no es solamente considerado un controlador de BTSs, sino también un centro de conmutación completo y un nodo con conexiones al MSC y al SGSN (cuando se usa GPRS). Este también provee todos los datos requeridos al Subsistema de Soporte y Operación (OSS) y a las unidades que se encargan de medir el rendimiento de la red. Las bases de datos para todos los sitios, incluyendo la información tal como la frecuencia portadora, las listas de las frecuencias de "*hopping*", los niveles de reducción de potencia, los niveles recibidos para el cálculo del borde de la célula, son guardados en el BSC.

En resumen las principales funciones del BSC son:

1. Gestión de canales de radio
2. Supervisión de la estación base
3. Traspaso entre canales de la BSC
4. Localización de las estaciones móviles
5. Adaptador de velocidad
6. Gestión de transmisiones hacia la estación base
7. Corrección de errores
8. *Handover* intracelular en el caso de ser necesario o *handover* intercelular que puede ser provocado por causa de cobertura o problemas de mantenimiento o interferencias.
9. Gestión del salto de frecuencia o "*hopping*".

### **3.2.3 Subsistema de conmutación y red (NSS) *Network and Switching Subsystem***

Esta parte de la red GSM es el centro de procesamiento que lleva a cabo las principales funciones de conmutación y administra las comunicaciones entre teléfonos móviles y la red telefónica pública (PSTN, *Public Switched Telephone Network*). Esta parte fue desarrollada por los operadores de telefonía móvil para permitir a las estaciones móviles o teléfonos celulares comunicarse con cualquier otro teléfono en la amplia red de telecomunicaciones. Su arquitectura interna es muy parecida a la de una central telefónica, pero hay funciones adicionales las cuales son necesarias ya que los teléfonos no están fijos en un solo lugar. Cada una de estas funciones maneja diferentes aspectos de la movilidad y serán descritos mas adelante.

El NSS es como el núcleo de la red GSM, es usado para los servicios tradicionales tales como llamadas de voz y servicios de mensajería, aunque también hay una capa en su arquitectura que provee servicios de datos en paquetes conmutados conocida como red GPRS, la cual permite a los teléfonos móviles tener acceso a servicios como WAP, MMS y acceso a internet.

La mayoría de los teléfonos móviles manufacturados hoy en día tienen la capacidad de manejar estos servicios basados en paquetes, por lo que los operadores de las redes celulares han agregado GPRS a la red GSM estándar.

Las partes fundamentales en que se divide el NSS son: el Centro de Conmutación de Servicios Móviles (MSC), la Puerta de Enlace del Centro de Conmutación de Servicios Móviles (GMSC), el Registro de Posición Base (HLR), el Registro de Posición Visitante (VLR), el Centro de Autenticación (AuC) y el Registro de Identidad de Equipo (EIR).

### **3.2.3.1 Centro de conmutación de servicios móviles (MSC) *Mobile Services Switching Center***

Es la parte central del NSS, la cual se encarga de realizar las funciones de conmutación del sistema. Este controla las llamadas que van y vienen de otros sistemas telefónicos y de datos. El MSC es una central telefónica sofisticada la cual realiza llamadas por medio de circuitos conmutados, lleva el control de la movilidad, y de los servicios GSM para el *roaming* de los teléfonos móviles dentro del área que este sirve. Esto significa servicios de voz, datos y de fax, así como también SMS y desvío de llamadas.

En el sistema de telefonía móvil GSM, a diferencia de los servicios análogos utilizados inicialmente, la información de datos y fax es codificada digitalmente y enviada directamente al MSC el cual es capaz de reconstruir la señal codificada en una señal “análoga”.

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.

Las principales funciones del MSC son:

1. Tener control de la ubicación de los móviles.
2. Conmutar llamadas.
3. Administrar las funciones de seguridad.
4. Controlar los *handovers* entre BSCs.
5. Administrar los recursos de la red.
6. Manejar las bases de datos de la red.
7. Recopilar los datos de facturación de llamadas y enviar la información al sistema de cobro.
8. Recolectar las estadísticas de tráfico para monitorear el desempeño de la red.
9. Realizar los procedimientos necesarios para la conexión con otras redes.
10. Controlar el establecimiento, enrutamiento y terminación de las llamadas.

### **3.2.3.2 Puerta de enlace del centro de conmutación de servicios móviles (GMSC) *Gateway Mobile Services Switching Center***

En nuestro medio se conoce como “*gateway*” a un dispositivo traductor, ya sea en software o hardware, que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. La misión del GMSC es esta misma, servir de mediador entre las redes de telefonía fijas (PSTN) y la red GSM.

Esta parte del NSS tiene la responsabilidad de encaminar las llamadas realizadas por el usuario al MSC correcto y es el punto hacia el cual son encaminadas las terminaciones de llamada cuando no se tiene conocimiento de la ubicación de la estación móvil.

El GMSC es uno de los diferentes nombres que recibe el MSC según su contexto, lo cual refleja su complejo papel en la arquitectura de la red y aunque se refiera al mismo MSC, hace cosas diferentes en diferente tiempo.

### **3.2.3.3 Registro de posición base (HLR) *Home Location Register***

Como una máquina física, un HLR es típicamente una computadora independiente, sin capacidades de conmutación, que se encarga de guardar la información de los usuarios que se encuentran conectados a un determinado MSC, además este registro también guarda la posición actual del suscriptor y los servicios a los que tiene acceso. El HLR funciona en unión con el VLR.

El HLR es la base de datos central que contiene los detalles de cada usuario de telefonía móvil que esta autorizado para usar la red GSM, este guarda la información de cada tarjeta SIM emitida por el operador de telefonía móvil. Cada SIM tiene un identificador único el cual es una de las claves principales para los archivos del HLR.

Otros datos guardados en el HLR de los archivos de la tarjeta SIM son:

- a) Los servicios GSM que el usuario ha solicitado o recibido
- b) La configuración de GPRS para permitir al usuario acceder a los servicios de paquetes
- c) Configuración de desvío de llamadas, aplicable para cada MSISDN asociado.
- d) La Ubicación actual del usuario

El HLR puede ser administrado en bases de datos separadas cuando los datos guardados sobrepasan la capacidad de este. Los datos del HLR son guardados durante el tiempo que el usuario permanezca suscrito al operador de telefonía móvil.

Si el HLR falla, entonces la red móvil esta efectivamente deshabilitada ya que el HLR es el encargado de llevar el control de la actualización de la posición de los teléfonos móviles que se encuentran en los alrededores.

Entre los elementos conectados al HLR están el GMSC, el VLR y el sistema de correo de voz.

#### **3.2.3.4 Registro de posición visitante (VLR) *Visitor Location Register***

El VLR es un registro de la base de datos temporal de los usuarios que se encuentran pasando por un área en particular la cual esta bajo la cobertura de este. Cada estación base en la red es atendida por un VLR, por lo tanto un suscriptor no puede estar presente en mas de un VLR a la vez.

Los datos guardados en el VLR son recibidos desde el HLR o colectados desde la MS. En la práctica, por razones de desempeño, el VLR es integrado directamente al MSC y cuando esto no es así, el VLR se vincula estrechamente al MSC por medio de una interfaz propia.

Entre los datos que guarda el VLR están:

- a) El número de identidad del usuario (IMSI) *International Mobile Subscriber Identity*
- b) Los datos de autenticación
- c) Numero de teléfono del usuario (MSISDN)
- d) Los servicios GSM a los que el usuario le esta permitido acceder
- e) La dirección del HLR del usuario

Los elementos que regularmente se encuentran conectados al VLR son: el MSC visitado, el HLR y algún otro VLR para transferir temporalmente los datos concernientes al móvil cuando pasa de un área a otra.

Las funciones principales del VLR son:

1. Informar al HLR que un suscriptor se encuentra en un área particular donde el VLR tiene cobertura
2. Rastrear donde se encuentra el usuario dentro del área del VLR (área de ubicación) cuando ninguna llamada ha sido realizada
3. Habilitar o deshabilitar los servicios a los que el usuario tiene acceso
4. Ubicar los números disponibles transitorios durante el proceso de llamadas entrantes
5. Limpiar el historial del usuario si este queda inactivo mientras esta dentro del área de un VLR. El VLR borra los datos del usuario después de un periodo fijo de tiempo de inactividad e informa al HLR. Esto puede suceder cuando el teléfono ha sido apagado o cuando el usuario se encuentra en un área donde la cobertura se ha perdido por mucho tiempo.

### **3.2.3.5 Centro de autenticación (AuC) *Authentication Center***

Esta parte del NSS tiene la función de autenticar cada tarjeta SIM que trata de conectarse a la red GSM, regularmente cuando el teléfono es encendido. Una vez la autenticación es aprobada, el HLR permite operar la tarjeta SIM y los servicios que esta tenga asignados. Una clave codificada es generada la cual se utiliza después para codificar todas las comunicaciones inalámbricas como voz, SMS, etc., entre los teléfonos móviles y el núcleo de la red GSM.

Si la autenticación falla, entonces ninguno de los servicios estarán disponibles para esa tarjeta SIM en particular. La implementación correcta de seguridad para el AuC es una parte muy importante de la estrategia del operador para evitar la clonación de las tarjetas SIM.

La seguridad del proceso de autenticación depende de una clave secreta compartida entre el AuC y la tarjeta SIM, llamado "Ki". El Ki es quemado dentro de la tarjeta SIM durante su fabricación y esta también reproducido en el AuC. Este Ki nunca es transmitido entre el AuC y la tarjeta SIM, pero es combinado con el IMSI para producir una respuesta aleatoria con propósitos de identificación y una clave codificada llamada Kc utilizada en las comunicaciones aéreas.

El AuC esta conectado al MSC, el cual asegura que las mismas claves y respuestas aleatorias no sean usadas dos veces en un teléfono móvil particular.

El procedimiento de autenticación es seguro y protege al operador de red de diferentes fraudes encontrados hoy en día en el mundo de la telefonía, es por esto que un nuevo conjunto de métodos de seguridad fue diseñado para los teléfonos de tercera generación.

### **3.2.3.6 Registro de identidad de equipo (EIR) *Equipment Identity Register*)**

Este registro se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM, pero a nivel de equipos válidos.

La EIR contiene una base de datos con una lista de todos los equipos móviles que son válidos para ser usados en la red.

Esta base de datos contiene la información del IMEI de cada terminal, de manera que si un determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la misma.

El EIR esta frecuentemente integrado al HLR y esta diseñado para permitir el rastreo de los teléfonos móviles robados. En teoría todos los datos de los teléfonos móviles robados deberían ser distribuidos a todos los EIRs en el mundo a través de un EIR central. Esta claro, sin embargo, que hay algunos países donde esto aun no esta en operación.

El AuC y el EIR son implementados como nodos independientes o como un nodo combinado del AuC con el EIR.

#### **3.2.4 Centro de mantenimiento y operaciones (OMC) *Operations and Maintenance Center***

El OMC esta conectado a todo el equipo en el NSS y en el BSC. El OMC provee monitoreo remoto del funcionamiento de la red permitiendo realizar actividades como configuración de canales, control de *handovers*, control de potencia, configuración de las terminales de radio, así como también permite ver las alarmas, las fallas y los eventos en el sistema.

La implementación del OMC es llamada Sistema de Soporte y Operaciones (OSS) *Operation and Support System*. El OSS es la parte funcional desde la cual el operador de la red monitorea y controla el sistema.

El propósito del OSS es ofrecer al cliente soporte costo/efectivo para las actividades centralizadas, regionales y locales así como actividades de mantenimiento que son requeridas por la red GSM. Una función importante del OSS es proveer una visión general de la red y realizar las actividades de mantenimiento.

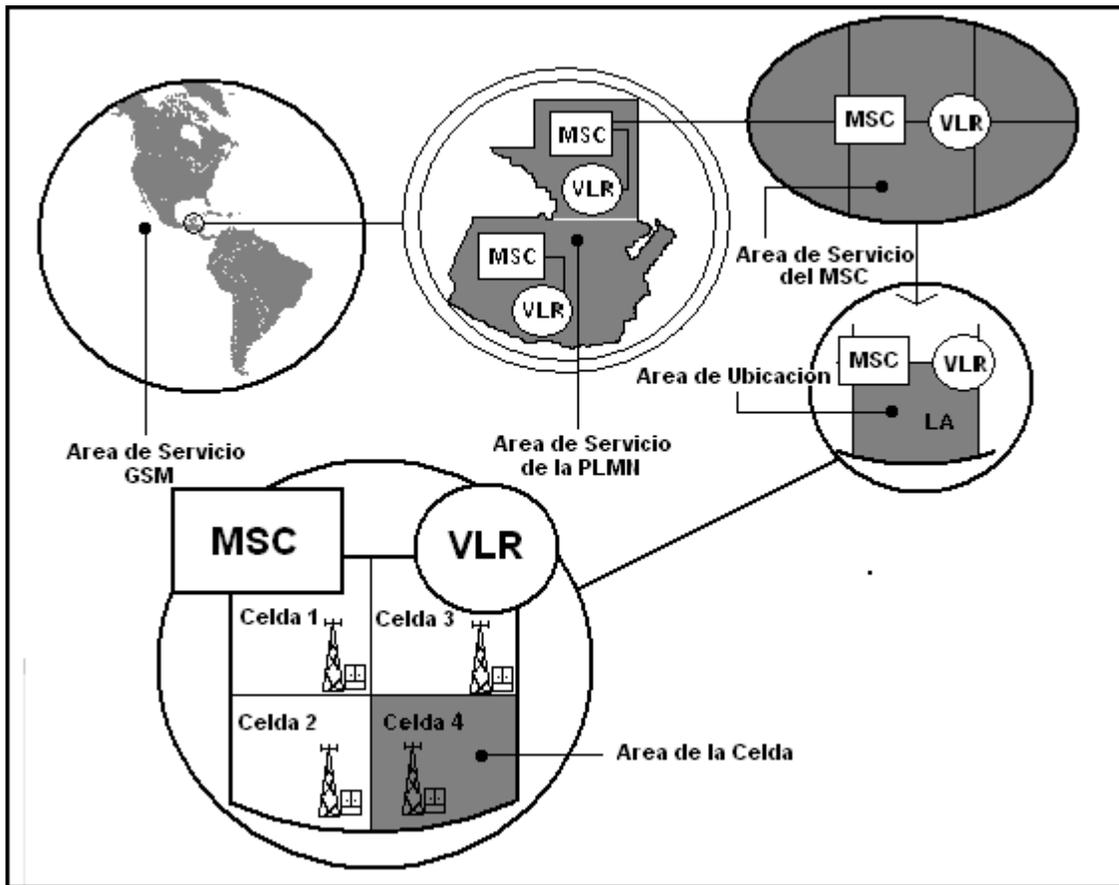
El OSS se encarga de controlar la carga de tráfico de los BSSs. Es de notar que el numero de estaciones base aumenta conforme la población aumenta por lo que algunas de las tareas de mantenimiento que pueden ser realizadas en el OSS son transferidas a las BTSs permitiendo reducir los costos de mantenimiento del sistema.

### **3.3 Áreas de la red GSM**

Una red telefónica requiere de una estructura determinada con la finalidad de que las llamadas sean enviadas a la central telefónica correcta, en una red móvil GSM esto es muy importante debido a la movilidad de los usuarios.

La red GSM esta dividida en diferentes áreas geográficas que son: área de servicio GSM, área de servicio de la red móvil publica terrestre (PLMN), área de servicio del MSC, área de ubicación y área de la celda. En la figura 20 se muestra como están distribuidas las áreas en la red GSM.

**Figura 20. Distribución de las áreas de la red GSM**



*El área de servicio GSM, es el área geográfica completa en la cual un usuario móvil puede tener acceso a la red GSM. Hoy en día, las áreas de servicio GSM se extiende a lo largo de más de 130 países alrededor del mundo en Europa, América, Asia, Australia y África.*

*El área de servicio de la PLMN*, es el área geográfica donde brinda servicio un único operador de telefonía móvil. Normalmente hay más de un operador de red autorizado en cada país, por lo que puede haber varias áreas de servicios PLMN, una para cada operador de telefonía móvil.

*El área de servicio del MSC o MSC/VLR*, es el área geográfica controlada por un MSC. Dentro de una PLMN puede haber varias áreas de servicio del MSC. Para llevar a cabo una llamada a una estación móvil, el área de servicio del MSC es guardada en el HLR.

*El área de ubicación (LA) Location Area*, son las áreas geográficas en las que se subdivide el área de servicio del MSC, es decir que puede haber varias áreas de ubicación dentro del área de servicio de un MSC. Un área de ubicación esta definida como un grupo de celdas y es identificada únicamente por el numero de identidad de área de ubicación (LAI) *Location Area Identity*. En la red, las ubicaciones de los usuarios son conocidas a partir de la LAI guardada en el VLR; cada área de ubicación (LA) presta servicio a uno o mas BSCs.

*La celda o célula*, es la unidad básica de las redes GSM y esta definida como el área geográfica cubierta por una BTS. Dentro de un área de ubicación, cada celda es únicamente identificada por el número de identidad global de la celda (CGI) *Cell Global Identity*.

### 3.4 Especificaciones para el GSM

Todos los sistemas de comunicación tienen normas para que los procesos que realizan sean llevados adecuadamente. Las especificaciones para los diferentes sistemas de comunicación personal varían dependiendo del tipo de red. En los incisos siguientes se listan las especificaciones más importantes para las redes GSM.

#### 3.4.1 Bandas de frecuencia

Existen ocho bandas de frecuencia definidas por la Asociación de Proyectos para la Tercera Generación (3GPP) dadas al GSM como se puede observar en la Tabla III.

**Tabla III. Bandas de frecuencias para GSM**

Sistema	Banda (MHz)	Frecuencias de Uplink (MHz)	Frecuencias de Downlink (MHz)	Numero de Canales
GSM 400	450	450.4 - 457.6	460.4 - 467.6	259 - 293
GSM 400	480	478.8 - 486.0	488.8 - 496.0	306 - 340
GSM 850	850	824.0 - 849.0	869.0 - 894.0	128 - 251
GSM 900 (P-GSM)	900	890.0 - 915.0	935.0 - 960.0	1 - 124
GSM 900 (E-GSM)	900	880.0 - 915.0	925.0 - 960.0	975 - 1023, (0, 1-124)
GSM-R (R-GSM)	900	876.0 - 915.0	921.0 - 960.0	955 - 973, (0, 1-124, 975 - 1023)
GSM 1800	1800	1710.0 - 1785.0	1805.0 - 1880.0	512 - 885
GSM 1900	1900	1850.0 - 1910.0	1930.0 - 1990.0	512 - 810

Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki, GSM frequency bands](http://en.wikipedia.org/wiki/GSM_frequency_bands).

De las ocho bandas de frecuencia mostradas únicamente cuatro son utilizadas por distintos operadores en Guatemala, estas son: GSM 850, GSM 900, GSM 1800 y GSM 1900.

Cada banda principal de GSM se divide en dos sub-bandas, la banda de *uplink* que contiene las frecuencias que son utilizadas cuando la estación móvil le envía información a la BTS y la banda de *downlink* que contiene las frecuencias que son utilizadas cuando la BTS envía información a la estación móvil. Para una red básica GSM 900 estas sub-bandas tienen un ancho de banda de 25 MHz y una separación entre ellas de 20 MHz, aunque estos datos varían dependiendo del tipo de red GSM utilizado.

Hoy en día, los teléfonos modernos tienen la capacidad de soportar el uso de distintas bandas de frecuencia y son conocidos como teléfonos multibanda, las bandas de frecuencia asignadas a cada tipo de teléfono dependen del lugar donde estos son utilizados. Dependiendo de la cantidad de bandas que manejan los teléfonos móviles se dividen en: teléfonos dual-band, los cuales son capaces de manejar dos bandas ya sea 900 y 1800 u 850 y 1900, teléfonos tri-band, los cuales pueden manejar tres bandas ya sea 900, 1800 y 1900 u 850, 1800 y 1900 y por último los teléfonos quad-band que son capaces de manejar los cuatro grupos de frecuencias para GSM.

### **3.4.2 Canales de frecuencia**

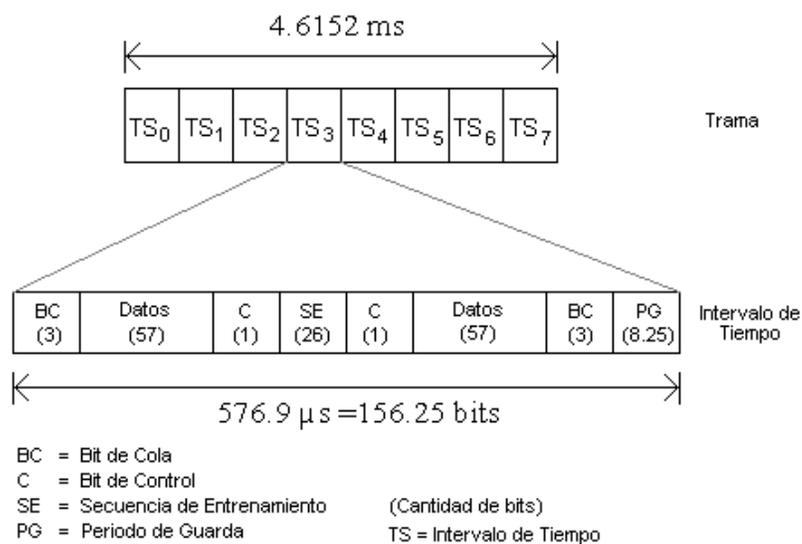
Las bandas de frecuencia de *uplink* y *downlink* de GSM se dividen en canales de 200 KHz llamados ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number* o Canales de Radio Frecuencia Absolutos).

La cantidad de canales depende de la banda en que este trabajando la red GSM ya que como se puede apreciar en la Tabla III, al hacer la resta entre el límite superior y el límite inferior de las bandas de *uplink* y *downlink* para cada banda en que trabaja GSM el resultado es diferente.

El ARFCN denota un par de canales de *uplink* y *downlink* separados por 45 MHz para una red GSM de 850 o 900 MHz, en el caso de las otras bandas este dato varia.

Cada canal es multiplexado en ocho espacios de tiempo de 576.9  $\mu$ s, los cuales contienen 156.25 bits cada uno de los cuales 114 son datos codificados, incluyendo los necesarios para una posterior corrección de errores. Estos espacios de tiempo, enumerados de 0 a 7 forman una trama de 4.6152 ms, como se puede ver en la Figura 21.

**Figura 21. Trama e intervalos de tiempo**



Fuente: Javier Gavilan, Introducción al GSM, Diapositiva 31.

La combinación de un número de intervalo de tiempo y un ARFCN constituyen un canal físico tanto para el *uplink* como para el *downlink*.

Cada canal físico en un sistema GSM esta conformado por varios canales lógicos que llevan la información necesaria para manipular el tráfico de datos o señalar datos desde el MSC, la BTS o la MS. Las especificaciones para GSM definen una gran variedad de canales lógicos que relacionan la capa física con la capa de datos dentro de la red GSM.

### **3.4.3 Modulación**

Debido a las características del canal de radio, el sistema de modulación usado en GSM es el GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) y se caracteriza por tener una alta eficiencia espectral y presentar una fuerte resistencia frente a los efectos nocivos que introduce el canal. Este se deriva del sistema de modulación MSK (*Minimum Shift Keying*) en el que los cambios de fase son instantáneos provocando el ensanchamiento del espectro. Para suavizar estos cambios de fase se utiliza un filtro gaussiano que se encarga de generar la señal GMSK, cuanto más lentos y suaves sean los cambios en la fase, mejor es la eficiencia espectral.

Utilizando GMSK, los lóbulos laterales del espectro de una señal MSK se reducen por el uso del filtro gaussiano de premodulación. El filtro gaussiano aplana la trayectoria de fase de la señal MSK y por lo tanto, estabiliza las variaciones de la frecuencia instantánea a través del tiempo, esto tiene el efecto de reducir considerablemente los niveles de los lóbulos laterales en el espectro transmitido.

#### **3.4.4 Tasa de transmisión**

GSM es un sistema digital con una tasa de transmisión sobre el aire de 270.83 Kbps. Este dato es obtenido mediante la división entre la cantidad de bits que hay en un intervalo de tiempo que es de 156.25 bits y el tiempo en que estos son transmitidos que es de 576.9  $\mu$ s.

#### **3.4.5 Método de acceso**

GSM utiliza el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) tratado en el capítulo 2. Esta es una técnica en donde diferentes llamadas son compartidas en una misma portadora. Cada llamada es asignada a un intervalo de tiempo en particular.

#### **3.4.6 Codificador de voz**

GSM utiliza dos tipos de codificadores de voz, el codificador de tasa completa o *full-rate* y el codificador de media tasa o *half-rate*.

El codificador de tasa completa utiliza un codificador predictivo lineal con excitación de pulso regular (LPC-RPC) *Linear Predictive Codec with Regular Pulse Excitation*.

Este codificador de voz opera a 13 Kbps en comparación con las redes antiguas de telefónica pública que usan codificación de voz con una tasa de bit de 64 Kbps, a pesar de esto no hay diferencia en la calidad de voz. El codificador procesa bloques de 20 ms. de voz. Cada bloque de voz contiene 260 bits lo cual es razonable ya que  $260 \text{ bits} / 20 \text{ ms} = 13 \text{ Kbps}$ .

Por su parte el codificador de media tasa utiliza un codificador predictor lineal vectorial auto excitado (VSELP) *Vector Self-Excited Linear Predictor*, que tiene una tasa de bit de 5.6 Kbps y produce buena calidad de voz.

### **3.5 Procedimientos de la capa física**

Además de las especificaciones para el GSM, existen procedimientos que pertenecen a la capa física de la red, que aunque no son controlados en esta capa, actúan sobre la interfaz aérea y son características importantes en el desempeño de un sistema celular, por lo que deben ser consideradas con fines de comparación para los capítulos siguientes. Entre estos procedimientos están el control de potencia, los *handovers* y los saltos de frecuencia o *frequency hopping*.

#### **3.5.1 Control de potencia**

El control de potencia en el sistema GSM se encarga de habilitar a la estación móvil y a la BTS para realizar variaciones en su potencia de transmisión.

Su finalidad principal es la de reducir la interferencia co-canal y adyacente, mientras se trabaja con una potencia transmisora adecuada para mantener la calidad de la señal de voz a través del enlace radioeléctrico.

La estación móvil debe ser capaz de variar su potencia de transmisión desde su valor máximo hasta 20 mW. La variación en la potencia de una estación móvil se realiza a una velocidad de 2 dB cada 60 ms enviando información a la BSC del nivel de potencia utilizado.

La estación móvil adopta la potencia de acuerdo a la información recibida por medio de los comandos de control de la estación base, por lo que la estación móvil no se encuentra regularmente utilizando su mayor potencia de transmisión, lo que da como resultado un ahorro de carga para la batería del móvil.

El BSS maneja dos tipos de control de potencia, el control de potencia dinámico que es realizado en ambas direcciones y el control de potencia estático realizado únicamente en la dirección de *downlink*.

Los niveles de la potencia de transmisión de la estación móvil y de la estación base son determinados por el análisis de las mediciones de nivel y calidad colectadas en ambas direcciones. El criterio de control de potencia es seleccionado por el operador y procesado en el OMC.

Si el control de potencia es deshabilitado por la estación móvil, la estación móvil siempre transmitirá al máximo nivel de potencia, lo mismo ocurre en las estaciones base, si el control de potencia es deshabilitado, estas transmitirán al máximo nivel de potencia.

El proceso del control de potencia consiste de los pasos siguientes.

1. La BTS mide el *uplink* y recibe medidas del *downlink* desde la estación móvil cada 480 ms.
2. El proceso de control de potencia emplea los siguientes parámetros de medida:
  - a) RXLEVDL (medición del nivel de la señal recibida por la MS)
  - b) RXLEVUL (medición del nivel de la señal recibida por la BTS)
  - c) RXQUALDL (medición de la calidad de la señal recibida por la MS)
  - d) RXQUALUL (medición de la calidad de la señal recibida por la BTS)
3. La BTS envía un reporte de las mediciones hechas al BSC.
4. El BSC calcula los valores que asignara a los parámetros encargados de controlar la velocidad del proceso del control de potencia, actualizándolos frecuentemente para reaccionar de manera inmediata ante nueva situaciones.
5. El BSC evalúa si es necesario un incremento o disminución de potencia, y envía información al la estación base y a la estación móvil de la potencia a la que deben estar transmitiendo.

El parámetro RXLEV, es el indicador del nivel de la señal, el cual es medido en dBm. La potencia de la señal se puede dividir en 64 niveles asociados con los rangos que esta puede tener y que pueden ser reportados, como se puede ver en la tabla IV.

**Tabla IV. Niveles de la señal**

Nivel de la Señal	Rango (en dBm)
0	$RXLEV < -110$
1	$-110 < RXLEV < -109$
2	$-109 < RXLEV < -108$
"	"
62	$-49 < RXLEV < -48$
63	$RXLEV > -48$

Cuando el nivel de señal es 0 significa que la señal es débil, mientras que un nivel de señal de 63 indica una señal fuerte.

El parámetro RXQUAL es el indicador de la calidad de la señal y es medida por medio de la tasa de error de bits (BER) *Bit Error Rate*, la cual representa el porcentaje del número de bits incorrectos recibidos. La calidad de la señal se divide en ocho niveles como se muestra en la tabla V.

**Tabla V. Niveles de calidad de la señal**

Calidad de la Señal	Rango (en BER)
0	$BER < 0.2$
1	$0.2 < BER < 0.4$
2	$0.4 < BER < 0.8$
3	$0.8 < BER < 1.6$
4	$1.6 < BER < 3.2$
5	$3.2 < BER < 6.4$
6	$6.4 < BER < 12.8$
7	$BER > 12.8$

La calidad de señal igual a 0 indica que la calidad es buena, mientras que la calidad de la señal igual a 7 indica que la calidad es mala, es decir que hay mucha interferencia o que no hay buena cobertura en el área.

### **3.5.2 Handover (HO)**

El *handover* es el proceso de trasladar automáticamente una llamada en progreso de un canal de tráfico a otro de manera que permanezca la continuidad de la misma mientras el usuario esta en movimiento. El traslado de la llamada puede ser realizado por cualquiera de los canales de tráfico, dentro de la misma celda o hacia otra celda.

Para decidir si un *handover* debe ser realizado, el BSC recibe datos medidos sobre el estado de la interface aérea desde la BTS que cubre el área y la estación móvil.

Los datos que el BSC recibe de la estación móvil son:

- a) Nivel de la señal que esta siendo recibida de la BTS que cubre el área (en dBm)
- b) Calidad de la señal que esta siendo recibida de la BTS que cubre el área (en Tasa de error de bit)
- c) Nivel de la señal de los seis mejores canales de control de *downlink* de las BTSs vecinas.

Los datos que la BSC recibe de la BTS son:

- a) Nivel de la señal que esta siendo recibida desde la estación móvil
- b) Calidad de la señal que esta siendo recibida desde la estación móvil
- c) Distancia entre la BTS que cubre el área y la estación móvil (en metros)

Cuando la estación móvil se aleja de la BTS de la que se encuentra conectada, las mediciones que esta realiza y que envía al BSC muestran una disminución gradual del nivel de la señal de la BTS actual, mientras que comienza a mostrar un aumento en el nivel de la señal de las BTSs vecinas. Si la BSC determina que hay una mejor BTS para cubrir el área, entonces este inicia el proceso de *handover*.

Básicamente hay 4 tipos de *handovers*:

- 1) *handover* Interno o intra-BSS, que se divide en:
  - a) *handover* intracelda
  - b) *handover* intercelda
- 2) *handover* externo o inter-BSS, que se divide en:
  - a) *handover* intra-MS
  - b) *handover* inter-MS

Si la BTS a la que va conectada la estación móvil y la BTS a la cual se va a trasladar la llamada se encuentran en el mismo BSS, el BSC del BSS puede realizar el *handover* sin necesidad de involucrar al MS, a esto se le llama *handover* interno o intra-BSS. Este tipo de *handover* se subdivide en *handover* intracelda y *handover* intercelda.

El *handover* intracelda es el que tiene lugar cuando se traslada la llamada de un canal a otro en una misma BTS mientras que el *handover* intercelda se lleva a cabo cuando la llamada es trasladada a una BTS diferente.

Si la BTS a la que va conectada la estación móvil y la BTS a la que se trasladara la llamada no se encuentran en el mismo BSS, entonces se realiza un *handover* inter-BSS, el cual requiere que el MS coordine y facilite el *handover* de la llamada entre las dos BTSs. Este tipo de *handover* se subdivide en *handover* intra-MS e inter-MS.

Los objetivos que el BSC toma en cuenta para optimizar la realización de un *handover* son los siguientes:

- a) Mantener una buena calidad de voz.
- b) Minimizar el número de llamadas caídas o *drop calls*.
- c) Maximizar la cantidad de tiempo que una estación móvil permanecerá conectada a la celda que tiene mejor cobertura en el área donde esta se encuentra.
- d) Minimizar el número de *handovers*

Para lograr realizar los objetivos anteriores, el BSC reacciona ante diferentes circunstancias las cuales pueden provocar un *handover*, entre estas están:

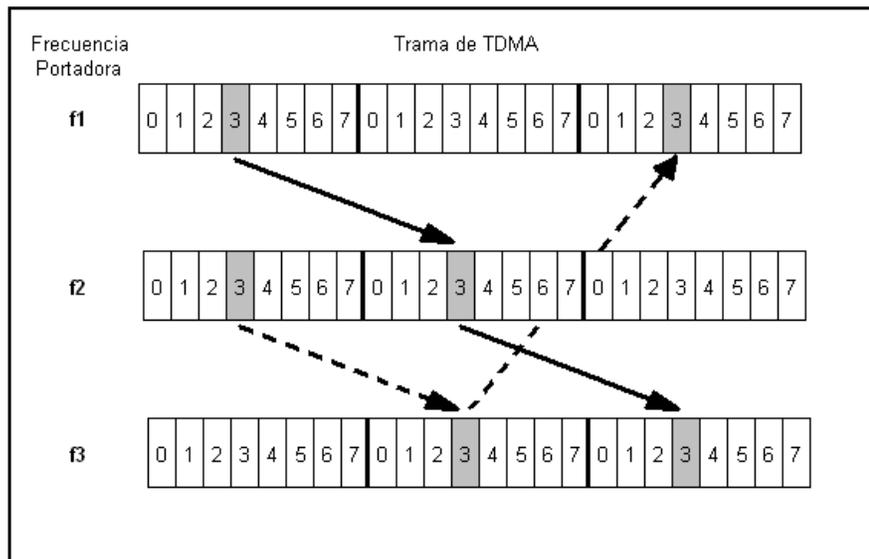
- a) Si la distancia entre la estación móvil y la BTS llega a ser demasiado grande.
- b) Si el nivel de la señal recibida en el *downlink* o en el *uplink* llega a ser demasiado mala.
- c) Si la calidad de la señal recibida en el *downlink* o en *uplink* llega a ser demasiado mala.
- d) Por la disminución en el nivel de la señal de la BTS a la cual va conectada la estación móvil y la aparición de BTSs vecinas con mejores niveles de potencia.

En todas las circunstancias anteriores existe el riesgo de perder la llamada en progreso si el *handover* no es ejecutado inmediatamente. Si el BSC toma la decisión de realizar un *handover* intercelda por calidad o por nivel, la potencia de RF de la estación móvil y de la BTS son ajustados a la máxima potencia para evitar la pérdida de la llamada hasta que el *handover* es ejecutado.

### 3.5.3 Salto de frecuencia

La función de salto de frecuencia o *frequency hopping* permite la conmutación dinámica de los enlaces de radio, de una frecuencia portadora a otra. El salto de frecuencia cambia la frecuencia usada por el enlace de radio por cada nueva trama de TDMA en un patrón cíclico, como se puede observar en la figura 22.

Figura 22. Esquema del salto de frecuencia cíclico.



La manera en la cual un radio enlace cambia de frecuencia portadora es determinada por la secuencia de salto, los parámetros utilizados para calcular esta secuencia son: la asignación de la estación móvil, el número de secuencia de salto y el índice de *offset* de la asignación de la estación móvil.

El número de secuencia de salto puede tener cualquier valor entre 0 y 63. Si el número de secuencia de salto es ajustado a 0, la frecuencia de salto tendrá un patrón cíclico. Por otra parte si el número de secuencia de salto es ajustado a un valor entre 1 y 63, la secuencia de salto tendrá un patrón pseudo-aleatorio.

Hay una excepción para la secuencia del salto de frecuencia y se aplica a los espacios de tiempo que portan los canales comunes como BCCH, FCCH, SCCH, etc., los cuales se encuentran en el intervalo de tiempo número 0 de las frecuencias de radio bajas. Esta excepción es utilizada para reducir la complejidad del sistema GSM, permitiendo que los canales comunes se dejen fijos.

Tanto el *uplink* como el *downlink* usan la misma secuencia de salto. Para este propósito el número de secuencia de salto, la asignación de la estación móvil y el índice de *offset* es transferido de la BTS a la estación móvil.

Las razones por las que se utiliza el salto de frecuencia son:

a) Disminuir la probabilidad de interferencia

El salto de frecuencia repartirá la interferencia que pudiera haber entre diferentes estaciones móviles que estén en una celda en particular.

b) Suprimir el efecto de desvanecimiento de Rayleigh

El desvanecimiento de Rayleigh o desvanecimiento por trayectoria múltiple es causado por las diferentes trayectorias que toma la señal de radio al propagarse por el aire. El desvanecimiento de Rayleigh puede causar hoyos de cobertura.

Este efecto es dependiente de la frecuencia y de la ubicación. Cuando la estación móvil se encuentra en un lugar fijo o se mueve a baja velocidad, el salto de frecuencia mejorara significativamente el nivel de desempeño de la interfaz aérea, mientras que cuando la estación móvil se mueve a gran velocidad, el salto de frecuencia no afecta pero tampoco ayuda mucho.

Mientras más frecuencias de salto, llamadas también frecuencias de *hopping* son usadas en una celda, más saltos de frecuencia son realizados para ayudar a suprimir el efecto de desvanecimiento de Rayleigh.

### **3.6 Modulación digital en GSM**

El tipo de modulación utilizado por GSM es el GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) este es un esquema de modulación binaria derivado de la modulación MSK (*Minimum Shift Keying*).

MSK es un tipo especial de FSK (*Frequency Shift Keying*) de fase continua el cual tiene un índice de modulación de 0.5, que corresponde al mínimo espacio de frecuencia que permite a dos señales FSK ser ortogonales coherentes.

MSK posee propiedades como envolvente constante, eficiencia espectral, buena respuesta ante los errores de bits y capacidad de auto sincronización. Una señal MSK genérica se puede expresar como

$$S_{MSK}(t) = m_I(t) \cos\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right) \cos(2\pi f_c t) + m_Q(t) \sin\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right) \sin(2\pi f_c t)$$

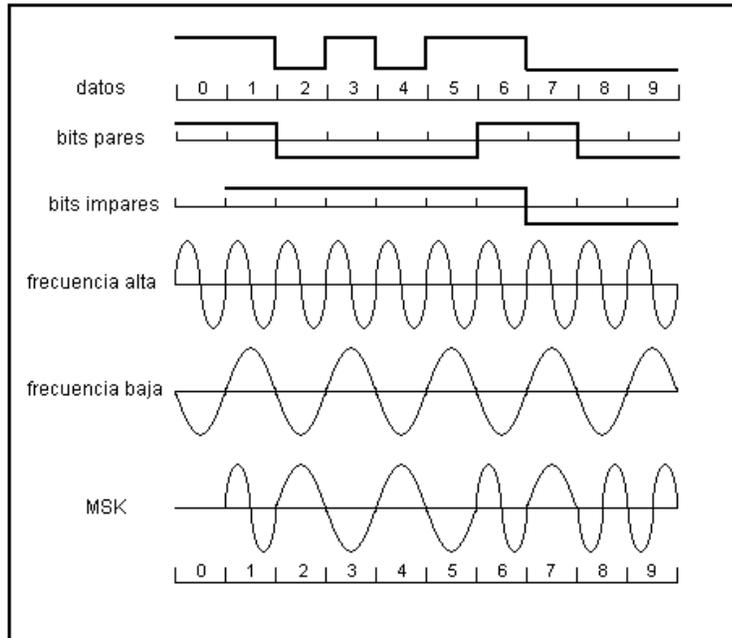
Donde  $m_I(t)$  y  $m_Q(t)$  son los bits pares e impares de la cadena de datos bipolares que alimentan los bloques en fase y cuadratura del modulador. Estos pueden tener valores de +1 o de -1. La ecuación anterior puede también ser reescrita como sigue utilizando funciones trigonométricas

$$S_{MSK}(t) = \cos\left[2\pi f_c t - m_I(t) m_Q(t) \frac{\pi t}{2T_b} + \varphi_k\right]$$

Donde  $\varphi_k$  es 0 o  $\pi$  dependiendo de si  $m_I(t)$  es 1 o -1. De la ecuación anterior se puede deducir que MSK tiene amplitud constante.

La continuidad de la fase en los periodos de transición de bits se asegura escogiendo la frecuencia de la portadora como un múltiplo entero de un cuarto de la tasa de bit. En la figura 23 se observa como es formada la señal MSK.

**Figura 23. Generación de una señal MSK**



Fuente: Enric Clavijo y otros, **Tecnología GSM**, p35.

Como se puede observar en la figura anterior, se tiene una cadena de datos de 10 bits los cuales son encargados de modular a la señal portadora. Esta cadena de datos es dividida en dos señales: la señal formada por los bits pares y la señal formada por los bits impares. En el caso de GSM, como la tasa de bits es de 270.83 Kbps, entonces la tasa de bit de las señales pares e impares es de la mitad, es decir de 135.415 Kbps.

Dado que MSK es una forma de FSK son necesarias dos portadoras, una con frecuencia baja y otra con frecuencia alta como se puede ver en la figura anterior. La señal MSK es generada utilizando los datos que se muestran en la tabla VI.

**Tabla VI. Variaciones de fase y frecuencia de la señal MSK con respecto a la señal de entrada**

Entrada Digital		Salida MSK	
Bit Impar	Bit Par	Frecuencia	Fase ( $\varphi$ )
1	1	Alta	0
0	1	Baja	$\pi$
1	0	Baja	0
0	0	Alta	$\pi$

Fuente: Enric Clavijo y otros, **Tecnología GSM**, p36.

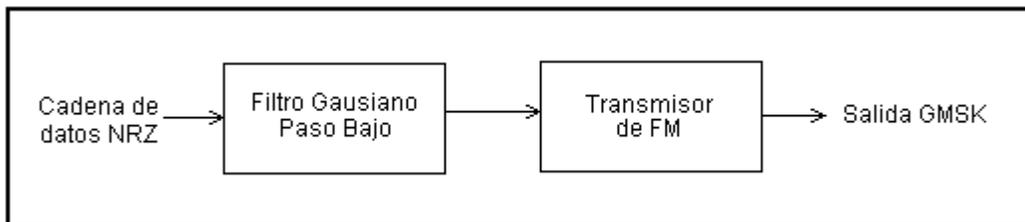
Para conseguir una señal GMSK de una señal MSK es necesario filtrar los datos NRZ modulantes por medio de un filtro gaussiano de premodulación. El filtro de premodulación, introduce en la señal transmitida un tipo de interferencia conocido como interferencia intersimbólica (ISI) y es posible demostrar que la degradación no es grave si el parámetro BT del filtro es mayor de 0.5.

Para GSM el parámetro BT es igual a 0.3 esto indica que el ancho de banda B debe ser de 81.3 KHz aproximadamente dado que  $T = 1/270830$  s. El valor de este parámetro también muestra que existe la posibilidad de tener algunos problemas de ISI, por lo que en GSM la señal no es totalmente de envolvente constante.

El filtro gaussiano aplanar la trayectoria de la fase de la señal MSK y por lo tanto, estabiliza las variaciones de la frecuencia instantánea a través del tiempo, permitiendo de esta manera que los lóbulos laterales del espectro de una señal MSK sean reducidos en el espectro transmitido.

El tipo de modulación GMSK es muy atractivo por su excelente eficiencia de potencia y de espectro. La manera mas simple de generar una señal GMSK es pasar una cadena de datos NRZ a través de un filtro gaussiano paso bajo, seguido de un modulador de FM. Esta técnica de modulación se muestra en la figura 24 y se usa actualmente en una gran cantidad de implementaciones analógicas y digitales así como para GSM.

**Figura 24. Diagrama a bloques de un transmisor GMSK usando un transmisor de FM**



Fuente: Enric Corner Clavijo y otros, **Tecnología GSM**, p35.

Las señales GMSK pueden ser detectadas usando detectores ortogonales coherentes o con detectores no coherentes como los discriminadores normales de FM. Un método no optimo pero efectivo de detectar señales GMSK es simplemente muestrear la salida de un demodulador de FM.

### 3.7 Codificación de voz en GSM

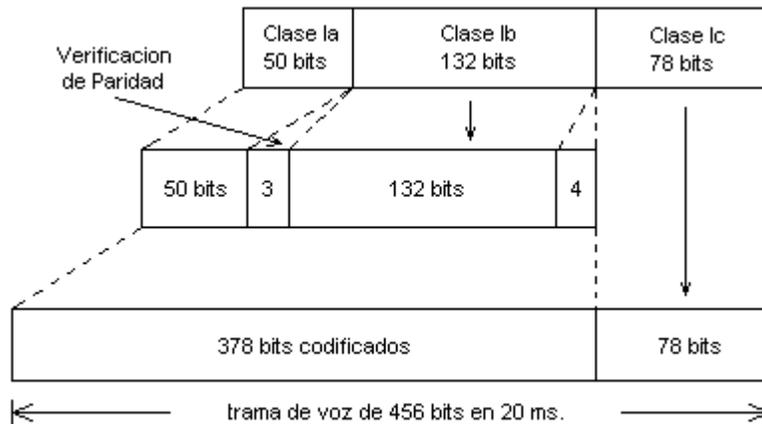
Debido a la poca capacidad del canal de radio, el número de bits que se desea transmitir debe ser minimizado, para esto se utiliza lo que se conoce como códec de voz.

El códec de voz es un dispositivo que forma parte de la estación móvil y se encarga de transformar la voz humana en una cadena de datos digitales para ser transmitida a través de la interfaz de radio, así mismo genera una representación analógica audible de los datos recibidos.

El códec de voz utilizado por GSM se llama RPE/LPC-LTP (*Regular Pulse Exciting-Lineal Prediction Coding-Long Term Prediction*) que significa codificación de predicción lineal con excitación de pulsos regulares y predicción de términos largos. Este códec de velocidad media, utiliza únicamente la mitad de los datos necesarios para representar los sonidos de la voz humana, por lo que permite que el doble de usuarios comparta la misma trama TDMA.

El códec o codificador de voz envía una trama completa de 260 bits, cada 20 ms esto corresponde a una velocidad de 13 Kbps. Cada bit contiene diferentes parámetros para la codificación, pero no todos tienen la misma importancia ya que de estos depende el nivel de protección. En la figura 25 se observa como están distribuidos los bits según su nivel de importancia.

**Figura 25. Distribución de bits en una trama de voz**



Fuente: Enric Corner Clavijo y otros, **Tecnología GSM**, p31.

El grupo Ia es el más importante y está formado por 50 bits, a los cuales se les verifica la paridad, por medio de un código cíclico de 3 bits conocido como CRC o chequeo de redundancia cíclica. El grupo Ib está formado por 132 bits, más 4 bits de cola, que junto con los 53 bits del primer grupo, forman un bloque de 189 bits a los que se les aplica un código convolucional. Este se encarga de generar palabras código de  $n$  bits, conforme cada bloque completo es introducido para obtener 378 bits de salida que sumados con los 78 bits que conforman el grupo Ic, que no tiene ningún tipo de protección, hacen un total de 456 bits los cuales son enviados cada 20 ms, dando una velocidad de salida de 22.8 Kbps para cada trama de voz.

### **3.7.1 Entrelazado (*Interleaving*)**

La función del entrelazado es dispersar los bits consecutivos que forman un mensaje cuando la cantidad de información perdida de manera consecutiva es grande.

En GSM, para minimizar el efecto de los desvanecimientos súbitos de los datos recibidos, la trama de voz de 456 bits de la figura 25 es dividida en 8 bloques de 57 bits que a su vez son repartidos en 8 intervalos consecutivos del canal de tráfico. De esta manera si se pierde un bloque debido a las interferencias o a los desvanecimientos, habrá información suficiente para decodificar la secuencia correcta, tomándola de los otros 7 intervalos disponibles.

### **3.8 Autenticación y seguridad**

Entre los aspectos de los que se encarga la seguridad en las redes GSM se encuentran:

- a) Autenticación de la identidad del usuario
- b) Confidencialidad de la identidad del usuario
- c) Confidencialidad de los datos de señalización
- d) Confidencialidad de los datos del usuario

Los mecanismos de seguridad del GSM son implementados en la tarjeta SIM, la estación móvil GSM y la red GSM.

La parte mas importante en la seguridad GSM es la tarjeta SIM la cual contiene entre otros parámetros, el IMSI o identificador internacional del usuario móvil, una clave individual de autenticación del usuario conocida como Ki y el algoritmo de autenticación, llamado A3. Cuando la estación móvil es encendida, esta se identifica con la red y recibe un número aleatorio (R) que viene del centro de autenticación AuC, este número junto con la clave Ki son usados para calcular la respuesta SRES, llamando a ejecución al algoritmo A3.

$$SRES = [Ki (A3) R]$$

El resultado SRES es enviado al centro de autenticación, el cual repite el cálculo para verificar la identidad del usuario y autorizar el acceso.

Al momento en que la estación móvil ingresa a la red GSM recibe un número que se usa como clave de codificación para el emisor y el receptor. La clave de codificación es conocida como Kc y se genera de forma aleatoria utilizando el algoritmo de generación de claves de codificación almacenado en la tarjeta SIM, llamado A8 así como los parámetros R y Ki.

$$Kc = [Ki (A8) R]$$

La clave de codificación Kc es procesada en el centro de autenticación para que no sea enviada ninguna información confidencial desprotegida por medio de la interfaz aérea. La clave de codificación puede cambiarse a intervalos regulares según lo requieran las consideraciones de seguridad y diseño de la red.

Una vez recibida la confirmación y tanto la red como la estación móvil conocen la clave de codificación, la red codifica y decodifica todos los mensajes enviados y recibidos usando el algoritmo de codificación llamado A5.

La confidencialidad y seguridad del usuario puede ser mayor asignando un TMSI o identificador temporal del usuario móvil. El TMSI es asociado con el IMSI dentro de un área específica, aunque al salir de esta se debe asociar con un identificador de área local. El registro VLR es el encargado de controlar la asociación entre el TMSI y el IMSI así como también controlar el proceso de localización de cada nuevo TMSI en cada área nueva.



## **4. SISTEMA UNIVERSAL DE COMUNICACIONES MÓVILES (UMTS)**

### **4.1 Acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA)**

El CDMA de Banda Ancha (WCDMA) *Wideband Code Division Multiple Access*, es la tecnología de radio que el ETSI eligió en enero de 1998, para ser utilizada por el UMTS. Es por eso que los términos UMTS y WCDMA suelen ser usados de manera indiferente.

Las estructuras de los protocolos de red para WCDMA son similares a los usados en GSM, por lo que es compatible con las redes existentes.

En el sistema WCDMA se le asigna al usuario una frecuencia portadora y un código conocido como código de ruido pseudo-aleatorio. La señal de banda angosta de voz, es dispersada sobre todo el ancho de banda de la portadora usando el código de pseudo-ruido el cual distribuye la energía de la señal transmitida sobre todo el espectro de la portadora.

El receptor utiliza el mismo código para decodificar la señal transmitida y recuperar la señal de banda angosta.

WCDMA es capaz de soportar comunicaciones de voz, imagen, datos y video con una tasa de transmisión arriba de 2 Mbps en aéreas urbanas y 384 Kbps en áreas suburbanas.

#### 4.1.1 Tipos de sistemas WCDMA

El CDMA de banda ancha se diferencia de los sistemas CDMA de segunda generación por el ancho de banda de las portadoras. El ancho de banda de la portadora definido para UMTS es de 5 MHz, mientras que el ancho de banda usado para los sistemas de segunda generación como el IS-95 es 1.25 MHz.

El UMTS define dos tipos diferentes de sistemas WCDMA:

- a) Por división de frecuencia bidireccional o FDD (*Frequency Division Duplex*)
- b) Por división de tiempo bidireccional o TDD (*Time Division Duplex*)

FDD es un método bidireccional, el cual utiliza dos bandas de frecuencia de transmisión una para el *uplink* de 1920 MHz a 1980 MHz y otra para el *downlink* de 2110 MHz a 2170 MHz, las cuales tienen una separación de 190 MHz.

Cada portadora tiene un ancho de banda de 5 MHz por lo que se tiene 12 pares de portadoras disponibles, dado que el ancho de banda de los canales de *uplink* y *downlink* es de 60 MHz.

CDMA en el modo FDD comparte muchas características comunes con los sistemas de primera y segunda generación que usan FDMA y TDMA, como lo es la separación de frecuencia que existe entre el *uplink* y el *downlink*. Esta separación garantiza el aislamiento entre los canales de comunicación y un equilibrio en la capacidad de transmisión en ambas direcciones.

Esto puede ser eficiente para la comunicación de voz pero puede resultar ineficiente para servicios de datos, como el navegador de internet entre otros. El modo FDD es el sistema más utilizado para aplicaciones en macro células.

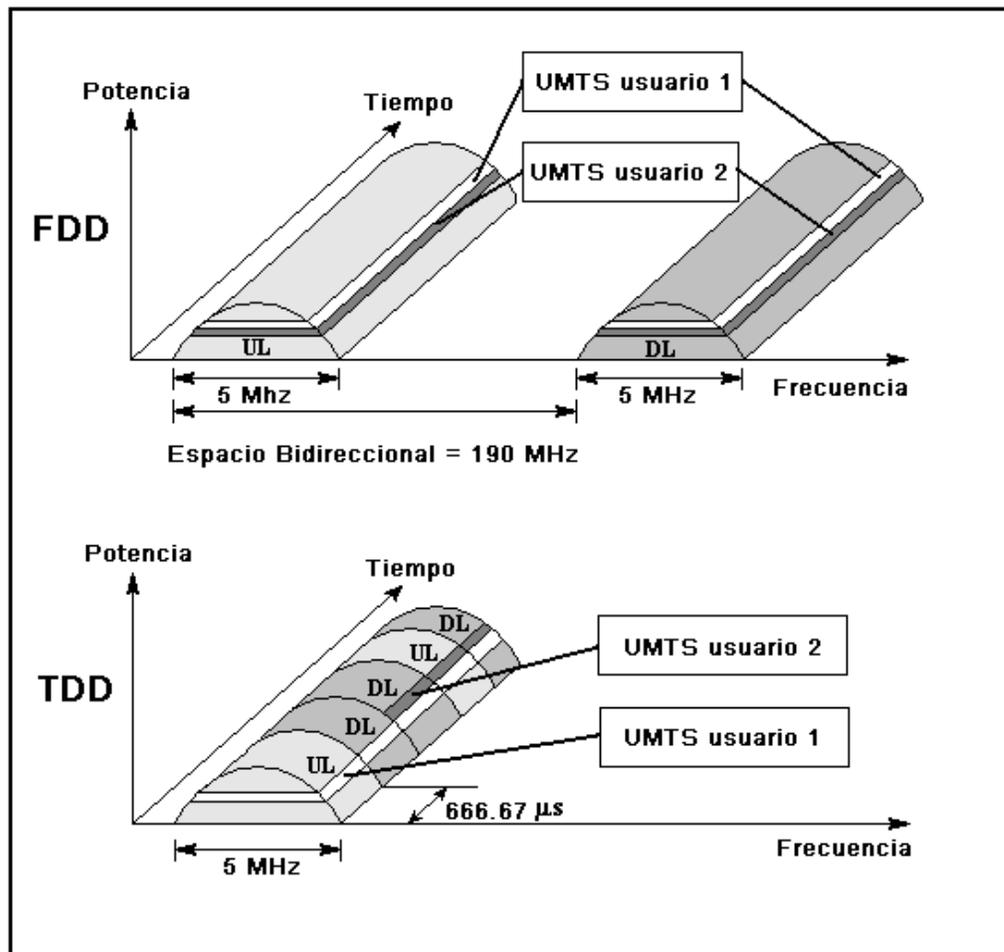
TDD es un método bidireccional, en el cual las comunicaciones de *downlink* y *uplink* son transmitidas sobre la misma portadora, sin ninguna separación bidireccional fija y utilizando intervalos de tiempo sincronizados para su codificación y decodificación. Este método sigue utilizando una portadora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

La asignación de códigos y anchos de banda es realizado en función de la demanda en las direcciones de *uplink* o *downlink*, por lo que CDMA en modo TDD es mas adecuado para los servicios de datos los cuales no están equilibrados.

En TDD, cada intervalo de tiempo puede tener asignada una dirección diferente, por lo que tiene una gran flexibilidad para manejar trafico asimétrico y bidireccional. El espectro de TDD es utilizado para la cobertura de baja movilidad en áreas urbanas.

En la figura 26 se puede observar la diferencia entre WCDMA FDD y TDD.

Figura 26. WCDMA FDD y TDD



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

Los sistemas anteriores están basados en el acceso múltiple por división de código de secuencia directa (DS-CDMA) *Direct Sequence CDMA*.

En los sistemas de secuencia directa, la señal de mensaje modulada en banda angosta es multiplicada por una señal con un ancho de banda mucho mayor, conocida como señal de dispersión (*spreading signal*).

La señal de dispersión es independiente de la señal de mensaje y debe tener un ancho de banda mucho mayor al de esta. Si el ancho de banda de la señal de dispersión es mucho mayor que el de la señal de mensaje, la señal transmitida tendrá por lo tanto un ancho de banda esencialmente igual al ancho de banda de la señal de dispersión.

La señal de dispersión esta compuesta de símbolos que son definidos por una secuencia pseudo aleatoria la cual es conocida tanto por el transmisor como por el receptor. Estos símbolos son llamados chips. Regularmente, la tasa de chips en el código de dispersión, es mucho mayor que la tasa de símbolos de la secuencia de datos original. La secuencia pseudo aleatoria de chips es también llamada secuencia de pseudo ruido (PN) debido a que la densidad de potencia espectral de la secuencia PN tiene un aspecto parecido al del ruido blanco.

#### **4.1.2 Scrambling**

El *scrambling* es parte del proceso de dispersión y consiste en multiplicar la señal de información codificada por un código de pseudo-ruido. Estos códigos pueden ser de dos tipos: códigos largos, conocidos como “códigos *Gold*” los cuales tienen un periodo de 10 ms y códigos cortos llamados “S (2)”.

El nodo B es el equivalente de la BTS para las redes UMTS. El número de códigos de *scrambling* que este nodo puede tener depende de la cantidad de sectores que posea.

En el canal de *downlink*, estos códigos son usados para reducir la interferencia entre estaciones base, mientras que en el canal de *uplink* son utilizados para separar únicamente los canales físicos de las estaciones móviles ya que estas no están sincronizadas en el tiempo.

El *scrambling* es usado en la banda de *downlink* para la separación de celdas y en el *uplink* para la separación de usuarios.

La secuencia de pseudo-ruido es usada ampliamente en los sistemas digitales de comunicación debido a sus propiedades aleatorias las cuales son generadas por un registro de cambio con retroalimentación.

#### **4.1.3 Parámetros de WCDMA**

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

Para la separación de las celdas son utilizados diversos códigos de dispersión en el *uplink* y en el *downlink*. El *downlink* tiene códigos de 512 chips, para facilitar el rápido procedimiento de búsqueda. En el *uplink* se implementan códigos largos y cortos.

Los códigos cortos son usados cuando se implementan técnicas de recepción multiusuario avanzadas, estos tienen una longitud de 256 chips, por otra parte los códigos largos son secuencias *Gold* de longitud  $2^{41}$ , aunque estos son truncados ya que la trama tiene únicamente una duración de 10 ms; los códigos cortos pueden ser utilizados para facilitar la detección multiusuario en la estación base.

La dispersión en los canales de *uplink* y *downlink* es realizada por medio de códigos OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) los cuales tienen la característica de mantener la ortogonalidad de la transmisión. El uso de estos códigos es uno de los factores fundamentales que permite un alto grado de flexibilidad en los servicios para la interfaz aérea del WCDMA.

La modulación de datos del WCDMA esta basada en derivados del sistema de modulación PSK. En el *downlink* se utiliza la modulación QPSK y en el *uplink* la modulación BPSK.

En la tabla VII se observan los parámetros para el sistema de CDMA de banda ancha.

**Tabla VII. Parámetros del WCDMA**

Ancho de banda del canal	5 MHz
Modo bidireccional	FDD y TDD
Estructura del canal de RF de <i>downlink</i>	Dispersión directa
Tasa de Chip	3.84 Mcps
Longitud de la trama	10 ms.
Modulación de dispersión	QPSK balanceado para el <i>downlink</i> QPSK de canal doble para el <i>uplink</i> circuitos de dispersión compleja
Modulación de datos	QPSK para el <i>downlink</i> BPSK para el <i>uplink</i>
Codificación del canal	Códigos turbo y códigos convolucionales
Multiplexación del canal en <i>Downlink</i>	Canales de control y datos multiplexados
Multiplexación del canal en <i>Uplink</i>	Canal de control y piloto multiplexados en tiempo Multiplexación de fase y cuadratura para el canal de control y datos
Tasa Múltiple	Distribución variable y multicódigo
Factores de Dispersión	4-256 chips para el <i>uplink</i> y 4-512 chips para el <i>downlink</i>
Control de Potencia	Lazo cerrado y abierto
Dispersión en el <i>downlink</i>	Secuencias de factor de dispersión variable ortogonal OVSF para la separación del canal, $2^{18}-1$ secuencias <i>Gold</i> para la separación del usuario y la celda. (ciclo truncado a 10 ms)
Dispersión en el <i>uplink</i>	Secuencias de factor de dispersión variable ortogonal OVSF, $2^{41}$ secuencias <i>Gold</i> para la separación del usuario (diferentes cambios de tiempo en el canal de fase y cuadratura, ciclo truncado a 10 ms)
<i>Handover</i>	<i>Soft handover, softer handover y hard handover</i>

Fuente: [www.privateline.com/3G/WCDMA.pdf](http://www.privateline.com/3G/WCDMA.pdf), **WCDMA**, p172.

## 4.2 Definición del UMTS

El Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles UMTS, es el estándar europeo para los sistemas de comunicación de tercera generación, el cual se pronostica que será el sucesor del GSM y establecerá un estándar de *roaming* global. El UMTS ha evolucionado de su formato básico a través de mejoras como el Acceso de Paquetes en el *Downlink* de Alta Velocidad (HSDPA) *High Speed Downlink Packet Access* y el Acceso de Paquetes en el *Uplink* de Alta Velocidad (HSUPA) *High Speed Uplink Packet Access*, mejorando de esta manera la capacidad del ancho de banda para soportar los servicios de la siguiente generación de telefonía celular.

El UMTS está diseñado para soportar tasas de transferencia de datos arriba de 2 Mbps, aunque en los países donde el sistema ya ha sido implementado el desempeño se encuentra alrededor de los 384 Kbps, lo cual es una mejor capacidad que los 14.4 Kbps de un canal de datos simple de GSM.

El UMTS es también conocido como el acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) y es uno de los avances más significativos en la evolución de las telecomunicaciones dentro de las redes de tercera generación.

La Sociedad del Proyecto de Tercera Generación (3GPP) es la encargada de llevar a cabo el desarrollo del UMTS, por lo que para alcanzar la aceptación global está introduciendo el sistema UMTS en fases y nuevas versiones anualmente. La primera versión fue la UMTS *Release '99*, introducida en diciembre de 1999, la cual define mejoras y transiciones para las redes GSM existentes.

Las demás versiones van de la '00 a la '07 aunque existe una inconsistencia en la numeración de estas ya que la segunda fase UMTS *Release* '00, fue abandonada en favor de los *Release* '04 y '05.

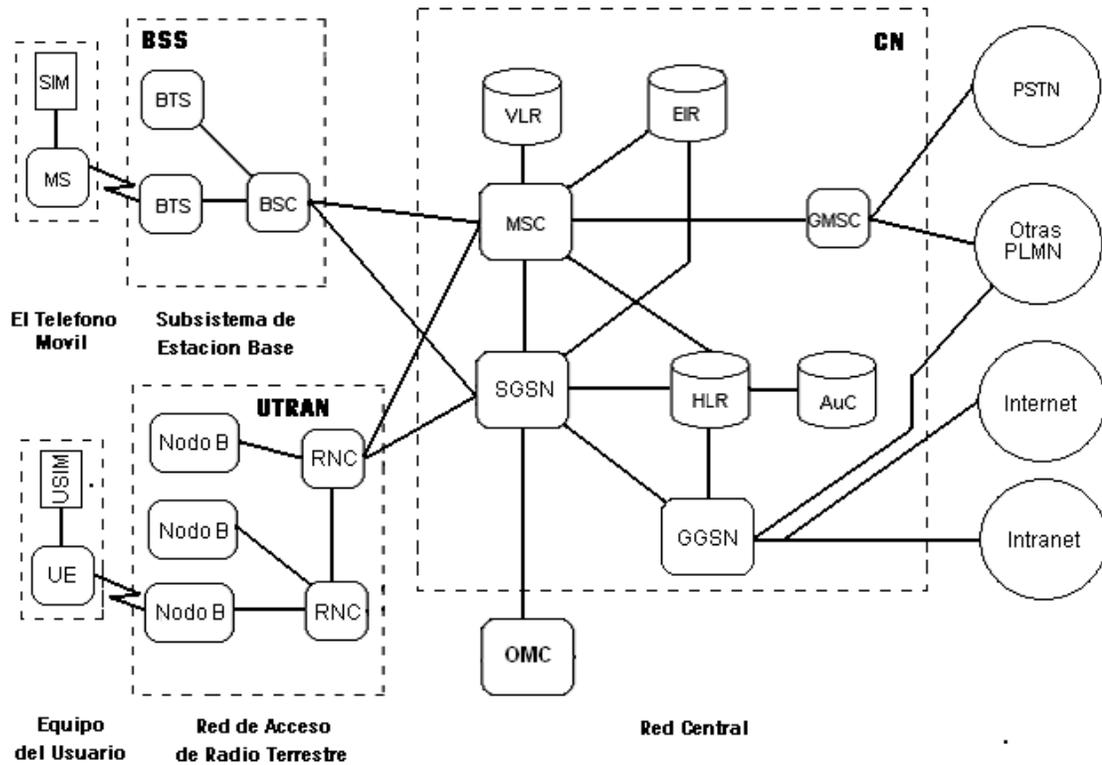
El cambio mas significativo en el *Release* '99 es el nuevo Acceso de Radio Terrestre para UMTS (UTRA) el cual es una interfaz de radio WCDMA para comunicaciones terrestres. El UTRA soporta división de tiempo bidireccional (TDD) y división de frecuencia bidireccional (FDD).

La principal ventaja de UMTS es la capacidad de soportar altas velocidades de transmisión de datos de hasta 144 Kbps sobre vehículos a gran velocidad, 384 Kbps en espacios abiertos y 2 Mbps en lugares de baja movilidad, esto mas el soporte del Protocolo de Internet (IP), hace posible prestar servicios de multimedia interactivos y nuevas aplicaciones de banda ancha, como servicios de video telefonía y video conferencia.

### **4.3 Arquitectura de la red celular UMTS**

La red UMTS esta compuesta por tres elementos principales, el equipo del usuario (UE), la red de acceso de radio terrestre para UMTS (UTRAN) y la red central. Cada uno de los elementos anteriores se subdivide en varias partes, algunas de ellas se encuentran dentro de la arquitectura de las redes GSM debido a la compatibilidad que debe existir entre ambos sistemas y otras son propias de la arquitectura del UMTS. Es importante hacer notar que la interfaz entre el UE y la red UTRAN es la tecnología WCDMA. En la figura 27 se muestra la arquitectura detallada de una red UMTS.

**Figura 27. Arquitectura de la red UMTS**



### 4.3.1 Equipo de usuario (UE) *User Equipment*

Es el equivalente de la estación móvil utilizada en las redes GSM, únicamente que con mayor capacidad de transporte de datos y calidad de voz, además este es capaz de acceder a la red UTRAN mediante la tecnología WCDMA para establecer la comunicación con otro móvil, con la PSTN o interactuar con redes GSM y GPRS, en transmisiones de voz y datos.

El UE incluye al equipo móvil (ME) *Mobile Equipment* y a uno o más USIMs (UMTS *Suscriber Identity Module*), el cual es el elemento clave para establecer conexión con la red UMTS.

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

El estándar UMTS no limita la funcionalidad del equipo de ninguna manera. Los UEs interactúan con el nodo B a través de la interfaz aérea por medio de distintos tipos de identificadores, los cuales fueron tomados directamente de las especificaciones del GSM, como el IMSI, el MSISDN y el IMEI entre otros.

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

1. Modo de operación por Conmutación de Paquetes y Conmutación de Circuitos (PS/CS) *Packet Swirtched/Circuits Switched*, el UE se comunica utilizando los dominios PS y CS, que se encuentran en la red central, operando simultáneamente en ambos.
2. Modo de operación por Conmutación de paquetes (PS), el UE se comunica utilizando únicamente el dominio PS, operando servicios de este nada más.
3. Modo de operación por Conmutación de circuitos (CS), el UE se comunica utilizando únicamente el dominio CS, operando servicios de este nada mas.

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

#### **4.3.2 Red de acceso de radio terrestre para UMTS (UTRAN) UMTS *Terrestrial Radio Access Network***

El UTRAN es la parte de la red UMTS que proporciona la conexión entre los terminales móviles (UE) y la red central (NC). Esta se encuentra formada por los controladores de radio de red (RNC) *Radio Network Controller* y los nodos B, estos permiten gestionar la capacidad del sistema para mantener una conexión continua entre el terminal móvil y la red, lo cual se realiza por medio de la microdiversidad y la macrodiversidad. La *microdiversidad* consiste en recibir señales provocadas por la propagación multitrayecto, ahorrando potencia tanto en el móvil como en la estación base así como también permite la comunicación simultánea de un móvil con varios sectores de un nodo B, por otra parte la *macrodiversidad* es la comunicación simultánea de un móvil con varios nodos B, lo cual ayuda a evitar interferencias.

El RNC en conjunto con sus nodos B correspondientes recibe el nombre de Subsistema de Radio de la Red (RNS). Puede haber más de un RNS presente en una UTRAN.

La UTRAN está basada en el sistema CDMA de banda ancha (WCDMA), con dos técnicas de acceso distintas. La primera basada en FDD que utiliza dos portadoras de 5 MHz y la segunda basada en TDD para cuando se encuentre solo una en disposición. El sistema tiene una velocidad de chip de 3.84 Mcps, y un período de trama de 10 ms con 15 intervalos de 0.667 ms de duración cada uno.

Hay cuatro interfaces conectando el UTRAN internamente o externamente a otras partes funcionales de la red:

1. La interfaz Iu, es externa y conecta el RNC al CN
2. La interfaz Uu, es externa y conecta al nodo B con el UE
3. La interfaz Iub, es interna y conecta al RNC con el nodo B
4. La interfaz Iur, es interna la mayoría de veces, aunque en algunos casos puede ser utilizada como interfaz externa dependiendo de la arquitectura de la red. El Iur conecta dos RNCs entre si

#### **4.3.2.1 Nodo B**

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

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

La tarea principal del nodo B es la conversión de datos entre él y la estación móvil a través de la interfaz de radio Uu, dicha conversión incluye la corrección de errores (FEC) *Forward Error Correction*, el ajuste de la tasa de transmisión, la dispersión y agrupación de la señal transmitida por medio de WCDMA y la modulación QPSK sobre la interfaz aérea.

El nodo B manda información hacia el RNC de la calidad y el nivel de la señal, determinando de esta forma la tasa de error de la trama (FER) *Frame Error Rate*, para combinar el *handover* y la macrodiversidad, así como también permite ajustar la potencia del UE usando los comandos de control de potencia de transmisión (TPC) *Transmission Power Control*, en el canal de *downlink* por medio del control de potencia de lazo interno en base a la información del TPC del *uplink*. Los valores predefinidos para el control de potencia son procesados y enviados desde el RNC. Este puede trabajar en los modos FDD y TDD por lo que es responsable del *softer handover* en el modo FDD.

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

- a) Interfaz aérea de transmisión y recepción
- b) Modulación y demodulación
- c) Codificación del canal físico de WCDMA
- d) Microdiversidad

- e) Manejo de errores
- f) Control de potencia de lazo cerrado en el *uplink*
- g) Reportar las mediciones de interferencia en el *uplink* y la información de la potencia en el *downlink*

#### **4.3.2.2 Controlador de la red de radio (RNC) *Radio Network Controller***

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

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

En la UTRAN los RNCs son conectados unos con otros utilizando la interfaz Iur, que tiene como función principal manejar totalmente los recursos de radio, de manera que ese procedimiento ya no sea realizado por la red central (NC). La interfaz Iur permite movilidad continua, de manera que el cambio de un RNS a otro no es perceptible para el usuario debido a la macrodiversidad.

El RNC se encarga del *handover* suave o *softer handover*, el cual se lleva a cabo manteniendo una comunicación con varios nodos B y asociando esto con el uso de un receptor *rake* para proporcionar la microdiversidad necesaria para eliminar el desvanecimiento de la señal. La función principal de un RNC es mantener la conexión entre la red central y el equipo del usuario, aun cuando este se encuentre en movimiento.

Dependiendo de la función que desempeñe un RNC puede tomar diversos roles los cuales son explicados a continuación.

*RNC controlador o CRNC.* Este se encarga de todos los recursos lógicos que el nodo B utiliza. Entre sus funciones está administrar la información del sistema, administrar los canales comunes, controlar la congestión y la carga de las celdas, controlar el acceso y distribuir códigos para los nuevos enlaces de radio en las celdas. Solo existe un CRNC para un determinado nodo B.

*RNC servidor o SRNC.* Este se encarga de la conexión entre una unidad móvil y el RNC, sus principales funciones son, mapear los parámetros para el enlace de radio, controlar la potencia, macrodiversidad y decisión de *handover*.

*Drift RNC o DRNC.* Este se encarga de apoyar al SRNC con recursos de radio en el caso de conexiones con macrodiversidad. Si una conexión entre el UE y su SRNC se lleva a cabo por medio de otro nodo B conectado a un RNC diferente, este RNC se conoce como DRNC.

Las principales funciones que realiza el RNC son:

1. Control de los recursos de radio
2. Control de admisión
3. Asignación de Canal
4. Ajustes del control de potencia
5. Control de los *handovers (soft handover)*
6. Macrodiversidad
7. Codificación
8. Señalización de transmisión
9. Control de potencia de lazo abierto para minimizar interferencia
10. Control de los recursos lógicos
11. Manejo del tráfico de los canales comunes
12. Control de potencia para el *downlink*
13. Manejo de los reportes
14. Manejo del tráfico en los canales compartidos
15. Manejo de códigos de dispersión en el *downlink*
16. Manejo de bases de datos para la unidad móvil e información específica de células
17. Funciones de seguridad de UTRAN
18. Difusión de la información del sistema para notificar acerca de las condiciones individuales de las células

### **4.3.3 Núcleo de Red (CN) *Core Network***

El núcleo de red o red central, es la parte de la red que establece la comunicación entre las múltiples secciones de la red de acceso. Esta soporta servicios basados en la conmutación de circuitos (CS) y conmutación de paquetes (PS).

Por medio de la red central, el UMTS puede conectarse con otras redes de telecomunicaciones, por lo que la comunicación no es realizada únicamente entre los usuarios móviles de la red UMTS, sino también con los que se encuentran conectados a otras redes.

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

#### **4.3.3.1 Dominio de conmutación de circuitos**

Esta parte interna de la red central también recibe el nombre de Red Central de Circuitos (CCN) *Circuit Core Network*. La CCN realiza las funciones principales de conmutación de circuitos y se encarga de que los usuarios de la red UMTS puedan comunicarse entre si y con otras redes.

El dominio de conmutación de circuitos (CCN) esta formado por las siguientes partes:

a) Unidad de Adaptación de Tasa y Transcodificación (TRAU) *Transcode and Rate Adaptation Unit*

El TRAU es el dispositivo que toma los paquetes de voz de UMTS y los convierte en paquetes estándar de voz ISDN de 64 Kbps. En UMTS esta funcionalidad es parte de la red central.

b) El Centro de Conmutación Móvil de Tercera Generación (MSC) *Movil Switching Center*

Esta parte del núcleo de la red, es utilizada por el BSS de la red GSM y por el RNS de la UTRAN, ya que ambos pueden estar conectados en el mismo MSC. Esto cumple con uno de los objetivos del 3GPP que es incorporar la red UTRAN en la red GSM. El MSC se conecta al BSS a través de la interfaz A y al RNS a través de la interfaz Iu-CS. Una red central puede estar constituida por uno o varios MSCs.

El MSC coordina las funciones de señalización y distribución requeridas para el manejo de los servicios de conmutación de circuitos en las llamadas, hacia y desde todos los usuarios de UMTS que se encuentran operando en su área. El MSC controla la función de *paging* o sea la petición de mensajes entrantes, además transfiere los parámetros de codificación del VLR al UTRAN para habilitar la codificación sobre la interfaz de radio.

c) Registro de Posición Base (HLR) *Home Location Register*

El HLR es la base de datos de la red usada para el manejo permanente de los usuarios móviles. Una PLMN puede contener uno o varios HLRs.

Este almacena información de los datos de suscripción en UMTS que permiten el enrutamiento de llamadas o mensajes hacia el MSC o hacia el SGSN donde se encuentra registrado el UE.

#### **4.3.3.2 Dominio de conmutación de paquetes**

Este dominio esta formado por las siguientes partes:

- a) **Nodo de Soporte de Servicio GPRS (SGSN) *Serving GPRS Support Node***  
Al igual que el MSC esta parte de la red central tiene conexión con el BSS de GSM y el RNS del UTRAN. El SGSN solicita información al HLR de la ubicación del UE a través de la interfaz Gr. Este realiza el ajuste y el enrutamiento de las sesiones de datos encargándose también de las operaciones de seguridad y control de acceso.

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

El SGSN cuenta con un software que provee la interoperabilidad entre las redes IP y las redes celulares estándar.

b) **Nodo de Soporte de la Puerta de Enlace de GPRS (GGSN) Gateway GPRS Support Node**

El GGSN provee el punto de interconexión con redes externas de datos por paquetes (PDN) *Packet Data Networks*, para que la PLMN soporte al sistema UMTS. Esta interconexión utiliza la interfaz Gi.

El GGSN puede estar conectado a uno o a varios SGSNs a través de la interfaz Gn. La función del registro de posición en el GGSN es almacenar la información de las suscripciones de los usuarios y los datos de enrutamiento. Esta información es recibida por el HLR y por el SGSN a través de las interfaces Gc y Gn respectivamente, estableciendo un túnel de tráfico de paquetes de datos hacia el UE, por medio del SGSN a donde el UE está registrado. Tanto el SGSN como el GGSN tienen enrutamiento IP y se pueden interconectar por medio de *routers* IP.

#### **4.3.3.3 Otros elementos de la red central**

Los siguientes elementos también forman parte de la red central.

a) **El VLR**

Este contiene todos los datos del usuario requeridos para el manejo de la llamada y otros propósitos para los usuarios móviles que se encuentran localizados en el área controlada por el VLR. Cuando el UE entra en una nueva área de ubicación es registrado por medio del MSC, este a su vez transfiere al VLR la identidad del área donde el UE se encuentra, para completar el registro. El VLR puede estar encargado de una o varias áreas del MSC.

b) El AuC (Centro de Autenticación)

El centro de autenticación es la base de datos que contiene las claves secretas de los usuarios de la red y los algoritmos de seguridad. Este genera información segura para la autenticación y la codificación.

Por razones de seguridad el AuC a menudo tiene una interfaz interna con el HLR. Sin embargo esta es una elección de implementación. Es decisión del HLR iniciar los algoritmos de seguridad localizados en el AuC.

El AuC transmite los datos requeridos para la autenticación y codificación a través del HLR hacia el VLR, el MSC y el SGSN los cuales necesitan autenticar al UE.

c) El EIR (Registro de la Identidad del Equipo)

Este es la base de datos que guarda los IMEIs utilizados en una red GSM o UMTS, para controlar el acceso de los equipos móviles. El MSC consulta al EIR para determinar el estado del equipo del usuario basado en el IMEI obtenido de el.

d) Puerta de enlace del MSC (GMSC) *Gateway MSC*

Si una red entrega una llamada a la PLMN esta no puede consultar al HLR, entonces la llamada telefónica es trasladada a un MSC. Este MSC consulta al HLR correspondiente y traslada la llamada al MSC donde el equipo del usuario esta ubicado. El MSC que realiza la función de enrutamiento a la actual ubicación del UE es llamado GMSC.

## 4.4 Interfaces y protocolos del UMTS

Para el correcto funcionamiento de la red es necesario el direccionamiento adecuado de datos y voz, así como también el control de la realización de las funciones necesarias para que la comunicación se lleve a cabo con éxito. Para esto 3GPP ha establecido las interfaces necesarias y una serie de protocolos, que serán tratados a continuación.

### 4.4.1 Interfaces para el UMTS

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

a) Interfaces de la red de acceso, compuestas por:

1. Interfaz del Usuario del UMTS (Uu) UMTS *User Interface*  
Esta es la interface entre un nodo B y el equipo del usuario. Esta es dependiente de la tecnología utilizada en la interfaz de radio.
2. Interfaz del nodo B del UMTS (Iub) UMTS *Node B interface*  
Esta es la interface entre un RNC y sus nodos B.
3. Interfaz del RNC del UMTS (Iur) UMTS *RNC interface*  
Esta es la interface entre dos RNCs. Esta ha sido determinada para soportar funciones específicas tales como *handover* sin tener que involucrar a la red central.

b) Interfaz de la red de acceso a la red central, formada por:

1. Interfaz del UMTS (Iu) UMTS *interface*

Esta es la interface entre la red central y la red de acceso. La red central puede ser conectada a diferentes redes de acceso usando la interface Iu.

c) Interfaces de la Red Central

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

**Tabla VIII. Interfaces de la red central del UMTS**

Nombre de la Interfaz	Descripción de la interfaz de la red central
B	Interfaz entre el MSC y el VLR
C	Interfaz entre el MSC y el HLR
D	Interfaz entre el HLR y el VLR
F	Interfaz entre el MSC y el EIR
Ga	Interfaz entre el SGSN y la función de cobro de la puerta de acceso (CFG) <i>Charging Gateway Function</i> por propósitos de facturación
Gc	Interfaz entre el HLR y el GGSN
Gf	Interfaz entre el SGSN y el EIR
Gi	Interfaz entre el GGSN y el Internet
Gn	Interfaz basada en IP que es entre el SGSN y el GGSN
Gp	Interfaz basada en IP que es entre SGSNs en diferentes PLMNs. Este es usado para soporte de <i>handover</i> inter-SGSN
Gr	Interfaz entre el SGSN y el HLR
Gs	Interfaz entre el SGSN y el MSC
Iu	Interfaz entre la red de acceso y la red central
Iu CS	Circuito conmutado, variante de la interface Iu. La Iu-CS es una evolución de la interfaz A de GSM. Interfaz entre el RNC y el MSC
Iu PS	Paquete conmutado, variante de la interfaz Iu. La Iu-PS reemplaza a la interfaz Gb de GPRS por servicios UMTS. Interfaz entre el RNC y el SGSN

#### 4.4.2 Protocolos del UMTS

Los protocolos para el UMTS están divididos en dos partes:

1. Protocolos de la UTRAN
2. Protocolos de la Red Central

La UTRAN posee cuatro protocolos principales, que son:

1. Protocolo de Aplicación de la Red de Acceso de Radio (RANAP) *Radio Access Network Application Protocol*

Este protocolo es usado entre el RNC y la red central (en los dominios PS o CS) es decir sobre la interfaz Iu. Este se utiliza para manejar el acceso de radio, transportar información de señalización de la capa inaccesible entre el UE y el CN, realizar las peticiones de *paging* del CN al UE, controlar los métodos de seguridad y reportar la ubicación.

2. Protocolo de Aplicación del Nodo B (NBAP) *Node B Application Protocol*

Este protocolo es usado entre un RNC y sus nodos B, es decir sobre la interfaz Iub. Sus funciones principales son: el manejo de la configuración de la celda, el manejo y supervisión de los enlaces de radio, el manejo de la información del sistema, el manejo de los canales comunes, la sincronización (TDD) y el manejo de mediciones.

3. Protocolo de Aplicación del Subsistema de la Red de Radio (RNSAP) *Radio Network Subsystem Application Protocol*

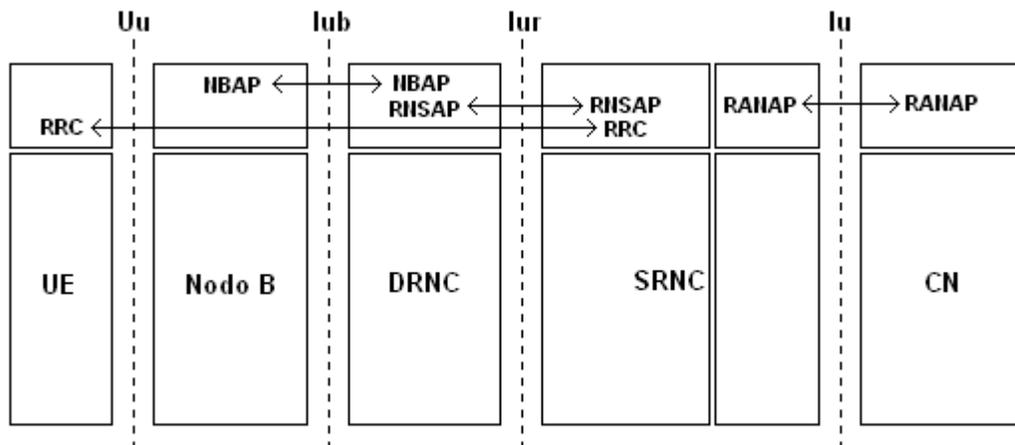
Este protocolo es usado entre dos RNCs, para manejo del enlace de radio, reconfiguración del canal físico, reubicación del SRNC, medición de los recursos dedicados, *paging* y transporte compartido de los recursos del canal

4. Protocolo de Control de Recursos de Radio (RRC) *Radio Resource Control*

Este maneja la señalización del nivel de control sobre la interfaz Uu entre el UE y el UTRAN. Entre las funciones que realiza el RRC están: la transmisión de información, el manejo de las conexiones entre el UE y la UTRAN, el manejo de las propiedades de radio, el control de codificación, el control de potencia de lazo abierto, la protección de la integridad del mensaje y *paging*.

En la figura 28 se muestra la relación de los protocolos de aplicación con las interfaces principales de la red UMTS.

**Figura 28. Protocolos de aplicación e interfaces de la red UMTS**



Fuente: [www.iec.org](http://www.iec.org), **UMTS protocols and protocol testing**, p14.

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

1. Protocolo de Túnel de GPRS (GTP) *GPRS Tunneling Protocol*

El protocolo GTP es usado para controlar los túneles IP entre el RNC y el GGSN. Este se divide en dos túneles, uno del RNC al SGSN y el otro del SGSN al GGSN. Como el entorno de este se encuentra basado en redes IP, los nodos usan direcciones IP.

2. Protocolo del Datagrama del Usuario (UDP) *User Datagram Protocol*

El protocolo UDP es usado para controlar la pérdida de conexión de la comunicación del datagrama.

3. Protocolo de Control de Señalización de la Conexión (SCCP) *Signaling Connection Control Protocol*

El SCCP provee funciones de manejo y enrutamiento para la transferencia de mensajes, aparte del ajuste de la llamada entre puntos de señalización.

4. Protocolo de transferencia de mensajes (MTP) *Message Transfer Protocol*

Este se encarga del enrutamiento básico de la señalización de mensajes, de la discriminación y distribución de los mismos únicamente para enlaces punto a punto..

5. Parte de Aplicación de la Red de Acceso de Radio (RANAP) *Radio Access Network Application Protocol*

RANAP es usado por las interfaces Iu-CS e Iu-PS. Algunos de los procedimientos de RANAP son conexiones orientadas y por lo tanto el SCCP del sistema de señalización es usado.

6. Protocolo del Usuario de ISDN (ISUP) *ISDN User Protocol*

El ISUP se utiliza entre el servidor de llamadas y el PSTN, puede requerir servicios del SCCP para ciertos tipos de configuración, pero generalmente es usado el protocolo de transferencia de mensajes directamente.

## 4.5 Espectro

La cantidad de ancho de banda necesaria para los servicios de tercera generación se encuentra entre 15 y 20 MHz, lo cual comparado con los 200 KHz usados para las comunicaciones de segunda generación es un incremento de 500 veces la cantidad del ancho de banda requerido. Es por esto que el espectro de radio se ha convertido en un recurso preciado por lo que alrededor del mundo desde las televisoras hasta el ejército quieren espectro provocando la escases de este.

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

Las decisiones tomadas por el Comité de Radiocomunicaciones Europeo sobre las especificaciones para el esquema del espectro del UMTS fueron dadas a conocer el 29 de noviembre de 1999, entre las importantes están:

1. La banda de frecuencia de operación en modo FDD es de 1920 a 1980 MHz en pareja con 2110 a 2170 MHz.
2. El espaciado de la portadora de FDD entre operadores públicos debe ser de 5 MHz como mínimo.

3. Las bandas de frecuencia de 1900 a 1920 MHz y de 2010 a 2025 MHz, son bandas sin pareja para la operación en modo TDD.
4. La banda de frecuencia de 2010 a 2020 MHz es identificada para aplicaciones auto suministradas operando en modo auto coordinado.
5. La banda de frecuencia de 1920 a 1980 MHz puede ser usada para operaciones de TDD.
6. El espaciado de la portadora para TDD entre aplicaciones auto provistas y publicas es de un mínimo de 4.8 MHz.
7. El espaciado de la portadora de TDD entre operadores públicos debe ser de 5 MHz como mínimo.
8. El espaciado de la portadora de TDD entre aplicaciones auto suministradas es de un mínimo de 4.4 MHz, basado en una trama de 200 KHz.

El sistema UMTS especifica por lo tanto las bandas de 1900 a 2025 MHz y 2110 a 2200 MHz para las transmisiones de tercera generación. Los servicios satelitales usan las bandas de 1980 a 2010 MHz para el canal de *uplink* y de 2170 a 2200 para el canal de *downlink* mientras que para las bandas terrestres son usadas las bandas de 1900 a 1980 MHz, 2010 a 2025 MHz y 2110 a 2170 MHz.

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

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

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

Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS\\_frequency\\_bands](http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_frequency_bands).

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

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

Fuente: [http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS\\_frequency\\_bands](http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_frequency_bands).

## 4.6 Procedimientos de la capa física

En cada sistema de telefonía celular hay que tomar en cuenta varios procesos que forman parte del desempeño de la red, ya que algunos de estos pueden variar dependiendo de la técnica de modulación utilizada en la interfaz aérea, como es el caso del *handover*, o pueden ser el resultado de las características del canal, como el control de la potencia en un espectro con un gran ancho de banda. Estos procesos representan un factor de eficiencia y confiabilidad incorporados a los sistemas celulares, por lo que deben ser considerados.

### 4.6.1 Control de potencia

Los UEs utilizan el mismo canal de frecuencia a la vez para comunicarse con el nodo B, pero no todos ellos están a la misma distancia de este, lo que ocasiona que cada uno tenga pérdidas de propagación distintas. Si la potencia de transmisión de cada UE fuera igual, la señal del UE más cercano llegaría al nodo B con mayor potencia que las otras señales, quedando estas obstruidas y sin ser detectadas. Este efecto tiene el nombre de “*near-far*”.

El tamaño de las células varía dependiendo de la cantidad de tráfico, si el número de usuarios en la celda es bajo, se consigue una buena calidad incluso en los puntos lejanos al nodo B, mientras que si el número de usuarios es alto, se genera un gran nivel de interferencia provocando que el nodo B pida una reducción de potencia.

De esta manera solo los niveles de señal de los UE cercanos al nodo B tendrán buena calidad mientras que la señal de los UE que se encuentran lejos no llegara.

La función del control de potencia es hacer que todas las señales transmitidas por los UEs lleguen al nodo B con el mismo nivel de potencia, para reducir de esta manera la interferencia y maximizar la capacidad del sistema. Con esto se reduce también el consumo de energía de los UEs que se encuentran más cerca del nodo B. Este control de potencia también ocurre en el nodo B, ya que este debe utilizar su potencia de transmisión tan eficazmente como sea posible, para garantizar que habrá suficiente energía disponible para soportar a tantos usuarios en la célula como sea posible.

Existen dos formas de controlar la potencia:

1. Control de Potencia de Lazo Abierto
2. Control de Potencia de Lazo Cerrado

#### **4.6.1.1 Control de potencia de lazo abierto**

Este tipo de control es usado para seleccionar las potencias de transmisión iniciales para el *uplink* y para el *downlink* cuando el UE accesa a la red. Al momento de acceder a la red la potencia de transmisión del UE no se encuentra controlada, por lo que tiene un valor aleatorio.

Si este valor de potencia es suficiente para que la unidad móvil sea registrada en la red por el nodo B, el proceso de control inicia, de lo contrario el UE incrementa su potencia de transmisión en intervalos constantes hasta recibir la confirmación del nodo B de que la señal ha sido recibida.

Esta técnica mide la interferencia del canal para calcular y ajustar la potencia de transmisión de la parte que transmite en la red, ya sea el UE o el nodo B. Este proceso se puede hacer rápidamente, pero el cálculo puede en un momento dado ya no ser útil, debido a que la interferencia del canal puede variar de un momento a otro.

El control de potencia de lazo abierto es más utilizado en el modo TDD, debido a que el *uplink* y el *downlink* comparten el mismo canal de radio, permitiendo la información constante en este.

#### **4.6.1.2 Control de potencia de lazo cerrado**

Este método es capaz de corregir los impredecibles desvanecimientos de Rayleigh tanto en el *downlink* como en el *uplink*, si se realiza lo suficientemente rápido, es por esto que los sistemas UMTS utilizan este tipo de control. Para lograr realizar lo anterior este método se divide en dos partes: control de potencia de lazo interno y control de potencia de lazo externo.

El control de potencia de lazo interno actúa en las bandas de *uplink* y *downlink*. Este tiene como objetivo compensar rápidamente los desvanecimientos en todos los canales físicos dedicados.

El nodo B compara la relación señal-interferencia (SIR) *Signal to Interference Ratio*, entre él y el UE, con la SIR objetivo calculada por el RNC, determinando de esta forma si la potencia del UE debe ser aumentada o disminuida. Esta operación es realizada 1500 veces por segundo.

Por otra parte el control de potencia de lazo externo, actúa en el *uplink* ajustando la SIR objetiva cada 10 ms, para el control de potencia de lazo interno. En el *downlink* el control de potencia de lazo externo regula la potencia de los canales físicos dedicados ya que los usuarios reciben distintos niveles de interferencia de las demás celdas en función de su posición, obteniendo de esta manera una SIR fija.

#### **4.6.2 Handovers del UMTS**

En UMTS el *handover* (HO) se produce cuando no se puede mantener una calidad de servicio aceptable en la llamada, debido a interferencia o por sobrecarga de tráfico en la celda. La decisión de HO es generalmente tomada por el RNC, a menos de que el HO sea debido a sobrecarga de tráfico, en donde la decisión es tomada por el MSC.

Los tres tipos de *handover* usados en UMTS son:

1. *Soft Handover*
2. *Softer Handover*
3. *Hard Handover*

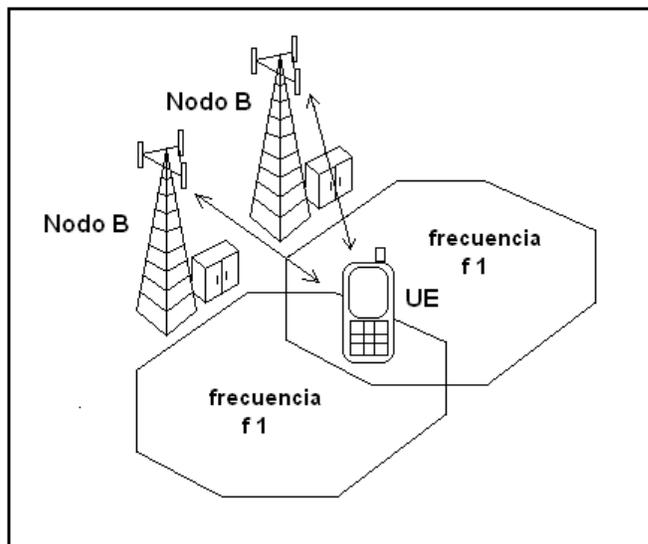
#### 4.6.2.1 *Soft handover*

El *soft handover* ocurre cuando una llamada establecida en el UE es trasladada antes de que se termine, entre un nodo B y otro. El UE puede estar en relación con varios nodos B al mismo tiempo, posiblemente controlados por diferentes RNCs.

Como el *handover* trabaja en la misma banda de frecuencias no se producen microcortes. El *soft handover* ocurre dentro de la UTRAN, coordinando los *handovers* por medio del RNC a través de la interfaz Iur utilizando el modo FDD.

En UMTS la mayoría de los *handover* intrafrecuencia son *soft handover*. El esquema del *soft handover* se puede observar en la figura 29.

**Figura 29. Soft Handover**

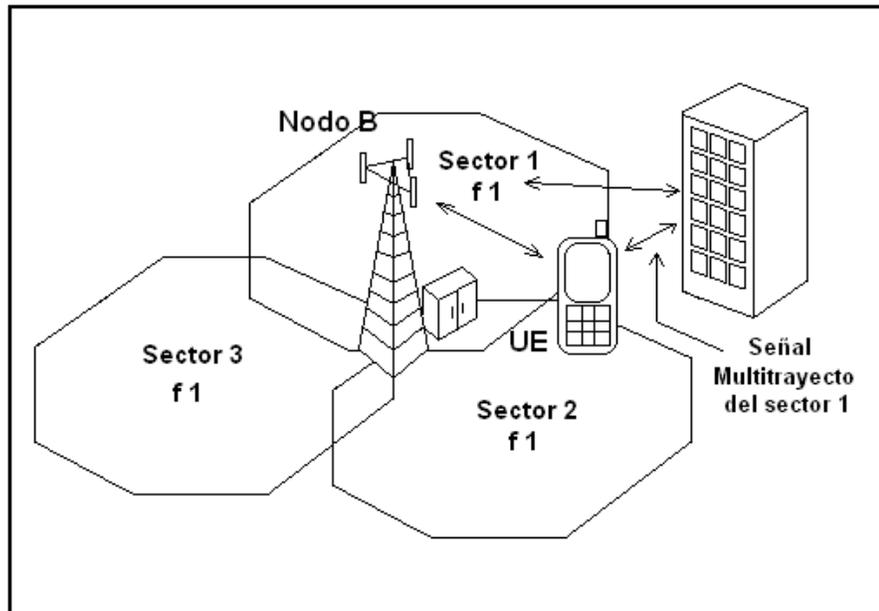


#### 4.6.2.2 *Softer handover*

Este tipo de *handover* es llevado a cabo cuando el UE pasa de un sector a otro de un mismo nodo B. El *softer handover* se realiza en la frontera de los sectores adyacentes.

Debido a las reflexiones en edificios o barreras naturales, la señal enviada de los equipos de usuario llegan a dos sectores diferentes del nodo B. Las señales recibidas durante el *softer handover* son tratadas similarmente como señales multitrayectoria. En la dirección de *uplink* las señales recibidas en el nodo B son trasladadas a un mismo receptor *Rake* para luego ser combinadas. En la dirección de *downlink* la situación es ligeramente diferente ya que el nodo B utiliza diferentes códigos de *scrambling* para separar a sus diferentes sectores. De esta manera es necesario que las distintas ramificaciones del receptor *Rake* en el UE apliquen el código apropiado de asociación, en las señales recibidas por los diferentes sectores, antes de que sean combinadas conjuntamente. Debido a la naturaleza del *softer handover* hay solamente un lazo de control de potencia activo. En la figura 30 se puede observar la representación grafica del *softer handover*.

**Figura 30. Softer handover**



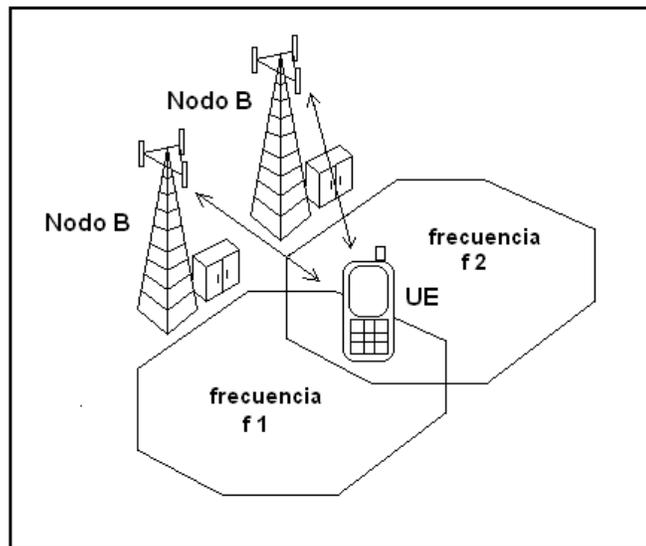
#### **4.6.2.3 Hard handover**

Es el tipo de *handover* donde la conexión se corta antes de que una nueva conexión de radio sea establecida entre el UE y la UTRAN. El algoritmo detrás de este tipo de *handover* es relativamente simple. El UE realiza un *handover* cuando el nivel de la señal de alguna de las células vecinas excede el nivel de la señal de la célula a la que se encuentra conectado el móvil, con respecto a un límite asignado. En UMTS el *hard handover* es utilizado para cambiar la banda de radiofrecuencia de la conexión entre el UE y la UTRAN.

Cada operador de UMTS tiene la posibilidad de exigir espectro adicional a manera de incrementar su capacidad cuando cierto nivel de uso de la red sea alcanzado. En este caso varias bandas de aproximadamente 5 MHz pueden estar funcionando por un solo operador, resultando la necesidad de realizar *handovers* entre ellas.

El *hard handover* es también aplicado cuando el UE pasa de una célula a otra dentro de la red UMTS y no es posible realizar el *soft* o el *softer handover*. Normalmente el *hard handover* es realizado solo por razones de cobertura y tráfico, mientras que el *soft* y el *softer handover* son los principales recursos del respaldo de movilidad. El *hard handover* se puede ver en la figura 31.

**Figura 31. Hard Handover**

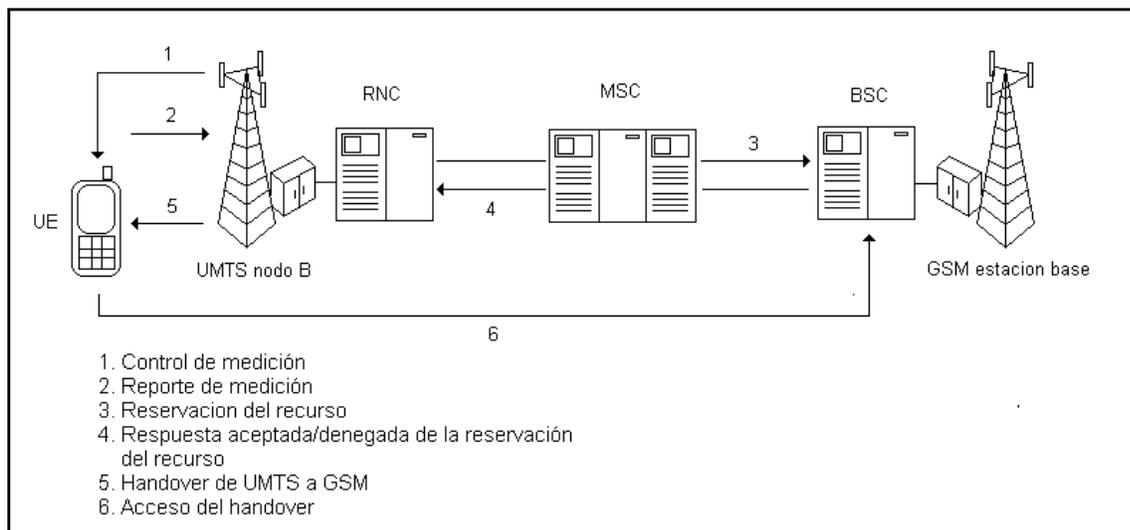


#### 4.6.2.4 Handover inter-sistemas

Los *handovers* inter-sistemas son necesarios para soportar la compatibilidad entre las redes de acceso de UMTS y GSM. En la fase de desarrollo inicial de las redes 3G, es común que las áreas rurales no tengan cobertura de las redes UMTS, por lo que las redes GSM deberán ser usadas para proveer cobertura en estas áreas.

El procedimiento general realizado para llevar a cabo el handover entre una la red UMTS y una red GSM se muestra en la figura 32.

**Figura 32. Procedimiento de *handover* inter-sistemas de una red UMTS a una red GSM**



Fuente: Stijn Van Cauwenberge, *Study of soft handover in UMTS*, p31.

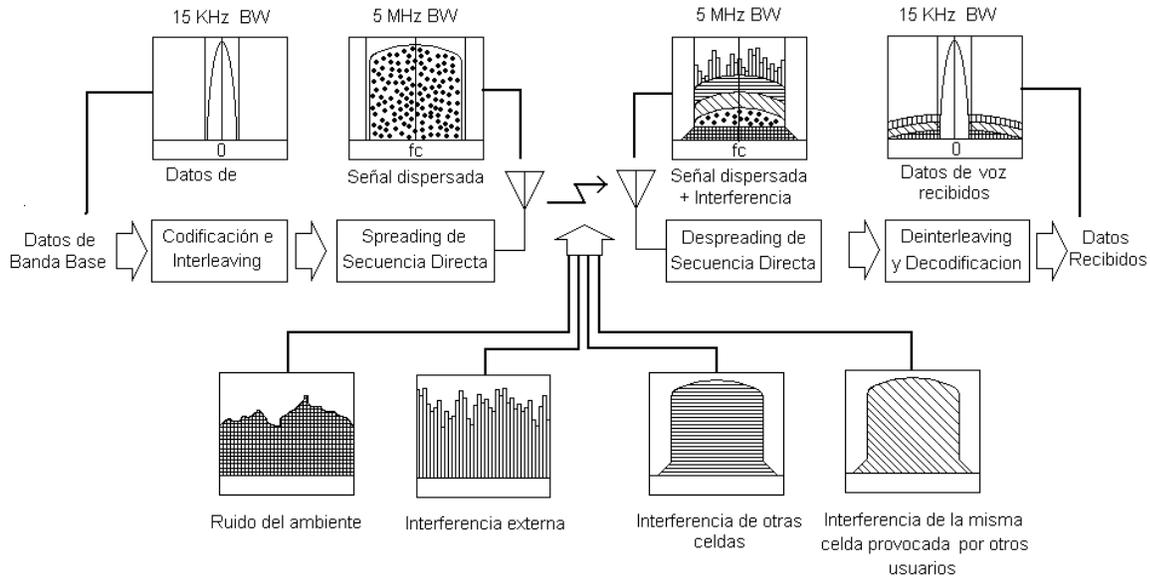
Antes de trasladar la comunicación a cualquier otro sistema, hay necesidad de realizar una medición de la frecuencia utilizada por el sistema al que será trasladada la comunicación. Esto se lleva a cabo por medio del UE si este posee un receptor dual completo, de lo contrario cuando no hay un receptor dual completo disponible, la transmisión y la recepción son suspendidas por un corto tiempo para realizar las mediciones de las otras frecuencias. Esto se realiza por medio del modo comprimido, el cual consiste en comprimir los datos transmitidos en dominio del tiempo sin perder nada de información y logrando formar un intervalo de transmisión en el cual las mediciones son hechas.

Luego es enviada una petición de reservación de recurso por medio del RCN hacia al MSC, este verifica el estado del sistema al que se va a trasladar la comunicación, mediante el BSC, el cual envía una respuesta de la reservación del recurso. Si la respuesta fue positiva es llevado a cabo el *handover* entre la red UMTS y la red GSM, de lo contrario el proceso se repite, verificando inicialmente si el nivel de la señal de la red UMTS no ha mejorado.

#### **4.7 Proceso de dispersión (*Spreading*)**

*Spreading* o dispersión, significa incrementar el ancho de banda de la señal más allá del ancho de banda requerido para acomodar la información en el canal. En la figura 33 es mostrado el proceso de dispersión para la transmisión de una señal en banda base así como el proceso inverso.

**Figura 33. Proceso de dispersión**



Fuente: **WCDMA spreading**, [www.umtsworld.com](http://www.umtsworld.com)

WCDMA utiliza dispersión de secuencia directa, la cual consiste en combinar la información de banda base con un código binario de alto porcentaje de chips, para aumentar el ancho de banda de los datos de la banda base antes de que sean transmitidos.

El receptor utiliza el mismo código binario para recuperar la señal original, la cual pasa luego por un filtro pasa banda. Los códigos de dispersión están formados por secuencias de unos y ceros diseñadas cuidadosamente, de tal manera que la velocidad de los códigos sea mucho mayor que la velocidad de los datos en banda base, por lo menos del doble. La velocidad de un código de dispersión es llamada velocidad de chip.

Las ventajas de dispersar la señal son:

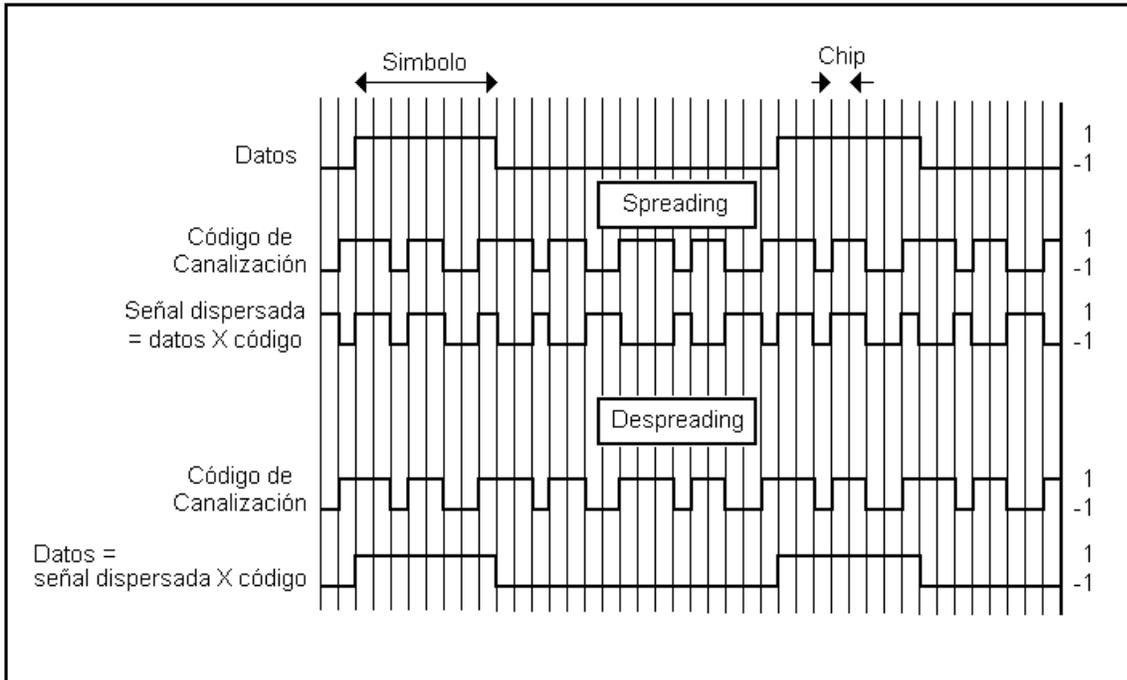
- a) Seguridad,
- b) Resistencia a la interceptación
- c) Resistencia al desvanecimiento multitrayectoria.

El proceso de dispersión consta de dos operaciones para la UTRAN, la canalización, en la cual se utilizan códigos ortogonales y el *scrambling* (tratado al principio de este capítulo) en el cual se utilizan códigos de pseudo-ruido.

#### **4.7.1 Canalización**

Este proceso basado en la técnica de Factor de Dispersión Variable Ortogonal OVVSF, consiste en multiplicar una secuencia de datos por un código de canalización, para transformar cada símbolo de datos en un número de chips, incrementando de esta manera el ancho de banda de la señal. Estos códigos deben ser ortogonales entre sí de manera que la correlación entre ellos sea cero, para asegurar que cuando los datos individuales sean multiplicados por el código de canalización únicamente puedan ser decodificados si se posee el código exacto, como lo muestra la figura 34.

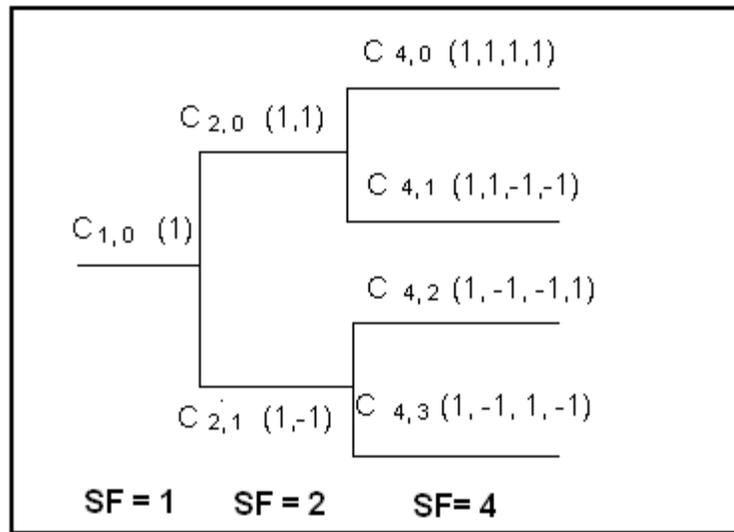
**Figura 34. Canalización de datos**



Fuente: Tero Isotalo, **Optimal antenna downtilting in WCDMA based networks**, p34.

Los códigos de canalización se utilizan en el *uplink* y en el *downlink*. Estos conservan las propiedades de ortogonalidad entre los canales físicos de diferentes usuarios. La creación de estos códigos se basa en un algoritmo el cual produce arboles de códigos, como el mostrado en la figura 35, en donde cada nivel define un código de canalización con longitud SF (Factor de dispersión).

**Figura 35. Árbol de códigos de canalización**



Fuente: Peter Chong, **WCDMA physical layer**, Diapositiva 8

La UTRAN utiliza valores de factores de dispersión (SF) entre 4 y 512. Por ejemplo, un SF de 4 significa que por cada dato de la señal existen cuatro chips en el código de dispersión y el ancho de banda de la señal resultante es cuatro veces mayor al original. Dos códigos que pertenecen a la misma ruta hacia la raíz del árbol, no se pueden utilizar simultáneamente, lo cual limita el número de códigos de canalización que dependen de la velocidad y el factor de dispersión de cada canal físico.

La señal se recupera utilizando el código correcto utilizado para la canalización. Un código erróneo da como resultado ruido en el proceso de recuperación, aunque en un sistema completamente ortogonal, esto no debería de suceder. Sin embargo en la práctica siempre existe ruido en el sistema, por lo que se utiliza el control de potencia para reducirlo.

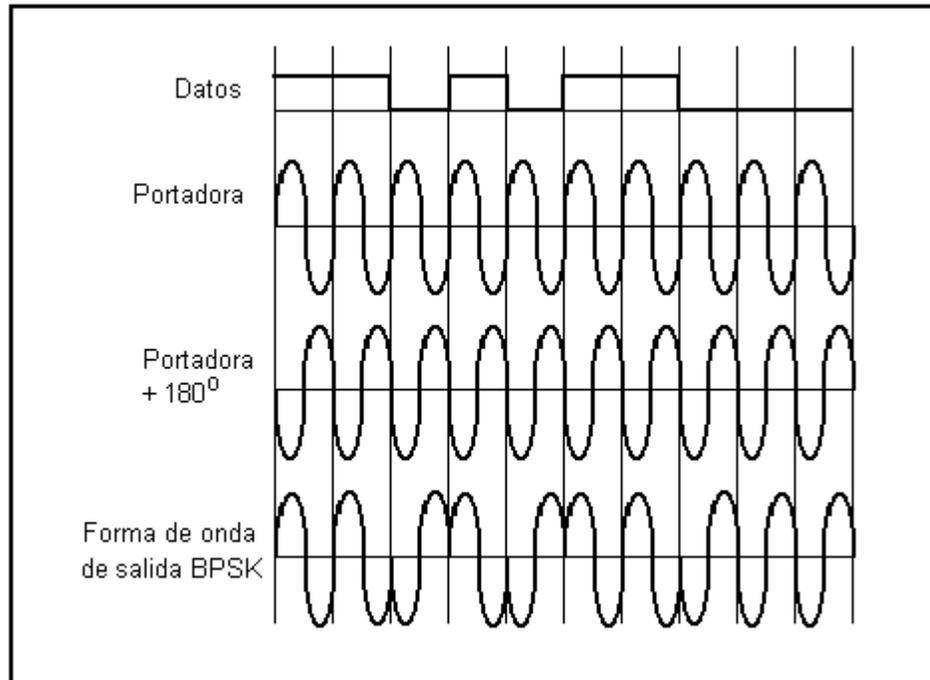
## **4.8 Técnicas de modulación**

El UMTS utiliza dos tipos de modulación: BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) y QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) ambas derivadas de la modulación PSK (*Phase Shift Keying*).

### **4.8.1 Modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK)**

En este tipo de modulación son posibles dos fases de salida para una sola frecuencia portadora, una representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180 grados fuera de fase como puede ser observado en la figura 36.

**Figura 36. Modulación BPSK**



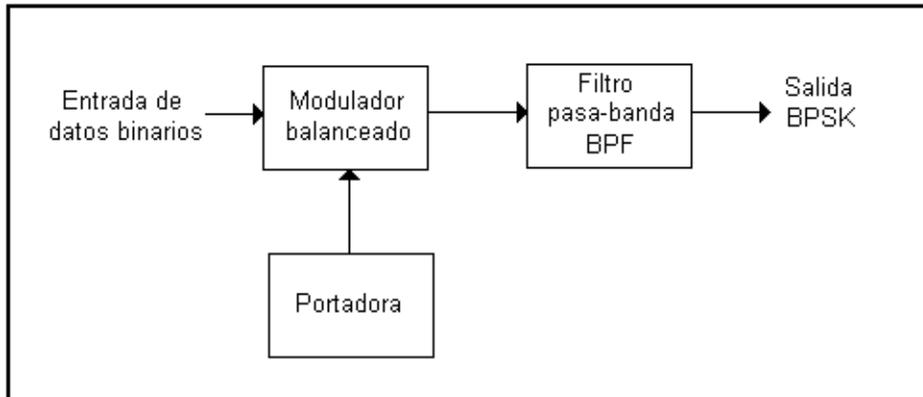
Fuente: Randy Katz, **Digital modulation**, Diapositiva 12.

La señal transmitida BPSK puede ser escrita, sin contar las pérdidas de la siguiente forma.

$$V_{BPSK}(t) = b(t) \cos \omega_c t$$

El transmisor BPSK tiene un modulador balanceado el cual actúa como un conmutador para invertir la fase. Dependiendo de la condición lógica de la entrada digital, la portadora se transfiere a la salida ya sea en fase cuando la entrada digital es un 1 lógico, o 180 grados fuera de fase cuando la entrada digital es un 0 lógico, con respecto al oscilador de la portadora de referencia. En la figura 37 se puede ver el diagrama a bloques de un transmisor BPSK.

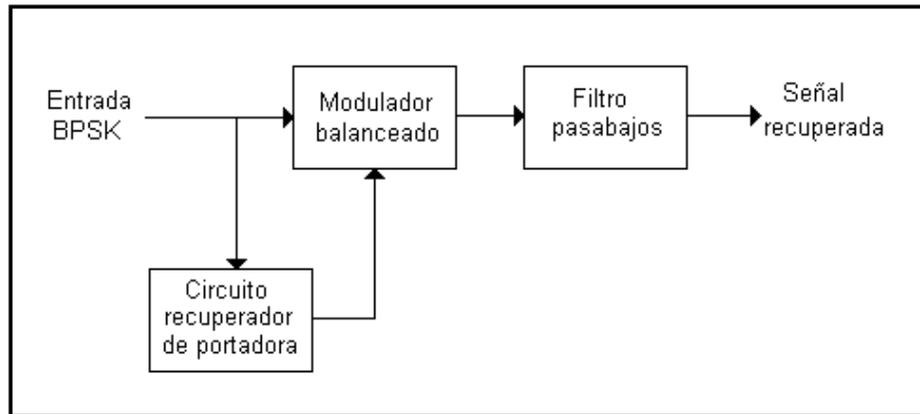
**Figura 37. Transmisor a bloques BPSK**



Fuente: **Modulación digital: FSK-PSK-QAM**, [www.electronicafacil.net](http://www.electronicafacil.net)

El receptor BPSK recibe la señal transmitida y la envía a un modulador balanceado y a un circuito de recuperación de portadora. Este circuito de recuperación detecta y regenera una señal de portadora similar en fase y frecuencia a la portadora original del transmisor. El modulador balanceado es usado como detector de producto, siendo su salida el producto entre la señal BPSK recibida y la portadora recuperada. Como se necesita solo la parte continua entonces se utiliza un filtro paso-bajo (LPF) para separar los datos binarios de la señal demodulada. En la figura 38 se muestra un receptor BPSK en bloques.

**Figura 38. Receptor a bloques BPSK**



Fuente: **Modulación digital: FSK-PSK-QAM**, [www.electronicafacil.net](http://www.electronicafacil.net)

BPSK es utilizado para la modulación de datos en el *uplink* en los sistemas UMTS.

#### **4.8.2 Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) *Quadrature Phase Shift Keying***

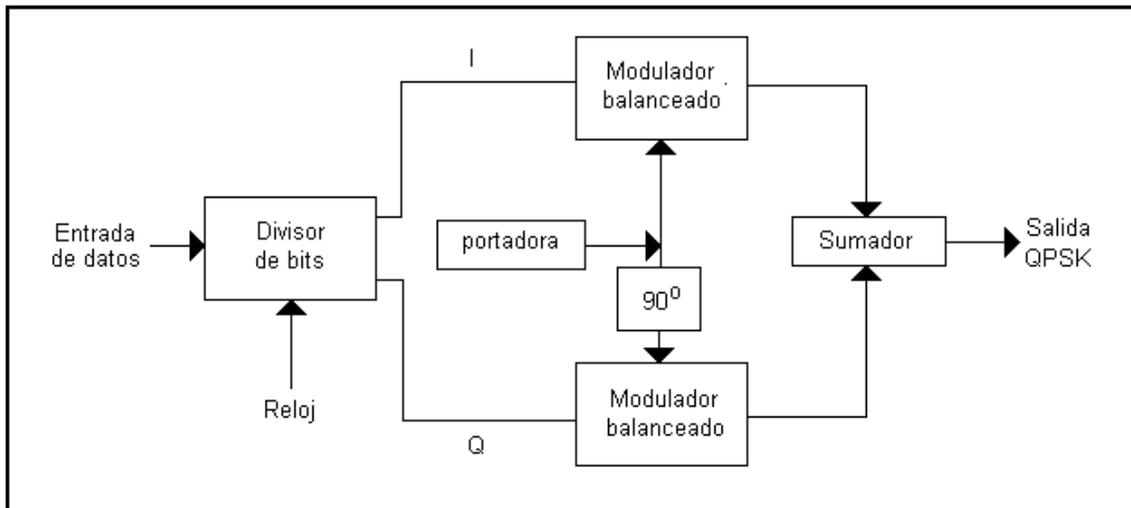
Es una forma de modulación digital en donde son posibles cuatro fases de salida diferentes. Como la cantidad de fases de salida depende de los cambios de entrada se debe tener por lo tanto cuatro entradas diferentes, esto se logra por medio del uso de dos bits en lugar de uno, que nos dan las condiciones: 00, 01, 10 y 11. Estos grupos de 2 bits son llamados dibits. Por cada dibit introducido al modulador, ocurre solo un cambio de salida, por lo que se tiene el doble de eficiencia en ancho de banda en comparación con BPSK.

QPSK se puede generar combinando dos señales BPSK en cuadratura como lo muestra la siguiente formula.

$$V_{QPSK}(t) = I \cos \omega_c t + Q \sen \omega_c t$$

En donde I es la secuencia de datos BPSK en fase y Q es la secuencia de datos BPSK en cuadratura. La figura 39 muestra un transmisor QPSK en bloques.

**Figura 39. Transmisor QPSK**



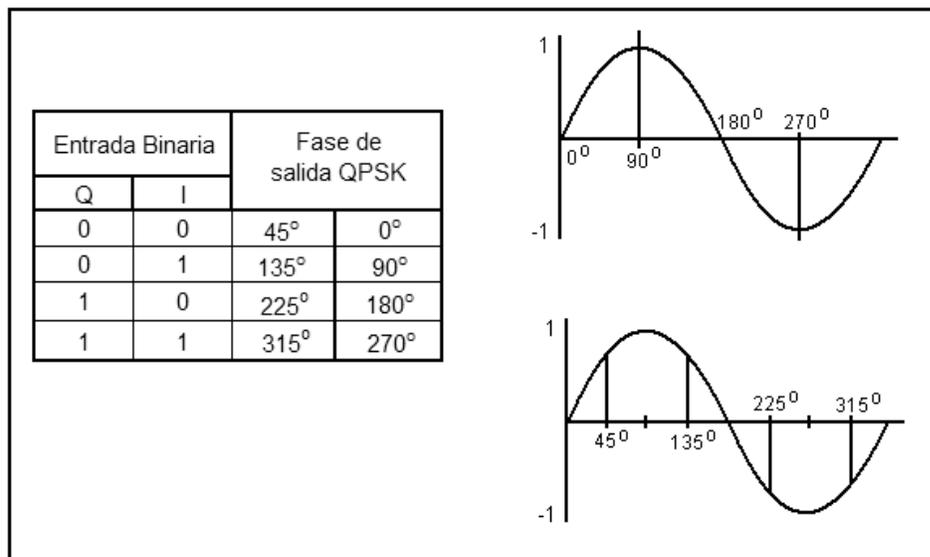
Fuente: Enrique Hernández, **Sistemas de telecomunicación**, Tema 5 p7.

Como se aprecia en la figura 39 los dibits (que son los bits de la señal de datos agrupados en parejas) se introducen en un divisor de bits el cual los recibe en forma serial y los convierte en dos secuencias de bits en paralelo.

Cada secuencia de bits es ingresada a un modulador balanceado, una secuencia modula una portadora que se encuentra en fase con la portadora de referencia y el otro modula una portadora que se encuentra 90 grados fuera de fase o en cuadratura con respecto a la portadora de referencia. Las salidas respectivas de cada modulador son ingresadas a un sumador que da como resultado la señal QPSK.

Las fases de salida con respecto a los bits de entrada pueden variar dependiendo de su implementación como se muestran en la figura 40.

**Figura 40. Combinación de datos binarios y fases de salida respectivas para QPSK**



## 4.9 Codificación de Canales

Tres tipos de canales han sido definidos dentro de UTRAN:

### 1. Canales lógicos

Estos son utilizados para diferentes clases de servicios de transferencia de datos. Cada tipo de canal lógico es definido por el tipo de información que transporta. No son canales en si, sino “tareas” que deben realizarse entre el móvil y la red en instantes determinados. Entre los canales lógicos están: canal de control de transmisión (BCCH), canal de control de *paging* (PCCH), canal de control común (CCCH), canal de control dedicado (DCCH), canal de trafico común (CTCH) y canal de trafico dedicado (DTCH).

Varios canales lógicos pueden ser multiplexados en un canal de transporte.

### 2. Canales de transporte

Estos se encargan de especificar como debe ser organizada la información según su uso. Esto es logrado en base a como y con que características se transmite la información. Todos los canales de transporte son unidireccionales, entre ellos están: canal compartido de *downlink* (DSCH), canal de acceso en adelanto (FACH), canal de transmisión (BCH), canal de *paging* (PCH), canal de acceso aleatorio (RACH), canal de paquetes comunes (CPCH) y canal dedicado (DCH).

Un canal de transporte puede llevar varios tipos de canales lógicos.

### 3. Canales físicos

Este tipo de canal establece el formato que tendrá la información para su transmisión sobre interfaz aérea, definiendo las características físicas exactas del canal de radio como códigos y frecuencias portadoras.

En GSM la estructura de canales físicos era conocida en la BTS, en UMTS el RNC solo logra ver los canales de transporte y lógicos, debido a que los canales físicos solo existen en la interfaz de radio. Entre los canales físicos están: canal físico dedicado de datos (DPDCH), canal físico de acceso aleatorio (PRACH), canal físico de paquetes comunes (PCPCH), canal físico primario de control común (P-CCPCH), canal físico compartido de *downlink* (PDSCH), canal físico de control dedicado (DPCCH), canal de control piloto (CPICH), canal de sincronización (SCH), canal de indicador de adquisición (AICH), canal de indicación de *paging* (PICH).

El propósito de la codificación de canal es proteger la información en contra de los efectos nocivos del canal, como ruido, interferencias, multipropagación, etc., para mejorar la calidad de la transmisión.

Dependiendo de la calidad del servicio requerida en términos del retraso y del porcentaje de bits erróneo, la UTRAN utiliza diferentes esquemas de codificación los cuales son:

- a) Convolucional
- b) Turbo Código
- c) Sin codificación

La codificación convolucional es mas simple que el turbo código y presenta un retraso de proceso menor, aunque ofrece menor protección que el turbo código. La utilización de cada esquema y tasa de codificación para los diferentes canales de transporte se muestra en la tabla XI.

**Tabla XI. Utilización de los esquemas de corrección de errores.**

Canal de transporte	Codificación
BCH	Convolucional
PCH	
RACH	
CPCH, DCH, DSCH, FACH	Turbo código
	Sin codificación

Fuente: [www.privateline.com/3G/WCDMA.pdf](http://www.privateline.com/3G/WCDMA.pdf), **WCDMA**, p190.

Los códigos convolucionales son usados para detectar errores y corregirlos operando continuamente sobre las tramas de datos. Estos poseen memoria que les permite que los bits de salida no dependan totalmente de los bits de entrada, es decir que puedan predecir algunos bits de entrada. Un código convolucional puede ser descrito usando el formato  $(n, k, m)$  donde  $n$  es el número de bits de salida por palabra de datos,  $k$  es el número de bits de entrada y  $m$  es la longitud de la memoria.

Los turbo códigos han sido encontrados muy eficientes ya que pueden operar muy cerca del limite descrito por la ley de Shannon, la cual nos especifica que para cada ancho de banda, tipo de canal, potencia de la señal y potencia de ruido recibido, hay un limite superior teórico sobre la tasa de transmisión de datos.

En los turbo códigos la salida del proceso de decodificación es usada para ajustar la entrada de datos. Este proceso iterativo mejora la calidad de la salida del decodificador.

El codificador turbo tiene un porcentaje de codificación de  $1/3$ , esto quiere decir que por cada bit de entrada es producido un bit sistemático de salida y dos bits de paridad. Este se utiliza para servicios de alto porcentaje de datos. Como comparación, el sistema GSM usa codificación convolucional convencional en combinación con códigos de bloques, este varia su porcentaje de salida con respecto al tipo de entrada, siendo este regularmente de  $1/2$ .



## **5. GSM vrs. UMTS**

### **5.1 Beneficios, servicios y características del GSM**

GSM cuenta con una serie de beneficios, servicios y características que brindan una idea general de la capacidad del sistema así como también sirven de fundamento para efectuar las comparaciones necesarias con otros sistemas de telefonía celular.

#### **5.1.1 Beneficios**

Los beneficios se dividen en: beneficios para el usuario y beneficios para el operador:

Entre los beneficios para el usuario están:

- a) Cobertura: GSM se encuentra distribuido en mas de 179 países, brindando a los usuarios servicios de voz de alta calidad así como servicios de valor agregado, permitiendo por medio del roaming que sean usados ya sea en su país o fuera de el.

Por supuesto esto tiene algunas limitantes ya que cada país debe contar con el mismo operador de telefonía celular para que el *roaming* pueda realizarse fácilmente, de lo contrario el usuario tendría que comprar una tarjeta nueva tarjeta SIM o ir a las oficinas del operador del lugar donde se encuentre para poder registrar el número e ingresar a la red.

- b) Selección: El usuario tiene la capacidad de seleccionar, el dispositivo móvil que se ajuste a su vida cotidiana, entre una gran diversidad de dispositivos con diferentes funciones y precios, debido a la gran demanda mundial de los mismos.
- c) Calidad de voz: El sistema provee claridad de voz en las llamadas tanto en la transmisión como en la recepción, ya que esto aun es el principal motivo por el cual la gente utiliza la tecnología inalámbrica, además la conexión y el marcado son más rápidos.
- d) Flexibilidad: Es la facilidad con que los clientes pueden cambiar su teléfono celular sin la molestia de tener que configurar nuevamente su equipo ni perder sus servicios de suscripción, todo esto gracias a la implementación de la tarjeta SIM. Esta tarjeta también facilita al usuario el cambio de operador GSM, manteniendo el mismo teléfono.
- e) Servicios innovadores: Entre ellos se encuentra el Servicio de Mensajes Cortos (SMS) el cual soporta mensajes de texto y tonos de llamada, así como también las habilidades de roaming que permite a los usuarios acceder a sus servicios favoritos mientras están de viaje.

- f) Seguridad: es uno de los beneficios de GSM que se obtiene en el momento de adquirir los servicios de un operador de telefonía móvil, ya que dentro de la tarjeta SIM se encuentran dos códigos de seguridad que la red utiliza como contraseña para verificar si el usuario tiene autorización de ingresar a la red y disfrutar de los servicios que esta presta.
- g) Privacidad: Esto se logra por medio de un proceso de codificación denominado “encriptación”. Este proceso permite que las comunicaciones en las redes GSM sean totalmente privadas, es decir que es imposible que alguien interfiera en la conversación o descifre la información que esta siendo transmitida por la interfaz aérea.

Entre los beneficios del operador están:

- a) Economías de escala: Por ser la tecnología más popular en el mundo esta requiere grandes cantidades de terminales e infraestructura, lo cual atrae a proveedores y desarrolladores de aplicaciones mientras que se reducen los costos. Si los costos generales son inferiores los operadores GSM pueden brindar precios más competitivos para sus servicios.
- b) Cobertura: Como GSM se encuentra disponible en la mayor parte del mundo, los operadores pueden dar por hecho que los clientes tienen acceso constante a servicios de voz de alta calidad y servicios de valor agregado en el lugar donde se encuentren.
- c) Flexibilidad: Los sistemas GSM pueden trabajar en diversas bandas entre las cuales están: 850, 900, 1800 y 1900 MHz, lo que representa múltiples opciones de despliegue para los operadores.

Las normas GSM permiten interoperabilidad entre las infraestructuras y los dispositivos de múltiples fabricantes, lo que brinda a los operadores diversas opciones al momento de seleccionar algún equipo.

- d) Eficiencia: GSM tiene una capacidad siete veces mayor que la tecnología AMPS y utiliza el espectro de una manera mas eficiente. Aunque sus actualizaciones proveen un incremento adicional de casi tres veces más llamadas de voz simultaneas.
- e) Capacidad de actualizarse: GSM fue realizado para ser el primer paso hacia las redes de tercera generación, proveyendo compatibilidad en sentido regresivo para preservar las inversiones de los clientes a lo largo de la actualización. El 3GPP y 3G Américas son los encargados de dictar las normas que rigen la capacidad de actualización e interoperabilidad
- f) Inviolabilidad: Esta se realiza por medio de un proceso llamado autenticación, en el cual la red puede detectar si la persona que esta haciendo uso de la tarjeta SIM es un usuario autorizado o no. Gracias a esta función en GSM no es posible la clonación.

### **5.1.2 Servicios**

Aparte de los beneficios que brinda GSM hay una gran cantidad de servicios. Un servicio de telecomunicaciones se define como un conjunto de capacidades y facilidades que el operador ofrece a los usuarios. Estos servicios se dividen en tres clases:

1. Servicios Portadores, entre los que se encuentran:
  - a) Transmisión de información a distintas velocidades
  - b) Acceso a redes publicas de datos
  - c) Transmisión de voz y datos durante una llamada
  - d) Selección de modem
  - e) Soporte de solicitud automática de retransmisión
  
2. Teleservicios, entre los que se encuentran:
  - a) Llamadas de emergencia
  - b) Servicios de mensajes cortos (SMS)
  - c) Manejo de los mensajes y servicios de almacenamiento
  - d) Acceso a videotexto
  - e) Transmisión de teletexto
  - f) Transmisión de Fax
  
3. Servicios Suplementarios, entre los que se encuentran:
  - a) Servicios de identificación de números de llamada
  - b) Servicios de ofrecimiento de llamadas
  - c) Servicios de completamiento de llamadas
  - d) Servicios multiusuario
  - e) Servicios de interés comunitario
  - f) Servicios de cobro
  - g) Servicios de transferencia adicional de información
  - h) Servicio de restricción de llamadas

Algunos de los servicios que son agregados a los anteriores por la innovación de la red GSM a GPRS son:

- a) Servicios WAP (Protocolo de aplicaciones inalámbricas)
- b) Servicios MMS (Mensajería instantánea multimedia)
- c) Servicios de Chat
- d) Conexión a internet permanente
- e) Establecimiento instantáneo de la conexión
- f) Posibilidad de que la facturación del servicio sea realizada según la cantidad de información transmitida o recibida, en vez de ser contabilizado el tiempo que se esta conectado
- g) Una mayor velocidad de transmisión de datos

### **5.1.3 Características**

Las características del sistema GSM fueron tratadas en los capítulos previos por lo que las más relevantes son listadas a continuación en la tabla XII

**Tabla XII. Características de GSM**

<b>Característica</b>	<b>GSM</b>
Tecnología de acceso múltiple	TDMA
Modos de operación	FDD
Modulación	GMSK
Velocidades	9.6 Kbps sistema básico 114 Kbps GPRS 384 Kbps EDGE/GPRS
Ancho de banda del canal	200 KHz
Tasa de chip	no aplicable
Bandas de frecuencia	850, 900, 1800 y 1900 MHz
Espectro utilizado	30 MHz full dúplex
Número de canales	125 radiocanales en el sistema básico trabajando en la banda de 900 MHz
Diversidad de frecuencia	salto de frecuencia lento
Control de potencia	convencional
Duración de la trama	4.615 ms
Intervalo de tiempo	577 $\mu$ s
Codificación y decodificación de voz	RPE-LTP o EFR
Tasa de transmisión	270 Kbps
Factor de re uso de frecuencias	1-18
Control de calidad	planificación de red
<i>Throughput</i> promedio esperado para el usuario	35 a 40 Kbit/s
Autenticación	por medio de tarjeta SIM
División de la trama	8 intervalos
<i>Handover</i>	<i>hard handover</i>

## **5.2 Beneficios, servicios y características del UMTS**

UMTS también tiene un conjunto de beneficios, servicios y características que lo distinguen de los demás sistemas celulares y que nos muestran el avance de la telefonía celular en la actualidad.

### **5.2.1 Beneficios**

Al igual que GSM los beneficios del UMTS se dividen en: beneficios para el usuario y beneficios para el operador.

Entre los beneficios para el usuario están:

- a) Velocidad: UMTS teóricamente alcanzara velocidades de datos de hasta 2 Mbps, aunque en las redes ya implementadas las velocidades pico se encuentran en alrededor de 350 Kbps. Esta velocidad es suficiente para soportar servicios que utilizan un gran ancho de banda como lo son la transferencia de archivos de gran tamaño y video conferencia.
  
- b) Una conexión siempre activa: UMTS provee una conexión a internet constante, de manera que el usuario no necesita conectarse cada vez que desea tener acceso y puede recibir servicios de notificaciones en tiempo real y en menos tiempo que con GPRS.

- c) Valor: Como UMTS es una tecnología de transmisión de datos por paquetes, los usuarios solo pagan por los datos enviados en lugar de pagar por el tiempo utilizado para establecer una conexión con un servidor, con tarifas mas bajas.
  
- d) Disponibilidad: A octubre de 2006, 142 operadores de 61 países ya habían implementado UMTS en sus redes celulares y se encuentran actualmente prestando sus servicios los cuales en su mayoría son países asiáticos y europeos. Además casi 300 operadores alrededor del mundo se encuentran comprometidos con la implementación de UMTS.
  
- e) Compatibilidad: UMTS es compatible con los sistemas avanzados de GSM como lo son EDGE y GPRS. Esto quiere decir que si un usuario se encuentra conectado a cualquiera de estas redes y la cobertura de la red a la que va conectado termina, este puede conmutar a cualquiera de las otras dos redes disponibles dependiendo de la disponibilidad de las mismas y del ancho de banda necesario para realizar la aplicación, de manera que el usuario tenga siempre servicios de datos en paquetes a su disposición.
  
- f) Roaming: UMTS es la tecnología de 3G que tiene las mayores opciones de roaming debido a la cantidad de operadores alrededor del mundo, que poseen o se encuentran adquiriendo sus servicios. Teniendo en cuenta que en caso de que un usuario se traslade a uno de los países que no cuenta con UMTS fácilmente podría conmutar a una red GPRS o EDGE.

g) Calidad de servicio (QoS): UMTS utiliza mecanismos sofisticados para asegurar que cada tipo de servicio de datos reciba la cantidad exacta de espectro y recursos que necesite, es decir que entre una videoconferencia y un correo electrónico simple, la videoconferencia tiene mayor prioridad de ancho de banda.

Entre los beneficios para el operador están:

a) Facilidad de actualización: Esto beneficia a los operadores que ya cuentan con una infraestructura de redes de datos en paquetes como GPRS o EDGE, ya que estas pueden ser reutilizadas, permitiendo que la actualización sea tan sencilla como agregar software UMTS y tarjetas de canales a la infraestructura existente. Por el contrario si la red existente es una red muy antigua requerirá mucho más, como renovación de equipo e implementación de nuevos programas e infraestructura.

De lo anterior dependerá de que el operador pueda establecer precios más competitivos en los servicios de 3G.

b) Eficiencia en el uso del espectro y flexibilidad: UMTS se encuentra disponible en todo el mundo en varias bandas del espectro como lo son: 850, 900, 1700, 1800, 1900, 2100 y 2600 MHz. Esta gran selección de bandas es de beneficio para los operadores ya que brinda una mayor flexibilidad.

Un ejemplo de esto es: si se necesita dar cobertura a zonas rurales en lugares distantes, se puede utilizar una red UMTS en 850 MHz ya que a menor frecuencia las señales recorren mayores distancias.

El uso del espectro es altamente eficiente debido al uso combinado de las tecnologías WCDMA y TDMA las cuales permiten que en un canal único de 5 MHz puedan manejar más de 100 llamadas de voz y una cantidad mayor de sesiones simultáneas de datos.

- c) **Compatibilidad:** Es importante la compatibilidad existente entre las redes UMTS y las redes EDGE o GPRS para los clientes empresariales. Esto le permite al operador enrutar cada tipo de tráfico por la red mejor equipada para manejarlo. Por ejemplo un mensaje de texto de poco ancho de banda podría correr sobre una red GPRS, liberando la red UMTS para servicios de alto ancho de banda como la utilización de servicios de video.
- d) **Volúmenes:** UMTS es la tercera generación de la evolución de GSM, lo cual representa una gran cantidad de clientes en todo el mundo, por lo que el tamaño del mercado se traduce en altos volúmenes de infraestructura y dispositivos UMTS para el usuario. Una regla en los negocios es que entre mas grande es el volumen mas se reducen los costos.
- e) **Investigación y Desarrollo:** La introducción de nuevos sistemas como lo es UMTS permite la inversión en la construcción de tecnología y evolución para el futuro, la cual se encuentra asegurada por miles de millones de clientes.
- f) **Control de calidad:** La calidad del servicio es la clave para un servicio que apunta a usuarios empresariales, ayudando a retener clientes y a reducir la necesidad de fijar precios mas bajos para atraer nuevos clientes en reemplazo de los que se pierden.

g) Diseño con miras al futuro: UMTS también se encuentra diseñado para soportar la transmisión de voz sobre el protocolo de internet, conocido también como VoIP, la cual es la etapa final de la visión de UMTS, en donde la voz y los datos viajan sobre la misma infraestructura de paquetes, reduciendo los costos ya que no se necesitan infraestructuras separadas para voz.

### **5.2.2 Servicios**

UMTS ofrece una gran cantidad de nuevos servicios debido a su alto desempeño en el manejo de voz y datos, utilizándose en muchas áreas de desarrollo y siendo muy atractivos para los usuarios, aparte de los que ofrece normalmente GSM los cuales son mejorados en velocidad y calidad. A continuación son listados algunos de los servicios, clasificados dependiendo de los intereses del usuario

- a) Servicios de comunicación, entre los cuales están: videotelefonía, videoconferencia, localización personal, respuesta de voz y reconocimiento de voz.
- b) Servicios de entretenimiento, entre los cuales están: música, juegos, videoclips y visita de lugares de interés de forma virtual.
- c) Servicios de información, entre los cuales están: navegador de internet, compras interactivas, periódico en línea, traducción en línea, localización basada en servicios de radio, búsqueda inteligente y facilidades de filtrado.

- d) Servicios de negocios, entre estos están: oficina móvil, grupos de trabajo virtual y televisión empresarial de reparto limitado.
- e) Servicios de educación, entre los cuales están: escuela virtual, laboratorio de ciencias en línea, biblioteca en línea, laboratorios de lenguaje en línea y cursos de entrenamiento.
- f) Servicios comunitarios, entre los cuales están: llamadas de emergencia, servicios de administración y procedimientos democráticos.
- g) Servicios de finanzas, entre los cuales están: banca virtual, facturación en línea, tarjeta universal USIM y tarjeta de crédito.
- h) Servicios de telemática, entre los cuales están: control remoto y logística del transporte por carretera.
- i) Servicios especiales, entre los cuales están: telemedicina, servicios de monitoreo de seguridad, línea de ayuda inmediata y administración personal.

### **5.2.3 Características**

Las características del sistema UMTS fueron tratadas en los capítulos previos por lo que las más relevantes son listadas a continuación en la tabla XIII.

**Tabla XIII. Características de UMTS**

<b>Característica</b>	<b>UMTS</b>
Acceso múltiple	WCDMA
Modos de operación	FDD o TDD
Modulación	QPSK
Velocidades	144 Kbps a alta velocidad 384 Kbps a velocidad media 2 Mbps en interiores o a baja velocidad
Ancho de banda del canal	5 MHz
Tasa de chip	3.84 Mcps
Bandas de frecuencia	850, 900, 1700, 1800, 1900, 2100 y 2600
Diversidad de frecuencia	espectro dispersado ( <i>spread spectrum</i> )
Control de potencia	protocolos de lazo cerrado y lazo abierto
Duración de la trama	10 ms
Intervalo de tiempo	667 $\mu$ s
Codificación y decodificación de voz	AMR y SID
Factor de re uso de frecuencias	1
Control de calidad	algoritmos de gestión de recursos de radio
<i>Throughput</i> promedio esperado para el usuario	200 a 300 Kbit/s
Autenticación	por medio de tarjeta USIM
División de la trama	15 intervalos
Espectro utilizado	15 MHz <i>full duplex</i> para FDD y 5 MHz para TDD por licencia, aunque el espectro es de: 60 MHz FDD <i>full dúplex</i> y 35 MHz TDD
Número de canales	30 canales FDD <i>full dúplex</i> y 7 canales TDD
<i>Handover</i>	<i>soft handover, softer handover y hard handover</i>
Número de chips por intervalo	2560 chips

### 5.3 Diferencias en procesos debido a la técnicas de acceso

Los sistemas GSM y UMTS efectúan procesos comunes sobre la interfaz aérea, los cuales son afectados dependiendo de la técnica de acceso utilizada, como es el caso de TDMA y WCDMA tratadas en capítulos anteriores.

Entre los procesos afectados se encuentran los *handovers*, la diversidad debida a señales multitrayectoria y la asignación de jerarquía celular.

El *handover* es una de las características principales de un sistema celular, ya que de él depende que la comunicación sea continua en cualquier dirección a la que se dirija el móvil. En GSM el *handover* intercelular es una operación muy demandante, ya que una vez que se han hecho las mediciones y se ha llegado a la decisión de ejecutar el *handover*, el móvil deja de transmitir momentáneamente, lo cual si no es realizado con cuidado puede provocar la pérdida de la llamada. Por su parte UMTS tiene un factor de re-uso de 1, es decir que los nodos B transmiten en todos los canales, esto representa un problema ya que un UE no sabría discriminar cual es la señal que le corresponde. Para solucionar esto se utilizan los códigos de *scrambling*, en donde cada código identifica a un nodo B.

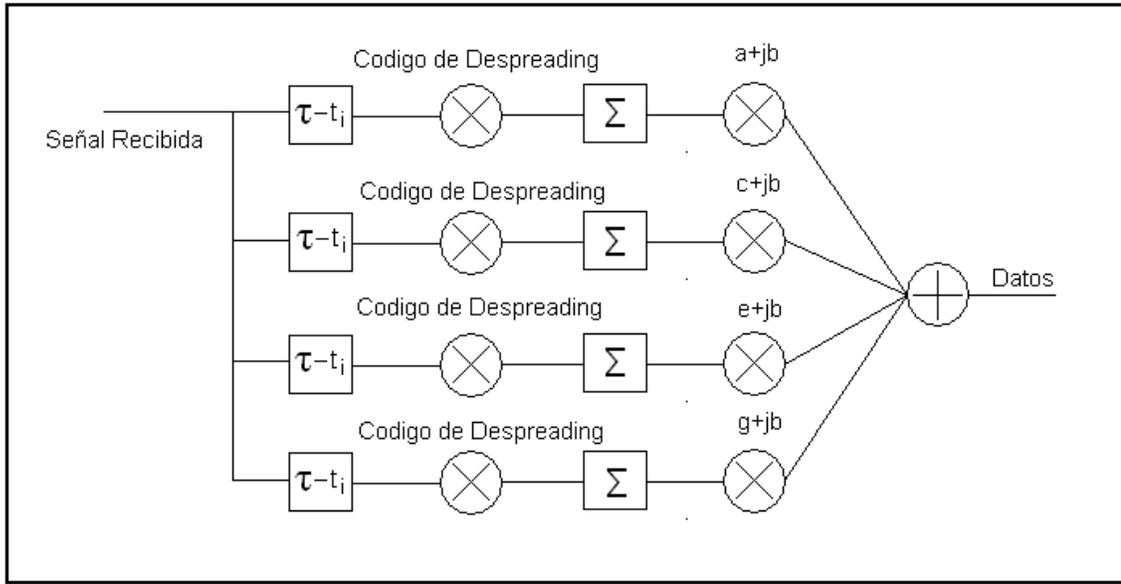
A diferencia del GSM que solo tiene un tipo de *handover*, el UMTS tiene cuatro, de los cuales el *soft handover* y el *softer handover* proporcionan las ventajas necesarias.

En el caso del soft handover cada nodo B está identificado por un código de *scrambling*, el cual solo debe ser cambiado dentro del proceso de ensanchado para que el UE atienda a las transmisiones de un nuevo nodo B, este proceso no afecta en ningún momento la transmisión y no es percibido por el usuario. Con el *softer handover* ocurre lo mismo solo que se da entre sectores del mismo nodo B.

Otra diferencia mas entre los dos sistemas es la manera en que manejan la diversidad debida a señales multitrayectoria. La diversidad debida a señales multitrayectoria se produce cuando una señal atraviesa lugares con una alta densidad de casas, edificios o cualquier elemento natural, de manera que al chocar con ellos se refleja tomando diferentes trayectorias, llegando por lo tanto al móvil desde distintos puntos y en tiempo diferentes. GSM usualmente capta la componente de la señal con mejores niveles, pero no puede garantizar la ausencia de errores en la misma, por lo que para reducir este efecto, la interferencia co-canal y los desvanecimientos, GSM utiliza los saltos de frecuencia o *frequency hopping*, logrando que la probabilidad del problema sea aleatorio y que los efectos sean menos notables.

Por su parte en UMTS, estas componentes multitrayectoria pueden ser combinadas para formar una señal más fuerte por medio del receptor *rake*, como se puede observar en la figura 41.

**Figura 41. Receptor *rake* de 4 dedos**



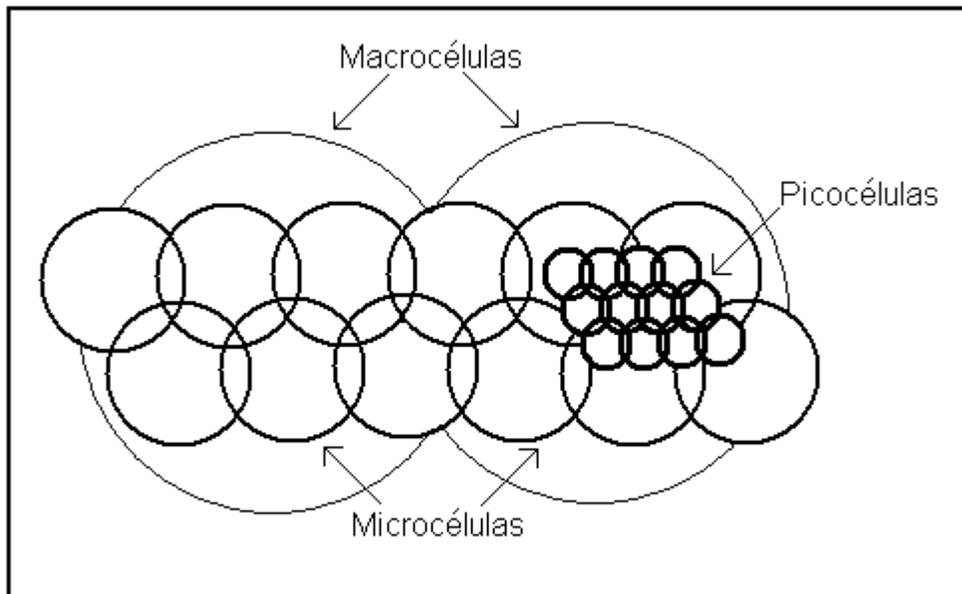
Fuente: Jack Huynh, **Behaviour modelling of wideband code division multiple access**, p58.

En este tipo de receptor la señal recibida es dividida en el caso de la figura anterior en cuatro dedos o "*fingers*". Cada una de estas señales es pasada a través de un dispositivo de retraso de tiempo con el fin de que las señales multitrayectoria se sincronicen y lleguen al mismo tiempo que la primera señal. Ya sincronizadas son pasadas por un multiplicador, el cual multiplica cada señal con la conjunción del código de dispersión y se realiza una sumatoria para reunir de nuevo la señal de datos. Antes de que todas las señales sean sumadas son desviadas en fase por separado para contrarrestar el efecto del desvío de fase del canal, según los valores calculados, usando la función de *fijar ángulo*, esto se muestra en la figura 41 como una multiplicación de un valor complejo, aunque en la realidad la señal es desviada con la ayuda de funciones matemáticas como seno o coseno.

Este tipo de receptor requiere para su funcionamiento un ancho de banda grande lo cual no es problema para UMTS ya que esto es una de las características principales. Cuando el UE se encuentra en los límites de la célula varios nodos B transmiten la misma señal hacia él, por medio del receptor *rake* el UE puede construir una señal mas fuerte, ayudando a minimizar los efectos por desvanecimientos en el traspaso de célula o cuando el móvil se encuentra en ambientes muy accidentados.

La jerarquización de células también provoca que algunos parámetros varíen. Tanto en GSM como en UMTS la jerarquización se da en una misma área geográfica utilizando cobertura de forma traslapada como se ve en la figura 42.

**Figura 42. Estructura jerárquica de las células**



Las macrocélulas se pueden utilizar para proveer servicios a usuarios que se mueven rápidamente reduciendo de esta forma la cantidad de *handovers* que se harían utilizando células mas pequeñas, las cuales son destinadas a usuarios que se mueven muy despacio. Las picocélulas se utilizan en puntos de mucho tráfico, como oficinas, edificios públicos o centros comerciales. Esto se logra al hacer que las BSSs de las macrocélulas transmitan con mayor potencia que las microcélulas y las picocélulas, mientras el sistema verifica la velocidad, dirección del móvil y el tipo de servicio solicitado. Con esto el sistema discrimina si es un usuario fijo que utiliza tasas de transmisión altas o si es un usuario de alta velocidad con servicios que utilizan tasas de transmisión bajas.

Estas mediciones no son el punto de comparación, ya que UMTS realiza las mismas operaciones para discriminar el tipo de servicio. El direccionamiento es la cuestión a tratar, una vez que se ha seleccionado que móvil es candidato para cada tipo de célula. En el direccionamiento para los sistemas GSM la red central debe estar pendiente de la potencia con que transmite la BSS, la velocidad del móvil y tomar las decisiones necesarias, lo cual significa un gran número de operaciones. En UMTS este direccionamiento se da de una forma mas sencilla, ya que solo basta asignar códigos de *scrambling* para esas células con lo que no es necesario tener una diferencia tan drástica en la potencia de transmisión de las antenas. De esta manera este efecto permite un mejor manejo de los *handovers* del sistema.

#### **5.4 Como despliega UMTS a un operador de GSM**

El primer paso que un operador de GSM debe realizar para migrar a una red UMTS, es actualizar su red para desplegar GPRS. Esto se logra agregando a la red central los nodos de soporte SGSN y GGSN, los cuales se basan en la tecnología IP, transmitiendo datos en paquetes con velocidades de hasta 115 Kbps. Como segundo paso el operador tiene dos opciones, la primera consiste en mejorar su red GPRS convirtiéndola en una red EDGE para luego implementar la red UMTS o la segunda opción que consiste en pasar de la red GPRS directamente a la red UMTS, lo cual depende de la economía del operador y de las condiciones del mercado.

Debido a que las redes de tercera generación deben estar en la capacidad de interactuar con las redes actuales, estas conservan tres componentes principales que son:

- a) La infraestructura de radio
- b) La infraestructura central de paquetes
- c) La infraestructura de conmutación de circuitos

UMTS reutiliza parte de estas infraestructuras para lograr que la actualización sea más sencilla. Dependiendo del fabricante del que se trate esto consistiría en agregar únicamente programas para el manejo de la red UMTS y tarjetas de canales a la infraestructura de radio GPRS o EDGE existentes, las cuales no serían desechadas ya que seguirían atendiendo a los clientes cuyos equipos de usuario no estén diseñados para esta tecnología.

Ya que la arquitectura de estos sistemas es modular, reduce el costo de la actualización a UMTS, ya que se implementa únicamente el equipo necesario y no se crea una nueva red desde cero, permitiendo que los operadores establezcan precios mas competitivos para los servicios de tercera generación.

Dependiendo de los objetivos del operador y su plan de negocios, inicialmente se puede implementar UMTS para cubrir las áreas urbanas, dejando a GPRS o EDGE cubriendo las zonas rurales, de manera que conforme crezca la demanda de UMTS, los operadores puedan hacer llegar en algún momento los servicios de UMTS a las áreas rurales.

La diferencia principal entre la redes GSM/GPRS con las redes UMTS es la implementación de la UTRAN. La mayor parte del equipo utilizado por la UTRAN puede ser colocado en las celdas GSM, gracias a los gabinetes multi-radio, los cuales pueden almacenar y atender simultáneamente a equipos GSM, GPRS, EDGE y UMTS reduciendo el costo y el tiempo de la implementación. Por otro lado, la mayoría de las partes de la red central de GSM/GPRS pueden ser reutilizadas por las redes UMTS.

Cuando la red UMTS ya se encuentra implementada, los operadores pueden administrar los sistemas que hay en su red, tales como GSM, GPRS, EDGE y UMTS, para lograr ahorros de costos adicionales, esto se puede realizar debido a que estas tecnologías comparten muchos aspectos, entre los cuales se encuentran:

- a) La arquitectura de datos en paquetes
- b) La arquitectura de calidad del servicio
- c) La administración de la movilidad
- d) La administración de las cuentas de los usuarios

El costo de la implementación de UMTS varia de manera significativa dependiendo de factores tales como el tamaño de la red actual o de la red que se quiere realizar, la antigüedad y el diseño de la red existente, es decir que si la infraestructura de radio actual tiene las partes y el equipo necesario para poder ser actualizada a una red UMTS, el costo es relativamente mínimo en comparación con redes en las cuales su infraestructura no tiene partes ni equipo reutilizable, lo cual aumenta de gran manera el costo de la implementación. El costo también aumentara si el operador necesita más espectro o una mayor cantidad de celdas para cubrir mejor las distintas áreas.

Como se puede observar UMTS despliega la red GSM de manera individual, es decir que si en un momento dado la cobertura de UMTS termina y existe alguna celda de GSM cubriendo el área, el UE hará *handover* a esta para mantener la llamada y el UE se limitará a los servicios que esta pueda brindarle.

## **5.5 Tecnologías de ayuda y evolución**

Si GSM fuera un sistema celular no evolutivo, no seria rival para UMTS y se vería en la obligación de implementar una red completamente nueva para poder competir contra la calidad y los servicios que ofrecen los sistemas de tercera generación. Para esto han sido desarrolladas técnicas que han colaborado para que los diversos sistemas puedan evolucionar, tal es el caso del GPRS el cual fue introducido con la finalidad de tener servicios de transmisión de datos por paquetes y el EDGE que se introdujo para mejorar las velocidades de transmisión, tanto de datos como de voz, dichos sistemas son expuestos en los capítulos 1 y 2.

Estas dos tecnologías son las más utilizadas en todo el mundo para el manejo de datos y preparan a los operadores para el despliegue de UMTS. UMTS por ahora es de lo último en telefonía celular, pero la tecnología siempre sigue avanzando y ya se piensa en las redes de cuarta generación aun sin que las de tercera generación estén totalmente en funcionamiento en todo el mundo. Por lo que desde ya se han introducido también algunas tecnologías para preparar el entorno necesario para la implementación de la cuarta generación, entre las cuales están el HSDPA y el protocolo de internet IP para telefonía celular.

### **5.5.1 Protocolo IP**

El protocolo de internet IP es un protocolo, usado tanto en el equipo de origen como en el equipo de destino para la comunicación dentro de una red de paquetes conmutados. Los datos enviados a través de una red basada en IP son enviados en bloques conocidos como paquetes o datagramas los cuales no son fiables ya que IP por sí solo no provee ningún mecanismo para determinar si un paquete alcanza o no su destino. Además este protocolo solamente proporciona seguridad a sus cabeceras y no a los datos transmitidos. Las cabeceras contienen las direcciones de las máquinas de origen y destino, que son utilizadas por los *routers* para decidir la trayectoria de la red por la que se enviarán los paquetes. De manera que la fiabilidad se consigue por medio de los protocolos de la capa de transporte como TCP, es por eso que regularmente estos dos protocolos se encuentran relacionados con el nombre de TCP/IP.

Si la información que se desea transmitir supera el tamaño máximo permitido por la red, esta se puede dividir en paquetes más pequeños y reconstruirla cuando sea necesario. Cada uno de estos de estos fragmentos puede ir por caminos diferentes dependiendo del congestionamiento de las rutas en cada momento.

TCP/IP es el protocolo común utilizado por todo tipo de equipos que desean establecer una conexión a internet. Se debe tener en cuenta que en internet se encuentran conectados una gran diversidad de equipos con *hardware* y *software* incompatibles en muchos casos, además de todos los medios y formas de conexión. Aquí es donde TCP/IP muestra una de sus grandes ventajas ya que este logra que la comunicación entre todos estos equipos sea posible.

En la actualidad, la mayoría de las máquinas conectadas a Internet operan sobre la versión 4 del protocolo IP, denominada IPv4. Sin embargo, es necesaria la progresiva migración a la versión 6 de este protocolo, denominada IPv6, también conocida como "*IP Next Generation*" (IPng). IPv6 presenta otra serie de ventajas frente a IPv4 como, por ejemplo, mejoras en seguridad y calidad de servicio.

IP ha sido utilizado por GSM desde la implementación del GPRS para el manejo del direccionamiento de los paquetes de datos, pero con un servicio muy limitado, mientras que por su parte UMTS esta desarrollado para brindar todos sus servicios en base a este protocolo.

Todos los nuevos servicios de internet móvil son controlados por este protocolo, lo cual lo convierte en la tecnología de transmisión perfecta para la tercera generación y para generaciones posteriores, ahorrando costos a través de la operación eficiente de la red.

IP es capaz de transportar datos, voz y video sin afectar la calidad ni el rendimiento. Las redes móviles dividen el uso del IP en dos niveles, el nivel de aplicación en donde IP proporciona una base para todas las aplicaciones nuevas, corriendo de punto a punto entre teléfonos móviles o entre teléfonos móviles y servidores de aplicaciones; y el nivel de transporte, que provee el transporte y la conectividad entre nodos de redes. El tipo de conectividad que brinda el protocolo IP junto con su arquitectura, aporta una gran flexibilidad y ahorro de costos a las aplicaciones de internet móvil y a los servicios de telefonía móvil.

### **5.5.2 Bluetooth**

Es un sistema desarrollado originalmente por Ericsson el cual define un estándar internacional de comunicación inalámbrica que posibilita la transmisión de voz y datos entre una gama de dispositivos fijos o móviles, por medio de un enlace de radiofrecuencia de corto alcance, es decir que elimina el uso de cables o conectores especiales. Las especificaciones del Bluetooth definen un canal de comunicación máximo de 720 Kbps y una distancia óptima aproximada de 10 m (sin obstrucciones) con el objetivo de ahorrar energía ya que generalmente estos dispositivos utilizan en su mayoría baterías.

Este rango puede ser ampliado a 100 m, lo cual es un alcance similar al de Wi-Fi, pero utilizando una cantidad considerable de energía o el uso de repetidores.

La banda de frecuencia que utiliza va de 2.4 a 2.48 GHz y se encuentra exonerada de licencia, además de estar disponible en todo el mundo. Bluetooth utiliza el salto de frecuencia, en intervalos de 1MHz obteniendo un total de 79 frecuencias disponibles, lo cual permite dar seguridad y robustez al sistema.

La potencia de salida necesaria para transmitir a una distancia de 10 m es de 1 mW, mientras que para transmitir a distancias mayores la potencia se encuentra entre 100 mW y 1 W. Para lograr alcanzar el objetivo de bajo consumo y bajo costo, se utiliza un solo chip de 9x9 mm que consume aproximadamente 97% menos energía que un teléfono celular común.

El protocolo de banda base combina conmutación de circuitos y paquetes. Para asegurar que los paquetes no lleguen fuera de orden, los slots pueden ser reservados por paquetes síncronos, en donde cada paquete utiliza un salto de señal diferente. Un solo canal puede soportar tres canales de datos síncronos (voz) o un canal de datos síncrono y uno asíncrono. Cada canal de voz puede soportar una tasa de transferencia de 64 Kbps en cada sentido, lo cual es suficiente para una buena calidad de voz, mientras que un canal asíncrono puede transmitir a 721 Kbps en una dirección y a 56 Kbps en la dirección opuesta, aunque si el enlace es simétrico en la conexión asíncrona es posible soportar 432,6 Kbps en ambas direcciones.

### 5.5.3 IEEE 802.11

Este estándar fue desarrollado por el comité IEEE para las redes LAN inalámbricas (WLAN) con el objetivo de lograr una comunicación por RF a velocidades de datos más altas. Este estándar se encuentra en constante desarrollo por medio de grupos de trabajo que se encargan de proponer y definir nuevas mejoras.

El IEEE 802.11 define varios métodos y tecnologías de transmisión para implementaciones de WLAN. Este estándar no solo engloba la tecnología de radiofrecuencia sino también la de infrarrojos. Entre las técnicas de transmisión que utiliza están:

- a) Modulación por saltos de frecuencia (FHSS)
- b) Espectro de dispersión de secuencia directa (DSSS)

La mayoría de los productos WLAN manejan velocidades de hasta 11 Mbps mediante la tecnología de RF y están basados en DSSS para la comunicación.

DSSS funciona transmitiendo simultáneamente por varias frecuencias diferentes, incrementando la probabilidad de que los datos transmitidos lleguen a su destino. Las partes de la señal son recibidas simultáneamente en distintas frecuencias del receptor, decodificando la señal completa media vez la estación receptora conozca el patrón de decodificación correcto.

El salto de frecuencia (FHSS) es una señal de banda estrecha que cambia la frecuencia de un modo rápido y continuo. El inconveniente del DSSS en relación con el FHSS es que es más vulnerable a las interferencias de la banda estrecha.

Los productos WLAN utilizan el intervalo de frecuencia de 2.4 a 2.483 GHz de la banda ISM (industrial, científica, médica) al igual que con el Bluetooth, con velocidades de datos de 1, 2, 5.5, y 11 Mbps, garantizando que no se produzcan conflictos con otros dispositivos de RF. Es decir que no se produce interferencia de RF con sistemas de telefonía inalámbrica como los teléfonos DECT europeos así como tampoco con las aplicaciones de control remoto que utilizan la frecuencia de 433 MHz.

Los productos de redes inalámbricas, estandarizados como IEEE 802.11, se han diseñado para usarse en oficinas y otros lugares de trabajo, por lo que emiten un grado reducido de energía, lo cual es inofensivo. De hecho, los niveles de energía son significativamente más bajos que las emisiones de los teléfonos GSM comunes.

Los tipos de modulación utilizados por el IEEE 802.11 dependiendo de la velocidad son:

- 1) 1 Mbps: DBPSK (modulación por desplazamiento de fase binaria diferencial)
- 2) 2 Mbps: DQPSK (modulación por desplazamiento de fase en cuadratura diferencial)
- 3) 5,5 / 11 Mbps: CCK (modulación de código complementario) o PBCC (codificación convolucional binaria de paquetes)

#### 5.5.4 HSDPA

Dado que las aplicaciones de datos se descargan en su mayoría de la red al UE, la versión 5 del UMTS introduce el HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) como primer paso en la evolución de la interfaz de radio, permitiendo alcanzar velocidades de transmisión de datos mayores a las actuales en el canal de *downlink*, mientras que en la versión 6 del UMTS aparece el HSUPA (*High Speed Uplink Packet Acces*) que permite algo similar en el canal de *uplink*.

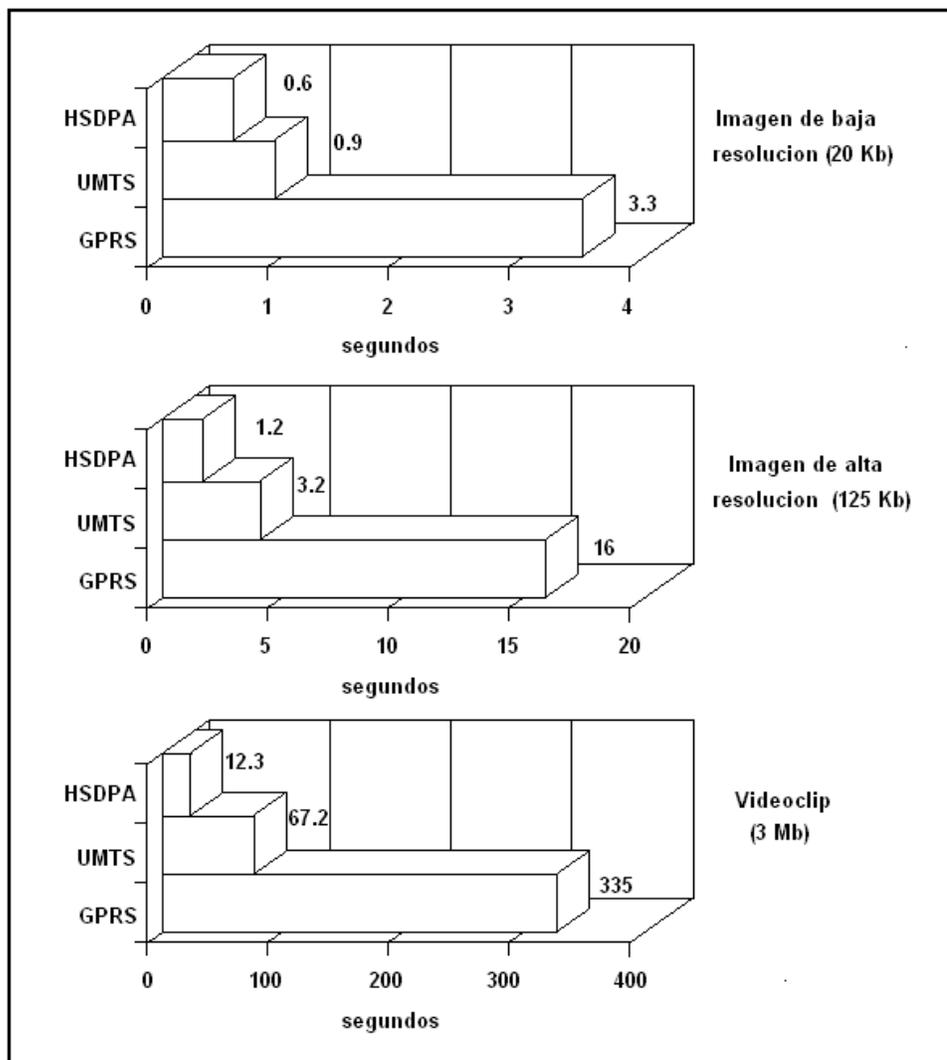
Hasta ahora la tecnología utilizada en la interfaz de radio no se encontraba en la capacidad de ofrecer velocidades de transferencia de datos que resultaran adecuadas para varias de las aplicaciones posibles de tercera generación, a pesar del incremento de velocidad de 171 Kbps del GPRS a los 384 Kbps del sistema UMTS. Con el HSDPA esta velocidad aumenta hasta un máximo teórico de 14 Mbps que en condiciones usuales suponen unos 3 o 4 Mbps, permitiendo de esta manera implementar aplicaciones de alta velocidad en movimiento.

La tecnología HSDPA consigue esta mejora gracias a una serie de técnicas empleadas en la interfaz de radio como son:

- a) Transmisión de canal compartido
- b) Adaptación rápida del enlace
- c) Retransmisiones rápidas
- d) Programación rápida de transmisiones

Otras de las mejoras que se consiguen mediante el uso de las técnicas anteriores son: menor retardo de respuesta, aumento de la capacidad del sistema y aumento de la velocidad de descarga, mejorando de esta manera la percepción del servicio por los usuarios, como se puede ver en la figura 43.

**Figura 43. Mejoras en las descargas con HSDPA**



Fuente: Eduardo French, **La evolución de la radio UMTS**, p4.

Todas estas mejoras suponen una serie de cambios en el sistema, como el cambio del UE por uno que soporte la tecnología HSDPA. Los cambios en la red son fundamentalmente de software en los nodos B y el RNC además de un aumento de capacidad y potencia de procesado en el sistema.

Por su parte, el HSUPA trabaja enviando datos en el canal de *uplink*. Los mecanismos que hacen posible el HSUPA son semejantes a los descritos para HSDPA, con lo que se consigue pasar de una velocidad de transferencia de datos de 384 Kbps a un máximo teórico de 5.76 Mbps. En este momento la combinación del HSDPA con el HSUPA es denominada HSPA (*High Speed Packet Access*) aunque el HSUPA estará disponible comercialmente hasta la segunda mitad del 2007.

## **5.6 Razones por las cuales UMTS resulta ideal para operadores en el continente americano**

En la actualidad la mayoría de las redes de telefonía celular implementadas en el continente americano cuentan ya con servicios de paquetes de datos ya sean EDGE o GPRS, lo que señala que la actualización mas conveniente para cada uno de estos operadores es la implementación de UMTS, debido a que la inversión seria menor que implementar otro tipo de red para el manejo de datos desde el inicio ya que la infraestructura de las redes existentes puede ser reutilizada.

Otras de las razones por las que UMTS resulta ideal para los operadores del continente americano son explicadas a continuación.

Los nuevos servicios que brinda UMTS es una de las razones, ya que cada uno de estos se puede adaptar a las diferentes necesidades del usuario, desde descargar música como distracción hasta llevar consigo una oficina móvil recibiendo video conferencias en tiempo real, este tipo de servicios requieren un gran ancho de banda por lo que no resultan prácticos o costo efectivos en otras redes. En estudios realizados en lugares donde el sistema ya ha sido implementado se demuestra que en comparación con otras tecnologías de tercera generación, UMTS es la más eficiente en el uso del espectro, manejando velocidades de datos de más de 300 Kbps. UMTS también permite a los operadores competir con los sistemas de discado DSL y cable por los usuarios de banda ancha.

La flexibilidad es otro factor importante ya que en varios países de América a diferencia de otros continentes como Europa y Asia las autoridades regulatorias no exigen a los operadores obtener licencias de espectro de tercera generación antes de poder lanzar los servicios. Esto permite a los operadores realizar el proceso de migración a su propio ritmo, de manera que puedan concentrarse de primero ya sea en las grandes ciudades para luego expandirse hacia las zonas lejanas o viceversa. La flexibilidad del UMTS también permite que el operador pueda trabajar en varias bandas del espectro de manera que logre seleccionar la que mas se adecue a sus necesidades.

Por ultimo, la razón principal es el *roaming* mundial que es la visión por la cual cada sistema de telefonía celular ha sido desarrollado y han ido evolucionando de manera acelerada.

Al terminar de ser implementado el sistema UMTS en el continente americano será especialmente atractivo para las empresas y empresarios de países industrializados a los cuales les son necesarios los servicios de 3G cuando viajan al extranjero, ya que se espera que no solamente el continente se encuentre unido por este sistema sino que este se interconecte a los demás continentes. Es de esperarse que no todas las áreas del mundo estén cubiertas inmediatamente por estos servicios, lo cual no es problema ya que en las áreas que no tengan cobertura UMTS el móvil conmutara automáticamente a GPRS o a EDGE de manera que los clientes siempre tengan acceso a redes de datos en paquetes de alta velocidad.



## CONCLUSIONES

1. La diferencia principal entre GSM y UMTS es la implementación de la red UTRAN la cual permite el manejo de un ancho de banda mayor, gracias a la utilización de la técnica de acceso WCDMA.
2. UMTS tiene compatibilidad con las actuales redes GSM y busca la compatibilidad entre todos los sistemas para hacer una red mundial.
3. En UMTS el radio de cobertura de la célula varía dependiendo de la cantidad de usuarios que se encuentran en su área, mediante las variaciones de la potencia dinámica. Si el número de usuarios en la celda es bajo se consigue buena calidad incluso en los puntos remotos de la célula, mientras que si el número de usuarios es alto, ese número elevado de usuarios genera un alto nivel de interferencia, por lo que la estación base pide una reducción de potencia de esta manera solo los que se encuentran cerca de la estación tendrán buena calidad. Esta es la única pequeña ventaja de GSM, ya que, el radio de cobertura en este sistema es fijo y depende de la potencia con que transmite la antena y la inclinación de la misma.
4. La decisión de implementar o no una red de tercera generación en un país debe considerar las necesidades del mercado y de las distintas necesidades tecnológicas de los operadores, así como las necesidades socioeconómicas, culturales y demás necesidades de índoles no técnicas, cruciales para comercializar una técnica nueva.

Es de esperar que en este país muchas personas estén a la espera de estos nuevos y novedosos servicios, así como, también, habrán muchos a quienes estos no les serán de ninguna utilidad, por la falta de conocimiento en el medio.

5. UMTS es un sistema que supera en todos los aspectos a GSM, cuya implementación es, relativamente, sencilla si se tiene una red bien estructurada, con sistemas que soporten servicios de paquetes.
6. La calidad en GSM es mejor cuando la potencia de transmisión es mayor, toda vez no existan canales adyacentes o co-canales en los alrededores, mientras que en UMTS se consigue una mejor calidad cuando la señal es reconstruida por las señales recibidas de distintas fuentes, multitrayectoria.
7. Aunque GSM forme parte de las redes de tercera generación, es de suponer que en un futuro desaparecerá como muchas tecnologías lo han hecho, por lo que en lugar de seguir implementando sistemas GSM, sería mejor optar por redes más actualizadas para que puedan tener un uso más prolongado.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario evolucionar a UMTS, no solo para disfrutar de los servicios que ofrece sino, también, para prepararse para la cuarta generación de telefonía celular, ya que, de lo contrario la tecnología celular, en Guatemala, se quedaría estancada, lo cual afecta en mayor parte a los operadores ya que el costo de la renovación de la infraestructura de una red de 2.5G a una de cuarta generación sería mucho mayor, asimismo de perder los ingresos por el ofrecimiento de servicios más avanzados.
2. Hacer un estudio de las bandas de frecuencia disponibles en el país, tratando de colocar el espectro a utilizar para UMTS en un rango de frecuencias que no se encuentre utilizado por ninguna red celular. Si bien es cierto, GSM y UMTS pueden trabajar en la misma frecuencia, debido a que su método de acceso es distinto, esto no es recomendable, ya que, en algunos casos, se han mostrado interferencias entre los dos sistemas cuando trabajan en la misma frecuencia.
3. Implementar soluciones de baja movilidad, basados en estándares WLAN, estándares de tipo IEEE 802.11 y variantes, en lugares como aeropuertos, hoteles, cafeterías, centros comerciales, etc., en donde UMTS, por ser lugares muy concurridos, con alto requerimiento de tráfico y usuarios que, relativamente, no se encuentran en movimiento se ve afectado por hoyos de cobertura.

4. Formar una red combinada, de manera que la red GSM-GPRS actual sea utilizada para servicios de voz o servicios que requieran bajo ancho de banda y la red UTRAN sea utilizada para servicios de manejo de datos masivo o servicios que requieran un mayor ancho de banda.
5. Realizar mediciones para verificar la limpieza del espectro, pues de esta manera, el operador puede asegurarse que cualquier interferente en la transmisión de su señal es debido a factores propios de su mismo sistema.
6. Contar con la cantidad de infraestructura suficiente para la implementación de nuevos sitios, puesto que, esta es la solución más factible para evitar la falta de cobertura debida a la potencia dinámica de las redes UMTS.
7. Elaborar un plan de trabajo dividido en fases o etapas, en las que se elaboren las descripciones técnicas y soluciones para la implementación de la red UTRAN, de la manera mas detallada posible, que incluya los protocolos de la interfaz de radio, los protocolos internos y los protocolos del subsistema de red. Así como, también, que contenga las especificaciones para la integración de UMTS en las redes GSM/GPRS actuales, las cuales deberán ser corregidas de manera iterativa para luego, cuando la red ya se encuentre en servicio comercial, incrementar las tasas de bits de manera que se logre el mayor throughput posible.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Fajardo Patrón, David. Simulación de tramas de WCDMA. Tesis Ing. Electrónica y Comunicación. México, Universidad de las Américas Puebla, Facultad de Ingeniería, 2004. 180pp.
2. Huidobro, José Manuel y Conesa Pastor, Rafael. **Sistemas de telefonía**. 1ª ed. España: Paraninfo, S.A., 2006. 512pp.
3. Isotalo, Tero. Optimal antenna downtilting in WCDMA based networks. Tesis MSC. Finlandia, Tampere University of Technology, Facultad de Ingeniería, 2004. 83pp.
4. J.G., Proakis. **Digital communication**. 4ª ed. Estados Unidos: McGraw-Hill Inc, 2001. 1024pp.
5. **Las telecomunicaciones y la movilidad en la sociedad de la información**. España: División de Relaciones Corporativas y Comunicación de Telefónica I+D, 2005. 430pp.
6. Mayoral Palacios, Erick. Redes inalámbricas de 2G, 2.5G y 3G. Tesis Ing. Electrónica y Comunicación. México, Universidad de las Américas Puebla, Facultad de Ingeniería, 2004. 180pp.
7. Medina Nieto, J. Guadalupe y otros. "Telefonía celular digital" Revista Ingenierías (México) (4): 49-54.2001.
8. Pachón de la Cruz, Álvaro. "Evolución de los sistemas móviles celulares GSM" Revista Sistemas & Telemática (Colombia) (1): 14-44.2004.
9. Rivera Díaz, Giovanni. Desarrollo de aplicaciones para dispositivos inalámbricos en un ambiente distribuido. Tesis Ing. Sistemas. México, Universidad de las Américas Puebla, Facultad de Ingeniería, 2004. 198pp.
10. Sánchez García, Jaime. "Comunicaciones inalámbricas de 4ta generación" Revista Electro 2001 (México): 61-64.2001.

11. Taylor, Mark S y otros. **Internetwork mobility: The CDPD approach**. Estados Unidos: Prentice Hall, Inc, 1997. 416pp.
12. Tomasi, Wayne. **Sistemas de comunicaciones electrónicas**. 4<sup>a</sup> ed. México: Pearson Prentice Hall, 2003. 976pp.
13. Van Cauwenberge, Stijn N. P. Study of soft handover in UMTS. Tesis MEI. Dinamarca, Technical University of Denmark, Facultad de Ingeniería, 2003. 130pp.
14. VV.AA. **Telecomunicaciones móviles**. 2<sup>a</sup> ed. España: Marcombo S.A., 1998. 276pp.

## E-GRAFÍA

1. [http://en.wikipedia.org/wiki, Advanced mobile phone system](http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_mobile_phone_system), 08/11/2004.
2. [http://en.wikipedia.org/wiki, dBm](http://en.wikipedia.org/wiki/dBm), 06/08/2007.
3. [http://en.wikipedia.org/wiki, Gaussian minimum shift keying](http://en.wikipedia.org/wiki/Gaussian_minimum_shift_keying), 15/03/2006.
4. [http://en.wikipedia.org/wiki, GPRS](http://en.wikipedia.org/wiki/GPRS), 11/11/2005.
5. [http://en.wikipedia.org/wiki, Turbo code](http://en.wikipedia.org/wiki/Turbo_code), 05/07/2007.
6. [http://en.wikipedia.org/wiki, UMTS frequency bands](http://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_frequency_bands), 30/06/2007
7. [http://es.wikipedia.org/wiki, Bluetooth](http://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth), 25/07/2007.
8. [http://es.wikipedia.org/wiki, Decibelio](http://es.wikipedia.org/wiki/Decibelio), 06/08/2007.
9. [http://es.wikipedia.org/wiki, FSK](http://es.wikipedia.org/wiki/FSK), 31/01/2006.
10. [http://es.wikipedia.org/wiki, HSDPA](http://es.wikipedia.org/wiki/HSDPA), 25/07/2007.
11. [http://es.wikipedia.org/wiki, IEEE\\_802.11](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11), 25/07/2007.
12. [http://es.wikipedia.org/wiki, Protocolo de Internet](http://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Internet), 25/07/2007.
13. [http://es.wikipedia.org/wiki, Universal mobile telecommunications system](http://es.wikipedia.org/wiki/Universal_mobile_telecommunications_system), 15/06/2007.
14. [http://es.wikipedia.org/wiki, USIM](http://es.wikipedia.org/wiki/USIM), 25/06/2007.
15. [http://eveliux.com/mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=136&Itemid=70](http://eveliux.com/mx/index.php?option=com_content&task=view&id=136&Itemid=70), La evolución de la telefonía móvil (La guerra de los celulares), 08/11/2004.
16. [http://gsync.escet.urjc.es/moodle/file.php/34/Teoria/B2.3\\_UMTS\\_v2.pdf](http://gsync.escet.urjc.es/moodle/file.php/34/Teoria/B2.3_UMTS_v2.pdf), Sistema UMTS. 16/06/2007.
17. <http://trajano.us.es/~isabel/publicaciones/nivel1.pdf>, Arquitectura de redes sistemas y servicios. Román Martínez, Isabel, 01/05/2006.

18. <http://users.deec.ist.utl.pt/~ineit/>, Modulation and coding, 21/02/2006.
19. <http://users.tkk.fi/~pat/coding/essays/turbo.pdf>, Turbo codes. Emilia, Kasper, 05/07/2007.
20. <http://usuarios.lycos.es/janjo/janjo1.html>, Protocolos TCP/IP. Soto, Miguel Alejandro, 25/07/2007.
21. [www.3gamericas.com/Spanish/Statistics](http://www.3gamericas.com/Spanish/Statistics), Abonados inalámbricos digitales por tecnología en el mundo (marzo 2005), 24/06/05.
22. [www.3gamericas.com/Spanish/Statistics](http://www.3gamericas.com/Spanish/Statistics), Crecimiento en América Latina, 22/06/2005.
23. [www.3gamericas.com/Spanish/Statistics](http://www.3gamericas.com/Spanish/Statistics), Distribución mundial de abonados inalámbricos (junio 2007), 24/07/2007.
24. [www.3gamericas.org/Spanish/News\\_room/IndustryPressReleaseArchive](http://www.3gamericas.org/Spanish/News_room/IndustryPressReleaseArchive), GSM: Mil millones de clientes en el mundo y creciendo aun mas en América, 24/07/2007.
25. [www.3gamericas.org/Spanish/Technology\\_Center/QA](http://www.3gamericas.org/Spanish/Technology_Center/QA), 3G, 16/10/2004.
26. [www.3gamericas.org/Spanish/Technology\\_Center/QA](http://www.3gamericas.org/Spanish/Technology_Center/QA), EDGE, 16/10/2004.
27. [www.3gamericas.org/Spanish/Technology\\_Center/QA](http://www.3gamericas.org/Spanish/Technology_Center/QA), UMTS, 16/10/2004.
28. [www.3gamericas.org/Spanish/Technology\\_Center/QA](http://www.3gamericas.org/Spanish/Technology_Center/QA), GPRS, 16/10/2004.
29. [www.3gamericas.org/Spanish/Technology\\_Center/QA](http://www.3gamericas.org/Spanish/Technology_Center/QA), GSM, 16/10/2004.
30. [www.3gamericas.org/Spanish/Technology\\_Center/QA](http://www.3gamericas.org/Spanish/Technology_Center/QA), TDMA, 16/10/2004.
31. [www.activexperts.com/asmssrvr/cellular](http://www.activexperts.com/asmssrvr/cellular), UMTS overview, 25/06/2007.
32. [www.azizi.ca/gsm/modulation](http://www.azizi.ca/gsm/modulation), GSM physical layer modulation, 21/02/2006.
33. [www.bee.net/mhendry/vrml/library/cdma/cdma.htm](http://www.bee.net/mhendry/vrml/library/cdma/cdma.htm), Introduction to CDMA. Hendry, Michael, 21/11/2004.
34. [www.cis.hut.fi/Opinnot/T-61.246/Kutri2003/](http://www.cis.hut.fi/Opinnot/T-61.246/Kutri2003/), GSM codec. Lehtonen, Kristo, 07/06/2006.

35. [www.codigolibre.org/modules.php?name=News&file=article&sid=1309](http://www.codigolibre.org/modules.php?name=News&file=article&sid=1309), Arquitectura de una red GSM. Castro, Yuly, 18/06/2006.
36. [www.comlab.hut.fi/opetus/238/lectures.html](http://www.comlab.hut.fi/opetus/238/lectures.html), WCDMA physical layer (Chapter 6). Chong, Peter, 20/04/2005.
37. [www.comlab.hut.fi/opetus/4210/presentations/14\\_wcdma.pdf](http://www.comlab.hut.fi/opetus/4210/presentations/14_wcdma.pdf), Overview of UMTS-WCDMA Technology. Kangas, Mauri, 20/06/2007.
38. [www.cs.ucl.ac.uk/staff/S.Bhatti/D51-notes/notes.html](http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/S.Bhatti/D51-notes/notes.html), Digital modulation, ASK, FSK and PSK. Bhatti, Saleem N., 31/01/2006.
39. [www.cs.ucl.ac.uk/staff/t.pagtzis/wireless/gsm/arch.html](http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/t.pagtzis/wireless/gsm/arch.html), GSM: Network architecture, 18/06/2006.
40. [www.ee.unb.ca/tervo/ee4253](http://www.ee.unb.ca/tervo/ee4253), QPSK. Tervo, Richard, 21/02/2006.
41. [www.electronicafacil.net/tutoriales](http://www.electronicafacil.net/tutoriales), Modulaci3n digital FSK-PSK-QAM, 16/04/2005.
42. [www.emc.york.ac.uk/reports/linkpcp/](http://www.emc.york.ac.uk/reports/linkpcp/), Appendix D- Digital modulation and GMSK, 13/03/2006.
43. [www.ericsson.com/technology/technologies\\_az.shtm](http://www.ericsson.com/technology/technologies_az.shtm), EDGE, 22/11/2005.
44. [www.iec.org/online/tutorials/](http://www.iec.org/online/tutorials/), Time division multiple access (TDMA), 28/06/2005.
45. [www.iec.org/online/tutorials/](http://www.iec.org/online/tutorials/), UMTS network and service assurance, 28/06/2005.
46. [www.iec.org/online/tutorials/](http://www.iec.org/online/tutorials/), UMTS protocols and protocol testing, 07/07/2006.
47. [www.iec.org/online/tutorials/gsm](http://www.iec.org/online/tutorials/gsm), Global system for mobile communication (GSM), 08/11/2004.
48. [www.it.uc3m.es/~gavilan/apuntes/gsm\\_intro\\_2000.pdf](http://www.it.uc3m.es/~gavilan/apuntes/gsm_intro_2000.pdf), Introducci3n al GSM. Gavil3n, Javier, 6/2/2007.
49. [www.javvin.com/wireless/index.html](http://www.javvin.com/wireless/index.html), UTRAN: UMTS terrestrial radio access network, 25/06/2007.
50. [www.mobilecomms-technology.com/projects](http://www.mobilecomms-technology.com/projects), EDGE, 15/03/2006.

51. [www.monografias.com](http://www.monografias.com), Evolución e historia de la telefonía celular. Jiménez, José Juan, 08/11/2004.
52. [www.monografias.com](http://www.monografias.com), Sistemas celulares de tercera generación. Vera, Arturo, 18/06/2007.
53. [www.monografias.com](http://www.monografias.com), Telefonía celular. Lamanuzzi, Hernan, 28/12/2004.
54. [www.movilesargentina.com/Sections/Resources/WhatsNew/Articles/GSM-Info.asp](http://www.movilesargentina.com/Sections/Resources/WhatsNew/Articles/GSM-Info.asp), El nacimiento de un standard, 06/02/2007.
55. [www.portalgsm.com/documentacion\\_extendida/98\\_0\\_17\\_0\\_C](http://www.portalgsm.com/documentacion_extendida/98_0_17_0_C), Sistema GSM (Global system for mobile communications). Guerrero Ojeda, Luis Gerardo, 17/07/2007.
56. [www.privateline.com/mt\\_gsmhistory](http://www.privateline.com/mt_gsmhistory), GSM history. Scourias, John, 18/06/2006
57. [www.redes.upv.es/stdfi/ficheros.htm](http://www.redes.upv.es/stdfi/ficheros.htm), Tecnología GSM. Forner Clavijo, Enric y otros, 06/02/2007.
58. [www.sss-mag.com/pdf/1modulation.pdf](http://www.sss-mag.com/pdf/1modulation.pdf), Digital modulation. Katz, Randy H., 28/10/2004.
59. [www.tele.ucl.ac.be/EDU/ELEC2796](http://www.tele.ucl.ac.be/EDU/ELEC2796), IS-95. Vandendorpe, Luc, 20/06/2007.
60. [www.teleco.com.br/es/tutoriais/es\\_tutorialgsm/pagina\\_1.asp](http://www.teleco.com.br/es/tutoriais/es_tutorialgsm/pagina_1.asp), GSM: arquitectura. Tude, Eduardo, 29/05/2006.
61. [www.telecomspace.com/3g.html](http://www.telecomspace.com/3g.html), UMTS, 16/06/2007.
62. [www.telefonica.es/sociedaddelainformacion](http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion), La evolución de la radio UMTS. Frech, Eduardo Alonso, 17/7/2007.
63. [www.textoscientificos.com/redes/modulacion/analogica-digital](http://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/analogica-digital), PSK-Desplazamiento de fase, 20/04/2006.
64. [www.three-g.net](http://www.three-g.net), 3G spectrum, 29/06/2007.
65. [www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-111.350/1998/esitykset/Umts/UMTS.html#3](http://www.tml.tkk.fi/Opinnot/T-111.350/1998/esitykset/Umts/UMTS.html#3), UMTS-universal mobile telecommunication system. Berg, Andreas y von Schantz, Anna Lotta, 28/10/2004.
66. [www.umtsafe.com/index.htm](http://www.umtsafe.com/index.htm), UMTS services, 16/07/2007.

67. [www.umtsforum.net/tecnologia.asp](http://www.umtsforum.net/tecnologia.asp), Tecnología UMTS/3G, 28/12/2004.
68. [www.umtsworld.com/technology](http://www.umtsworld.com/technology), Blt.htm, 25/07/2007.
69. [www.umtsworld.com/technology](http://www.umtsworld.com/technology), Cdmabasics.htm, 07/08/2005.
70. [www.umtsworld.com/technology](http://www.umtsworld.com/technology), Handover.htm, 30/06/2007.
71. [www.umtsworld.com/technology](http://www.umtsworld.com/technology), Overview.htm, 15/06/2007.
72. [www.umtsworld.com/technology](http://www.umtsworld.com/technology), Power.htm, 30/06/2007.
73. [www.umtsworld.com/technology](http://www.umtsworld.com/technology), Spreading.htm, 07/06/2007.
74. [www.umtsworld.com/technology](http://www.umtsworld.com/technology), Wcdma.htm, 18/06/2007.
75. [www.uv.es/~hertz/](http://www.uv.es/~hertz/), Transmisión digital, 7/7/2007.
76. [www.winlab.rutgers.edu/~narayan/Course/WSID/Lectures02/lect11.pdf](http://www.winlab.rutgers.edu/~narayan/Course/WSID/Lectures02/lect11.pdf),  
Wireless communication technologies. Mandayam, Narayan B., 15/3/2006.
77. [www.wmlclub.com/articulos/index.htm](http://www.wmlclub.com/articulos/index.htm), Fundamentos de las redes GSM.  
Márquez Solís, Santiago, 18/06/2006.



# ANEXO

## RELEASES DE UMTS

Para lograr un desarrollo consensuado de UTRA se crea en diciembre de 1998 el llamado 3GPP, *Third Generation Partnership Project*. 3GPP realiza las especificaciones técnicas – públicas - de los sistemas 3G. Siendo el principal foro de estandarización, aunque no tiene entidad legal. Este se encuentra formado por ETSI en Europa, ATIS en EE.UU., ARIB y TTC en Japón, TTA en Corea y CCSA en China.

3GPP produce cada cierto tiempo un conjunto de documentos que constituye un estándar conocidos como “*Release*”. En la figura A1-1 se muestra los avances de UMTS desde la planeación de su primera versión.

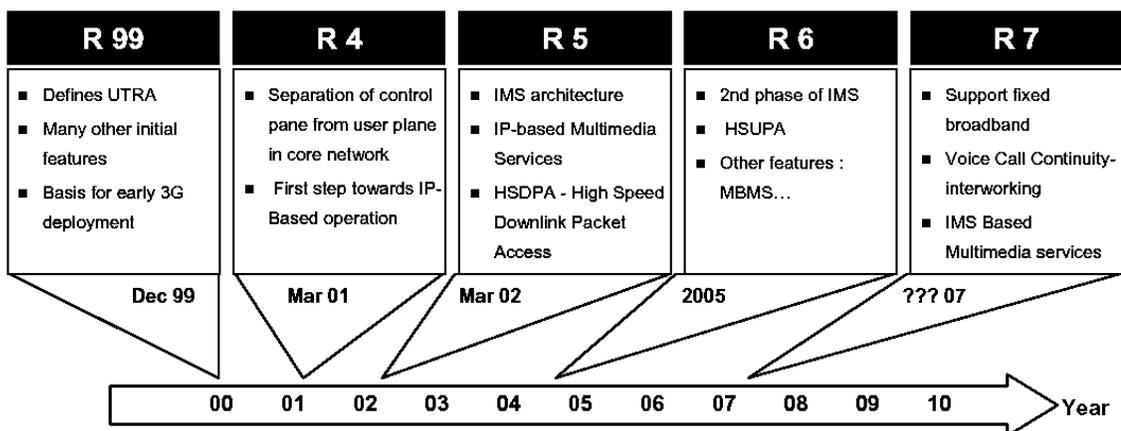
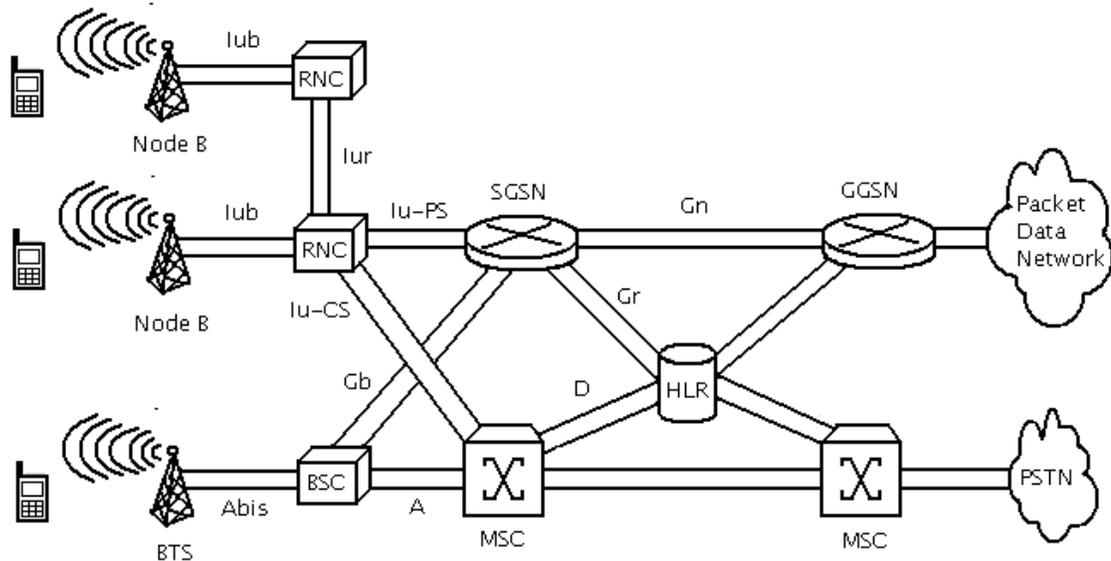


Figura A1-1. Releases de UMTS [3]



**Figura A1-3. UMTS Release 99 Network**



La principal razón por la que la UTRAN puede ofrecer una conexión de alta velocidad comparado con la red de acceso de radio GSM-GPRS está en el método de acceso utilizado en la interface de aire. En las redes GSM-GPRS, los esquemas de modulación utilizados son el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA). En las redes UMTS, el esquema de modulación utilizado se conoce como acceso múltiple por división de código de banda ancha (WCDMA) el cual tiene dos modos básicos de operación: división de frecuencia bidireccional (FDD) y división de tiempo bidireccional (TDD). Estos esquemas de modulación UMTS son inherentemente más eficientes que sus contrapartes GSM-GPRS, las cuales en cambio habilitan conexiones más rápidas.

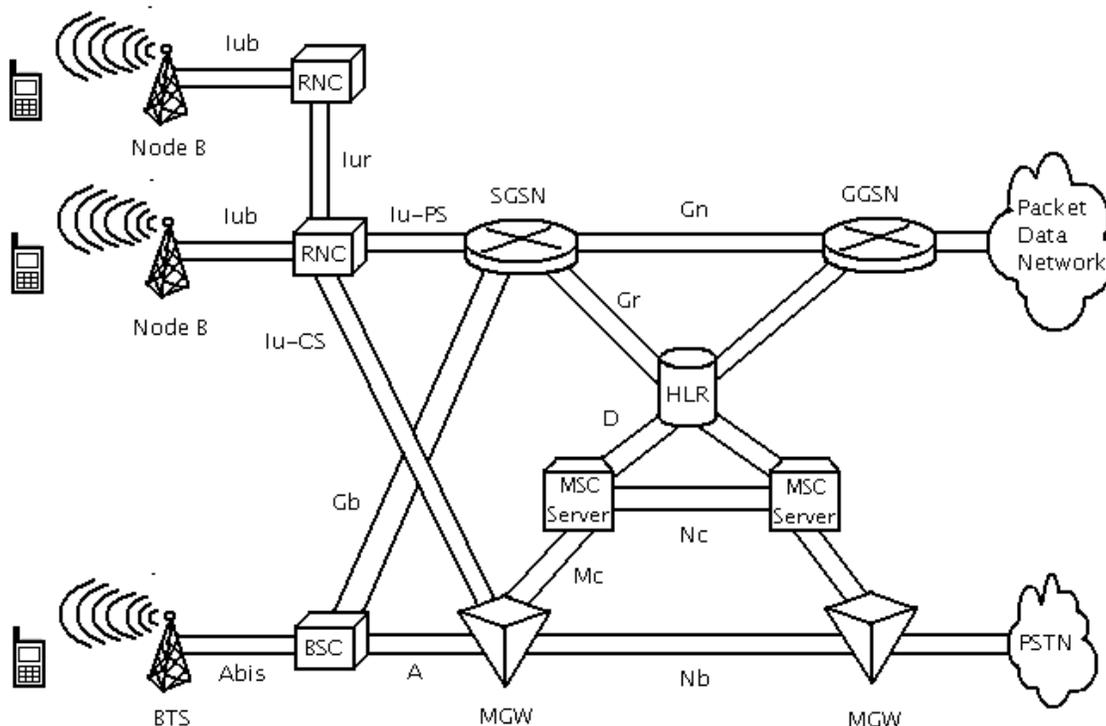
Los nuevos elementos de red introducidos como parte del *release* 99 son:  
El controlador de la red de radio y el nodo B.

## Release 4

La mayoría de proveedores inalámbricos de servicios migran a *release* 4 por medio del *release* 99. El *release* 4 especifica la migración de la red de voz de circuitos conmutados a una red central ATM o IP. Otras áreas funcionales también son cubiertas por el *release* 4, tal como los servicios de radiodifusión y los servicios de localización asistidos por la red.

La figura A1-4 muestra una descripción de la red del *release* 4.

**Figura A1-4. UMTS Release 4 Network.**



Actualizarse a una red de voz con núcleo de paquetes conmutados permitirá a los proveedores de servicios inalámbricos ganar de las eficiencias inherentes de una red de voz sobre paquetes (VoP). En los circuitos de voz conmutados, un canal dedicado de tamaño fijo es asignado para transmitir la voz. En llamadas de voz normales, este canal está sub-utilizado. En VoP, solo los recursos requeridos son utilizados.

En el *release 4*, la funcionalidad del MSC es dividida dentro de dos funciones lógicas, las cuales típicamente serán provistas por elementos de la red separados físicamente, llamados: Media Gateway (MGW) y MSC Server.

El UMTS Media Gateway es responsable de conmutar el portador, o sea el tráfico de comunicación del usuario. El MGW puede, también, ser utilizado para convertir tráfico portador entre dos diferentes formatos. Por ejemplo, voz de un circuito PCM a voz sobre paquetes. El MGW contiene transcodificadores y equipo que contrarresta la resonancia.

En general la terminología VoP, es conocida como *Media Gateway Controller*. El 3GPP ha especificado dos instancias de un *Media Gateway Controller*, el *MSC Server* y el *Gateway MSC Server*. El *Gateway MSC Server* es un *MSC Server* que controla las conexiones para otras redes, por ejemplo la PSTN.

El *MSC Server* provee todas las capacidades de control de llamada requeridas por el MGW. El *MSC Server* es también responsable del manejo de la movilidad. Típicamente, el *MSC Server* también contendrá la funcionalidad del VLR.

Un simple MSC Server puede controlar múltiples *Media Gateways*. Este provee mayores beneficios de escalabilidad. Esto quiere decir que cuando es necesaria capacidad extra, puede ser posible agregar solamente un nuevo MGW y utilizar un MSC Server existente.

## **Release 5**

Este extiende las especificaciones del *release* 99 y *release* 4, ofreciendo una mejora llamada *High Speed Downlink Packet Access* o HSDPA, un primer paso de evolución UMTS el cual proporciona un mejor *throughput* y una mejor capacidad de desempeño. HSDPA proveerá velocidades teóricas pico arriba de 14 Mbps.

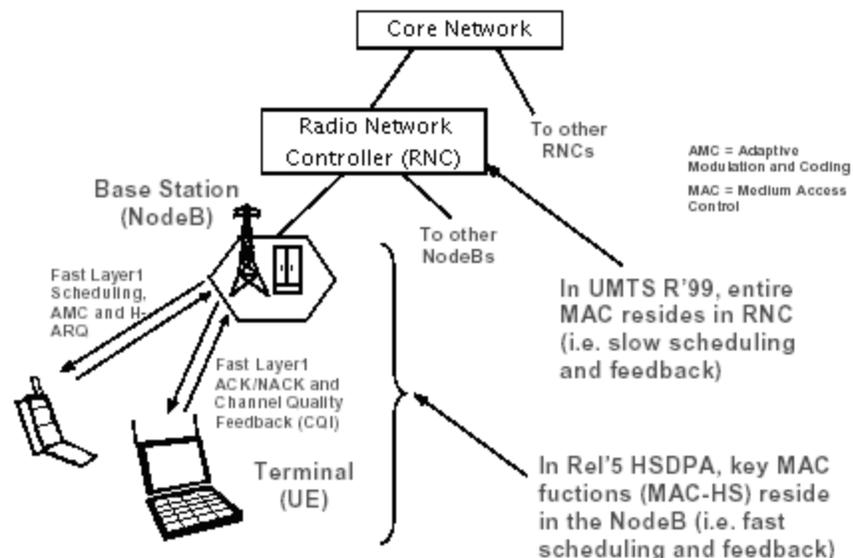
El *release* 5 define varias características nuevas que proveen ventajas significativas de capacidad, eficiencia y desempeño, en relación con el *release* 99 e incrementa grandemente la habilidad para ofrecer servicios de persona a persona usando un amplio rango de medios tanto en tiempo real como en no tiempo real, como voz, texto, fotos, video, etc. Tres de las características clave que son parte del *release* 5 son HSDPA, IMS e IP UTRAN, las cuales serán discutidas a continuación.

### *High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)*

Se basa en una nueva arquitectura distribuida habilitando la adaptación adaptaciones de un enlace con retardo bajo y retroalimentación de la calidad del canal. Esto es logrado al incorporar varios de los procesos clave de planificación y control en la estación base, de manera que ya no sean realizados por el RNC de manera que se realicen mas cerca de la interface aérea.

Específicamente la funcionalidad del Control de Acceso Medio (MAC) el cual residía completamente en el RNC en el *release* 99, es dividido entre el nodo B y el RNC en el *release* 5. En este la mayoría de las funciones críticas clave del control de acceso medio (MAC) para retardo y desempeño están definidas por el MAC-HS, el cual esta localizado en el nodo B.

**Figura A1-5. HSDPA System Architecture**



HSDPA introduce un nuevo paradigma para los datos por paquetes en donde el control rápido de potencia y los principios del factor de dispersión variable inherente en el *release* 99 son reemplazados con modulación y codificación adaptable dinámica, operación de multi-código, rápida planificación y retransmisiones a nivel físico.

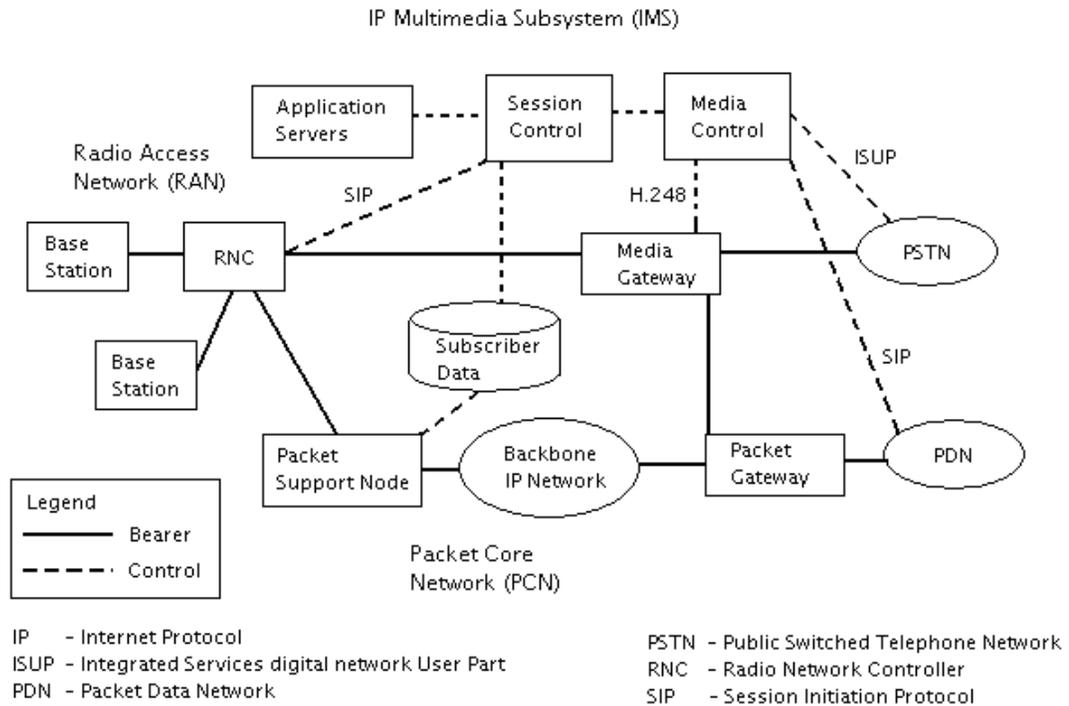
Algunas de las mejoras significantes de la tecnología HSDPA son: Canal Compartido de Alta Velocidad para el *Downlink* (HS-DSCH) rápida planificación, rápida retransmisión, retroalimentación de la calidad del canal, , desempeño, modulación y codificación adaptable.

### *IP Multimedia Subsystem (IMS)*

El IMS presenta una estructura técnica y comercial para operadores móviles, para ofrecer servicios de persona a persona como transmisión de voz, texto, fotos, video, etc. El estándar utiliza el protocolo de iniciación de sesión (SIP) como protocolo de control de servicio, el cual permite a los operadores ofrecer múltiples aplicaciones simultáneamente sobre las tecnologías de acceso múltiple como GPRS o UMTS, o ,ultimadamente, en otras tecnologías inalámbricas o redes fijas. La visión para la red central del IMS es la máxima flexibilidad e independencia de las tecnologías de acceso.

La figura 6 muestra una vista simplificada del IMS. El IMS también provee control de movilidad de bajo nivel. El *Packet Core Network* provee transporte para la señalización y el control de movilidad de alto nivel. Dentro del IMS, el control de medios, el control de sesión y el control de aplicación están separados en distintas entidades.

**Figura A1-6. IP Multimedia Subsystem and Connected Networks**



Algunas de las primeras aplicaciones esperando ser lanzadas usando el estándar son: el *Push to Talk* sobre Celulares (PoC) la mensajería instantánea y muchas otras aplicaciones interactivas las cuales eventualmente evolucionaran para dar paso a las comunicaciones de voz y video sobre IP.

Al lado de estos servicios básicos, los IMS soportan la interoperabilidad con los dominios CS y PSTN para voz, y con intraredes corporativas, redes ISP e Internet. IMS trabaja junto con cualquier red de acceso basada en paquetes.

Esto permite a los operadores poder multiplicar la infraestructura del núcleo del IMS usándolo no solamente para el acceso de radio UMTS, sino también para GPRS, EDGE, TD-SCDMA, tecnologías de radio disponibles de licencias gratuitas y redes alámbricas.

### *IP UTRAN*

La introducción de transporte IP en el UTRAN es parte de las recomendaciones del *release 5* y ofrece a los operadores el potencial para desarrollar la arquitectura UTRAN desde una dependencia sobre enlaces punto a punto usando TDM o ATM usando conectividad IP de banda ancha. Esto será de particular importancia para los operadores, conforme los servicios inalámbricos de banda ancha vayan alcanzando tasas superiores de adopción en el mercado y los requerimientos de transmisión de las estaciones base de alta capacidad se vuelvan excesivos. Con el soporte de IP en la UTRAN, las tecnologías de transmisión como IP sobre Ethernet proveerá a los operadores de una solución costo/efectiva y escalable en comparación con las soluciones implementadas hoy en día.

### **Release 6**

La evolución de la tecnología UMTS continua con el *release 6* en donde mejoras significativas de desempeño para el *uplink* (similares a las del HSDPA) son introducidas a través del Canal Dedicado Mejorado (E-DCH) las mejoras de desempeño del *downlink* son esperadas a través de receptores avanzados en los equipos de los usuarios y nuevas capacidades de transmisión son introducidas a través de la característica Multimedia *Broadcast/Multicast*

*Services* (MBMS). Otras características de esta versión son: la estructura del perfil genérico del usuario (GUP) red de acceso compartida, control de rastreo, control remoto de la inclinación eléctrica de la antena, mejoras para soportar la integración WLAN, mejoras en la calidad del servicio, nuevas capacidades SIP, mejoras en el ancho de banda del codificador de voz AMR y mecanismos para estandarizar el flujo de IP basado en el nivel característico de carga. Entre las mejoras de esta versión están la facilidad de mejorar aplicaciones como los servicios de emergencia, mensajes instantáneos, servicios de *streaming* y voz y video sobre IP.

El trabajo de 3GPP E-DCH, también conocido como *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA) introdujo mejoras que pueden ser aplicadas a UTRA para mejorar el desempeño sobre los canales de transporte dedicados del *uplink*. 3GPP comenzó la investigación de las mejoras del *uplink* para UMTS como artículo de estudio durante 2003-2004. El estudio terminó en marzo del 2004 en donde mejoras de *throughput* de 50 a 70 por ciento fueron obtenidas.

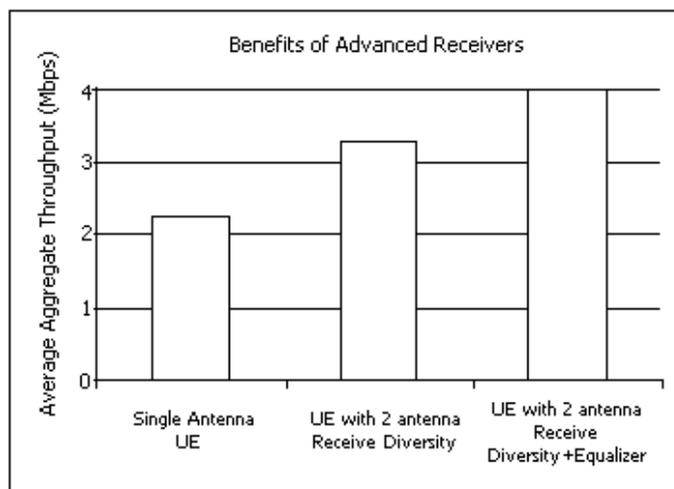
Los propósitos principales del FDD *Enhanced Uplink* son disminuir los retardos, mejorar la cobertura e incrementar el *throughput* para los servicios de paquetes de datos. La tasa de datos pico máxima posible para E-DCH puede estar arriba de los 5.76 Mbps

Mientras la simple antena de los receptores *rake* trabaja muy bien con el UMTS convencional y responder a las necesidades del HSDPA, tecnologías de recepción avanzadas pueden ser usadas para lograr *throughputs* altos para HSDPA. Para lograr esta meta, dos técnicas son utilizadas: la diversidad de recepción y las arquitecturas de receptores avanzados.

La diversidad de recepción es una técnica robusta de mejoramiento de desempeño implementada en el UE. Este combate los desvanecimientos de señal óptimamente, combinando las señales recibidas desde antenas receptoras separadas. Con menos desvanecimientos en la señal combinada, los decodificadores trabajan mejor, mejorando significativamente el desempeño del enlace de radio aun para dispositivos tan pequeños como tarjetas PCMCIA y PDAs.

En este *release* la diversidad de recepción es considerada como una característica opcional para la mejora de desempeño del equipo de usuario, este mínimo desempeño a sido especificado para el canal de referencia fijo, la diversidad de transmisión, HS-SCCH y CQI. Con la característica de la diversidad de recepción puesta para todos los usuarios en el sistema HSDPA, el *throughput* de las celdas sobre un canal de 5 MHz con planificación proporcional obtuvo un incremento del 50% comparado con los sistemas HSDPA sin diversidad de recepción como se puede ver en la figura A1-7.

**Figura A1-7. Average Aggregate Throughput with Advanced Receivers**



El Multimedia *Broadcast/Multicast Service* (MBMS) define las capacidades para direccionar la misma información a muchos usuarios en una celda usando los mismos recursos de radio. El MBMS es un servicio unidireccional de punto a multipunto el cual los datos son transmitidos por una simple entidad fuente a múltiples recipientes. Transmitiendo los mismos datos a los múltiples recipientes permite que los recursos de red sean compartidos.

MBMS es utilizado en áreas de servicios de transmisión o multireparto, las cuales pueden cubrir la red entera o estar en un área geográfica pequeña como un centro comercial o un estadio, permitiendo la distribución de contenido específico por región. Este sistema tiene dos modos de operación: el modo *broadcast* (transmisión) y el modo *multicast* (multireparto).

El modo *broadcast* es una transmisión unidireccional multimedia de punto a multipunto, de una simple entidad fuente a todos los usuarios en un área de servicio de transmisión.

El modo *multicast* permite la transmisión unidireccional de datos multimedia de punto a multipunto desde un simple punto fuente a un grupo *multicast* en un área de servicio *multicast*.

## **Release 7**

Este introduce adicionalmente capacidades mejoradas como MIMO para HSDPA. Además esta versión se enfoca en las mejoras para la RAN tales como conectividad continua, juegos sobre IP y optimización del retardo, las cuales mejoran las capacidades para proveer servicios eficientes y optimizados en tiempo real tales como VoIP, juegos y push to talk (PTT).

Finalmente el *release 7* introduce también mejoras para el núcleo del IMS relacionados con la telefonía multimedia, combinando servicios de paquetes y circuitos conmutados (CSI) políticas y continuidad de las llamadas de voz.

Esto con el fin de guardar la actual separación de la red de radio y la red central de manera de que los procesos sean efectuados con mayor rapidez y se puedan implementar de manera mas fácil en las terminales.

El termino “MIMO” es un acrónimo para entrada múltiple, salida múltiple, y es usado para hacer referencia a cualquier sistema inalámbrico con múltiples antenas en el transmisor y el receptor. En el transmisor múltiples antenas pueden ser usadas para mitigar los efectos de desvanecimiento por medio de la diversidad de transmisión y para incrementar el *throughput* por medio del acceso múltiple por división de espacio (SDMA).

Entre las mejoras que se implementan en la RAN, esta la conectividad continua para usuarios de paquetes de datos. Las características orientadas a paquetes como HSDPA y HSUPA en UMTS proveen altas tasas de datos tanto para el *uplink* como par el *downlink*. Esto promoverá el deseo de los usuarios de la conectividad continua, donde el usuario permanezca conectado por largos periodos de tiempo con solamente ocasionales periodos activos de transmisión de datos, evitando la frecuente finalización de la conexión y el reestablecimiento de la misma, junto con el retraso y los gastos fijos inherentes.

Otra mejora son los juegos sobre IP (GoIP) como parte de los servicios en tiempo real del IMS mediante la utilización de HSDPA/HSUPA. Para asegurar el desempeño acertado de los juegos y proponer mejoras correctas de las normas existentes, es necesario investigar y definir los requisitos necesarios para el tráfico de juegos. La siguiente tabla cita los estándares 3GPP actuales:

**Table 1.**  
**3GPP TS 22.105: requirements for conversational voice, videophone and interactive games**

Medium	Application	Degree of symmetry	Data rate	Key performance parameters and target values		
				End-to end One-way Delay	Delay Variation within a call	Information loss
Audio	Conversational voice	Two-way	4-25 kb/s	< 150 msec preferred < 400 msec limit *	< 1 msec	< 3% FER
Video	Videophone	Two-way	32-384 kb/s	< 150 msec preferred < 400 msec Lip-synch < 100 msec		< 1% FER
Data	Interactive games	Two-way	< 1 KB	< 250 msec	Zero	N.A.

\* The overall one way delay in the mobile network (from UE to PLMN border) is approximately 100 msec

Si VoIP sobre HSDPA es la propuesta a convertirse en el mecanismo primario para proveer servicios de voz y video, entonces puede asumirse que los requerimientos podrían no ser degradados de los requerimientos existentes mostrados anteriormente

Los juegos pueden ser utilizados también sobre el HSDPA siendo los tres parámetros que se deben mejorar para lograr un mejor desempeño: el retraso de extremo a extremo, las perturbaciones oscilatorias y el evitar la pérdida de paquetes. Dada la gran variedad de juegos disponibles, es recomendado clasificar los juegos en cuatro categorías, en base a los parámetros de rendimiento propuestos anteriormente y las cuales son: *First Person Shooter* (FPS), *Real Time Strategy* (RTS), *Massive Multiplayer Online Role Playing Games* (MMORPG) y *Non-real Time Games* (NRTG).

Entre las mejoras que presenta el *release 7* para la red central del IMS se encuentran: acceso de transmisión fijo para el IMS (FBI), un túnel para el tráfico de paquetes, convergencia de las políticas y cobros (PCC), continuidad de las llamadas de voz (VCC), habilitación de la comunicación de telefonía multimedia IMS (MITE) y servicios suplementarios.

Fuentes:

1. The international engineering consortium, UMTS network and service assurance, <http://www.iec.org/tutorials>, pp4-8.
2. 3G Americas, The evolution of UMTS – 3GPP release 5 and beyond, pp 9-14.
3. 3G Americas, The evolution of UMTS/HSDPA – 3GPP release 6 and beyond, pp20-25.
4. 3G Americas, Mobile broadband: The global evolution of UMTS/HSPA – 3GPP release 7 and beyond, pp15-25.