

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

EVOLUCION HACIA LA TERCERA GENERACION DE  
SISTEMAS MOVILES A TRAVES DE LA TECNOLOGIA GPRS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES  
P R E S E N T A N :

**MANUEL ALEJANDRO LAKE JARQUIN**  
**MAURICIO FLORES GARCIA**

ASESORES: ING. MAURO CASTILLO COLLADO  
DR. VICTOR GARCIA GARDUÑO



CIUDAD UNIVERSITARIA,

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# PAGINACIÓN DISCONTINUA

UNAM a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.  
NOMBRE: Alejandro J. Manuel  
Alejandro  
FECHA: 29 Agosto 2002  
FIRMA: Ale J. Manuel

## Agradecimientos

Definirse una meta (cualquiera que ésta sea), trabajar por ella y alcanzarla es la mejor forma de crecer como persona. Concluir con esta tesis cierra un ciclo que inicié al comenzar a estudiar mi carrera profesional, lo cual me llena de satisfacción y a la vez me incita a pensar en las personas que de una u otra forma han influido de manera positiva para que hoy alcance esta meta. ..

### A mis padres

Intentar plasmar aquí el por qué me siento sumamente agradecido con ustedes requeriría de muchas hojas, solo les quiero comentar a ti "jefe" que te respeto y te admiro como a ninguna otra persona , te agradezco tu amor, comprensión y la amistad que siempre me has brindado al estar conmigo cuando te he necesitado (incluso en el menor de los problemas) , y a ti "jefa" que te quiero y siempre recuerdo tu tan simpática forma de ser y siempre te agradeceré la forma en que me cuidas y consientes. A ambos gracias por ser buenos amigos.

### A mi hermana

Gracias por tu compañía y por el sentimiento de que puedo contar contigo el día en que lo necesite.

### A ti Iris

La sensación de sentirte completamente feliz a lado de una persona no la cambio por nada en el mundo. Gracias por ser esa persona.

### A ustedes amigos

"Vamos con el Paquito", "No vayas a trabajar César", "uuuy, diría el Prado", "ya estuvo! Rulo" , "estas re' loca Trini", "Qué onda Ákesin?", gracias a todos por las vivencias. La vida es mucho más amena conociéndolos.

### A Maricarmen

No hay lazos sanguíneos, sin embargo el apoyo incondicional siempre ha existido, gracias.

### A mi tío Poncho

Me conoces de toda la vida y durante toda ella me has apoyado cuando he solicitado tu ayuda (incluso sin solicitarla), muchas gracias.

### A el tío Domingo

Sin conocerme bien usted decidió apoyarme durante la parte final de mi carrera, le agradezco mucho y le aseguro que siempre se lo reconoceré.

### A la UNAM y a la Facultad de Ingeniería

Por la formación otorgada durante estos años y el acceso tan valioso al conocimiento que otorgan a través de sus instalaciones, profesores y comunidad universitaria. Es un orgullo pertenecer a esta casa de estudios.

### A mi asesor el Ingeniero Mauro Castillo Collado

Por su guía y asesoramiento en la elaboración de esta tesis

A Dios...

GRACIAS  
Mauricio Flores García

A mis padres por toda su fuerza, apoyo y amor hacia mi. Por sus palabras de ánimo, e impulsarme a terminar un sueño de mi vida.

A mi hermano, por estar conmigo.

A mis compañeros de la facultad por compartir no solo las aulas de clases, también el entusiasmo y la convivencia que puede obtenerse de unos amigos.

Y de forma muy especial a Mauricio e Isis por ser una parte muy importante en esta gran aventura y en mi vida.

A mis sinodales por su tiempo y dedicación en este último paso de la carrera.

A la Facultad de Ingeniería por haberme dado la oportunidad de hacer una carrera profesional y brindarme todo para el término de ella.

A la UNAM por haberme albergado desde la Preparatoria hacerme una persona con bases y valores, y que jamás dejaré de representarla en el camino de mi vida.

**Manuel A. Ake Jarquin**

---

# Contenido

<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Breve historia de las comunicaciones móviles .....	2
1.2 Objetivo y estructura de la tesis .....	5
<b>Capítulo 2. Fundamentos Generales</b> .....	<b>8</b>
2.1 Célula .....	8
2.2 Reuso de frecuencia .....	8
2.3 Subdivisión Celular .....	9
2.4 Transferencia de llamada .....	10
2.5 Componentes del Sistema Celular .....	11
2.6 Técnicas de modulación digital .....	12
2.7 Técnicas de Acceso .....	16
<b>Capítulo 3. Desarrollo de los primeros sistemas móviles</b> .....	<b>20</b>
3.1 Sistemas móviles de primera generación .....	20
3.2 NMT-450 y NMT-900 .....	21
3.3 AMPS .....	22
3.4 TACS .....	25
3.5 Comparación de sistemas de primera generación .....	26
3.6 Inicio de los sistemas móviles de segunda generación .....	27
3.7 GSM .....	27
3.8 IS-136 .....	41
3.9 IS-95 .....	46
3.10PDC .....	54
3.11 Comparación de sistemas de segunda generación .....	56
<b>Capítulo 4. Perspectiva de los Sistemas 2G Basados en TDMA</b> .....	<b>57</b>
4.1 Características de las redes de paquetes de datos .....	58
4.2 Arquitectura de GPRS .....	60
4.3 Principales protocolos en la red GPRS .....	62
4.4 Interfaz de Aire .....	64
4.5 Establecimiento de conexión con la red GPRS .....	67
4.6 Administración de la ubicación .....	69
4.7 Equipos GPRS .....	70
4.8 Formas de Cobro .....	72
4.9 EDGE .....	73

---

4.10	Posibilidades para IS-136 .....	76
<b>Capítulo 5.</b>	<b>Estándares Móviles de Tercera Generación .....</b>	<b>80</b>
5.1	Características comunes de los sistemas 3G .....	81
5.2	Actividades de Estandarización .....	82
5.3	WCDMA .....	83
5.4	La evolución de los equipos .....	99
5.5	Con qué servicios se contarán .....	102
<b>Capítulo 6.</b>	<b>Situación Actual .....</b>	<b>105</b>
6.1	Japón .....	105
6.2	Europa .....	108
6.3	Estados Unidos .....	111
6.4	México .....	112
<b>Capítulo 7.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>115</b>
	<b>Apéndice A .....</b>	<b>119</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>124</b>
	<b>Lista de Acrónimos .....</b>	<b>127</b>
	<b>Índice .....</b>	<b>129</b>

---

---

# Lista de Figuras

Figura 1.1	Equipos móviles en uso para los siguientes años . . . . .	1
Figura 1.2	Sistema móvil convencional . . . . .	2
Figura 1.3	Impulso en el crecimiento de la industria : equipos más pequeños . . . . .	3
Figura 1.4	Dispositivo móvil de tercera generación. . . . .	5
Figura 1.5	Evolución hacia la tercera generación . . . . .	6
Figura 2.1	Reuso de frecuencias. . . . .	9
Figura 2.2	Subdivisión celular . . . . .	9
Figura 2.3	Transferencia de llamada entre células adyacentes . . . . .	10
Figura 2.4	Principales componentes de un sistema celular . . . . .	11
Figura 2.5	Modulación FSK . . . . .	13
Figura 2.6	Modulación PSK . . . . .	13
Figura 2.7	Modulación MSK . . . . .	14
Figura 2.8	BPSK y QPSK en el dominio de la fase . . . . .	15
Figura 2.9	Concepto de FDMA . . . . .	17
Figura 2.10	Concepto de TDMA . . . . .	18
Figura 2.11	Concepto de CDMA . . . . .	19
Figura 3.1	Características principales NMT-450 y NMT-900 . . . . .	22
Figura 3.2	Espectro para las bandas A y B . . . . .	23
Figura 3.3	Tono Supervisor de Audio (SAT). . . . .	24
Figura 3.4	Arquitectura de un sistema GSM . . . . .	28
Figura 3.5	Estructura de la trama TDMA en GSM . . . . .	32
Figura 3.6	Jerarquía de tramas . . . . .	35
Figura 3.7	Protocolos usados en GSM . . . . .	35
Figura 3.8	Establecimiento de llamada hacia un móvil . . . . .	37
Figura 3.9	Establecimiento de llamada desde un móvil . . . . .	38
Figura 3.10	Tipos de Handover . . . . .	40
Figura 3.11	Estructura de trama IS-136 . . . . .	42
Figura 3.12	Canales de Control . . . . .	43
Figura 3.13	Hipertramas y Supertramas . . . . .	45
Figura 3.14	Canales físicos en CDMA . . . . .	46
Figura 3.15	Resistencia a la interferencia . . . . .	48
Figura 3.16	Esparcimiento de una señal . . . . .	49
Figura 3.17	Canales lógicos . . . . .	50

---

Figura 3.18	Estructura de trama en PDC .....	54
Figura 3.19	Estructura de canales en PDC .....	55
Figura 4.1	Evolución hacia 3G .....	58
Figura 4.2	Transmisión de datos en circuitos conmutados .....	59
Figura 4.3	Transmisión de datos en redes de paquetes .....	60
Figura 4.4	Arquitectura de la red GPRS .....	62
Figura 4.5	Protocolos en GPRS .....	63
Figura 4.6	Segmentación de paquetes de datos .....	64
Figura 4.7	Estructura del canal de paquetes (PDCH) .....	65
Figura 4.8	Conexión GPRS .....	67
Figura 4.9	Activación del contexto PDP .....	69
Figura 4.10	Modelo de estados de una estación móvil GPRS .....	70
Figura 4.11	Elementos afectados por la implementación de EDGE .....	73
Figura 4.12	Modulación 8PSK .....	74
Figura 4.13	Usuarios de las principales tecnologías de 2G .....	77
Figura 4.14	Transición de IS-136 a GSM .....	78
Figura 5.1	Estándares IMT-2000 .....	80
Figura 5.2	Concepto de Esparcimiento .....	84
Figura 5.3	Canalización y Combinación .....	86
Figura 5.4	Canalización y Combinación de canales físicos .....	88
Figura 5.5	Árbol de códigos de canalización .....	89
Figura 5.6	Canalización y Combinación en la bajada .....	90
Figura 5.7	Tipos de Canales .....	92
Figura 5.8	Arquitectura de Red (Release 1999) .....	95
Figura 5.9	Arquitectura de Red (Release 4) .....	96
Figura 5.10	Arquitectura de Red (Release 5) .....	98
Figura 5.11	Equipos de usuario de nueva generación .....	100
Figura 5.12	Ejemplo de mensaje MMS .....	103
Figura 6.1	Usuarios de "i-mode" .....	106
Figura 6.2	Usuarios de FOMA .....	107
Figura 6.3	Equipos ofrecidos por NTT DoCoMo para FOMA .....	108
Figura 6.4	Teléfonos GPRS disponibles en Europa .....	109
Figura 6.5	Equipos recientes GPRS .....	110
Figura 6.6	Usuarios de Telefonía Móvil y Fija .....	112
Figura 7.1	Desarrollo que preveemos en México de las tecnologías tratadas en esta tesis .....	118

---

---

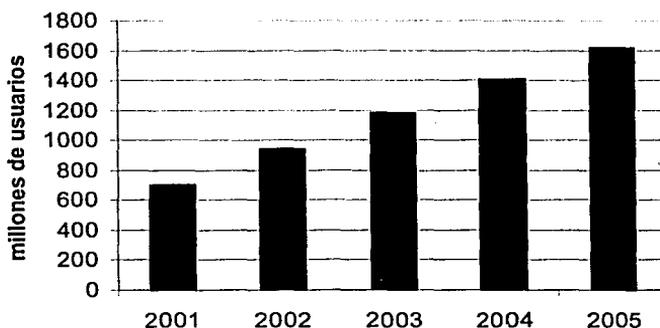
## Lista de Tablas

Tabla 3.1	Clase de Potencia para terminales móviles . . . . .	25
Tabla 3.2	Parámetros Técnicos de estándares celulares analógicos . . . . .	26
Tabla 3.3	Descripción de canales de control. . . . .	44
Tabla 3.4	Parámetros técnicos de estándares celulares digitales . . . . .	56
Tabla 4.1	Esquemas de codificación en GPRS . . . . .	67
Tabla 4.2	Clases de equipos móviles . . . . .	71
Tabla 4.3	Parámetros para el cobro de servicios GPRS . . . . .	72
Tabla 4.4	Esquemas de modulación y codificación para EDGE . . . . .	75
Tabla 5.1	Factores de Esparcimiento y Tasas de Usuarios . . . . .	85
Tabla 5.2	Asociación de códigos primarios y secundarios . . . . .	91
Tabla 5.3	Características de los códigos de canalización y combinación. . . . .	92
Tabla 5.4	Clases de Servicio. . . . .	98
Tabla 6.1	Tarifas para servicio FOMA . . . . .	107
Tabla 6.2	Tarifas GPRS (Telefonía Movistar) . . . . .	109
Tabla 6.3	Precios del servicio mMode de AT&T . . . . .	111
Tabla 6.4	Regiones de México para Telefonía Móvil. . . . .	113
Tabla 7.1	Conclusiones y Recomendaciones . . . . .	118

# 1. Introducción

En los últimos años el mercado de las telecomunicaciones móviles ha experimentado un fuerte crecimiento a nivel mundial debido a la necesidad de estar comunicado en cualquier parte y en cualquier momento teniendo la capacidad de transmitir no solo voz sino datos. De acuerdo con los expertos en la industria de las telecomunicaciones, más de mil millones de equipos móviles estarán en uso a nivel mundial para el año 2003<sup>1</sup> como lo muestra la Figura 1.1

*Figura 1.1 Equipos móviles en uso para los siguientes años*



(fuente: Mobile@ovum)

Se espera que para el año 2004 el 30% de todos los usuarios de servicios inalámbricos tendrán acceso a internet a través de sus equipos cambiando de manera radical la forma en que nos comunicamos actualmente ofreciendo video en demanda, servicios multimedia, transferencia de archivos, internet entre otros servicios, todos ellos con una característica fundamental: movilidad.

---

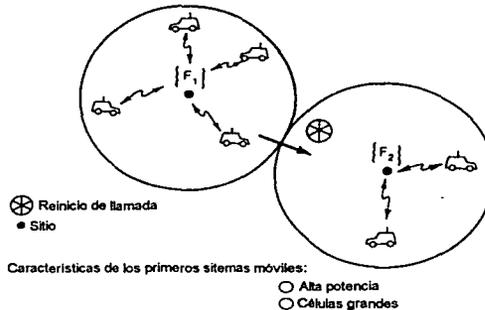
1. fuente: Mobile@ovum

## 1.1 Breve historia de las comunicaciones móviles

A finales del siglo XIX Heinrich Hertz fue el primer científico que logró emitir y recibir ondas de radio, lo anterior fue precedente para que a principios del siglo XX existiera ya un sistema de comunicación de radio, el cual ofrecía una característica hasta antes inusual: movilidad.

Los primeros sistemas móviles convencionales contaban con pocos canales y éstos se utilizaban para atender a una zona geográfica autónoma, es decir, que el usuario que iniciaba una llamada dentro de una zona tenía que reiniciar la llamada si se movía a una zona nueva debido a que la llamada se perdía, ver Figura 1.2

*Figura 1.2 Sistema móvil convencional*



Normalmente se procuraba que el área de cobertura de la zona atendida fuera lo más grande posible lo cual significa que la potencia transmitida era tan grande como las especificaciones lo permitieran.

A finales de la década de los sesenta, se comenzó el trabajo para el primer sistema telefónico celular. El término celular se refiere a dividir el área de servicio en muchas regiones pequeñas llamadas células, cada una atendida por un transmisor de baja potencia. La frecuencia asignada a una célula para atender a los usuarios se volvía a utilizar en otra célula no adyacente a la primera. Otra de las características básicas del sistema celular es la transferencia de llamada, es decir, que una llamada no se perderá incluso cuando el usuario cambie de célula.

Estas ideas básicas revolucionaron las comunicaciones inalámbricas dando paso al desarrollo de una gran industria.

La primera generación de sistemas celulares móviles era analógica y se basaba en la tecnología de multiplexación por división de frecuencia. Limitados a la tecnología de aquel entonces, los teléfonos eran grandes, colocados en fundas del tamaño de un portafolio e instalados en un automóvil. Debido a esto el crecimiento de la industria se calculaba de acuerdo al número de vehículos que podrían tener un teléfono y el número de personas que podría pagar por él, por lo tanto, se esperaba un crecimiento moderado de la industria y así sucedió durante la década de los ochenta.

Gracias a los avances en tecnología de semiconductores, a finales de la década de los ochenta, la industria recibió un fuerte impulso. Utilizando circuitos integrados de aplicaciones específicas, el tamaño de los teléfonos disminuyó (ver Figura 1.3) permitiendo una mayor revolución para la telefonía celular por dos principales razones: en primer lugar, el cálculo de crecimiento se basaba ahora en el número de personas y no de automóviles y en segundo lugar la función de los teléfonos estaba cambiando de ser capaces de llamar desde un vehículo a ser capaces de llamar desde cualquier parte. Esto incrementó fuertemente el interés de la gente por tener un teléfono celular incrementando así el mercado.

*Figura 1.3 Impulso en el crecimiento de la industria : equipos más pequeños*



El segundo impulso que recibió la industria celular lo dió la llegada de los estándares de segunda generación , que se desarrollaron principalmente debido a la necesidad de los operadores de contar equipos que permitieran tener mayor capacidad. Los principales sistemas de segunda generación son : el sistema global para comunicaciones móviles (GSM, *Global System for Mobile Communications*) que es el que cuenta con más usuarios y se utiliza principalmente en Europa; IS-136 (*Interim Standard 136*) e IS-95 (*Interim Standard 95*) conocidos comúnmente por el método de acceso utilizado: TDMA (*Time Division Multiple Access*) y CDMA (*Code Division Multiple Access*) respectivamente, éstos se utilizan principalmente en América; y PDC (Personal Digital Cellular) implementado de manera local en Japón (ver “Inicio de los sistemas móviles de segunda generación” en la página 27).

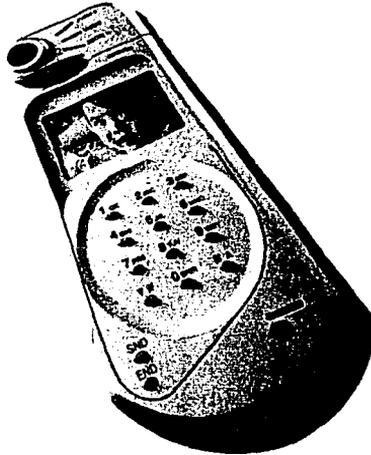
Todos esos sistemas se caracterizan por ser sistemas digitales. Esta característica no solo ha mejorado la calidad de voz y de servicios sino que ha reducido el costo del equipo del usuario y el de la red conduciendo así a una mayor aceleración del crecimiento de la industria desde mediados de la década de los noventa.

En el caso de México dos eventos fueron los que impulsaron el crecimiento de la telefonía móvil:

- Las tarifas de prepago y
- La modalidad “El que llama paga”

Para el comienzo de este siglo se anticipa el desarrollo de sistemas de tercera generación. La característica principal de estos sistemas será la significativa mejoría en la transmisión de datos y servicios multimedia. El gran potencial de esta nueva generación esta en la comunicación no solo de persona a persona sino de persona a máquina y de máquina a máquina.

*Figura 1.4 Dispositivo móvil de tercera generación*



Para implementar estas nuevas capacidades que involucran a los sistemas de tercera generación se deben definir nuevos estándares a nivel mundial. El proceso de desarrollar estos estándares ha tomado años de esfuerzo por cientos de compañías participantes y agencias de gobierno alrededor del mundo.

La adopción de estándares de tercera generación no puede ser llevada a cabo en un solo paso por lo que durante la transición de segunda a tercera generación habrá desarrollos de tecnologías intermedias que permitirán la evolución escalonada hacia la tercera generación de sistemas móviles.

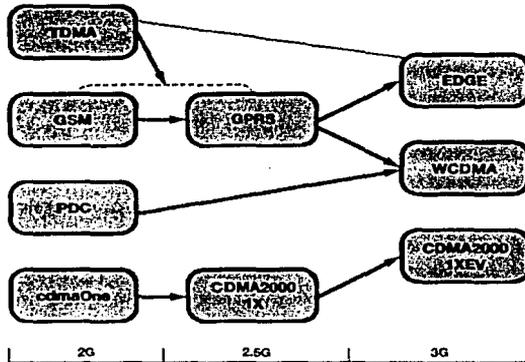
## **1.2 Objetivo y estructura de la tesis**

El tipo de tecnología que se adopte para llegar a la tercera generación dependerá de varios factores como son:

- la banda de frecuencia con la que se cuenta,
- la tecnología precedente de segunda generación
- la penetración del servicio de telefonía móvil.

En la Figura 1.5 se muestra un mapa evolutivo hacia la tercera generación que se prevee ocurra en base a la tecnología utilizada en segunda generación.

Figura 1.5 Evolución hacia la tercera generación



El objetivo de esta tesis es ofrecer un estudio de las tecnologías a través de las cuales un operador basado en tecnología de acceso TDMA podrá ofrecer servicios de tercera generación enfocándonos principalmente a las tecnologías GPRS, EDGE y WCDMA. Con el desarrollo de esta tesis se pretende obtener el conocimiento de las nuevas tecnologías que están surgiendo mundialmente en la industria de las comunicaciones móviles así como de las nuevas arquitecturas de red implementadas. De igual forma, al final de esta tesis esperamos contar con los conocimientos necesarios para ofrecer una predicción del desarrollo inmediato de las tecnologías de 2.5 y 3G en México.

Para lograr este objetivo se realiza un análisis de GPRS, estudiando sus características, su implementación en redes ya existentes y sus limitaciones. También se explora la implementación de EDGE así como de WCDMA. Paralelamente se estudian los servicios probables con los que contarán las nuevas redes, así como el reto de introducir estos servicios a un mercado totalmente orientado al uso del teléfono para la transmisión de voz.

Esta tesis esta estructurada en 7 capítulos, el primero de los cuales ofrece una breve historia y un panorama general de la situación actual de los sistemas móviles. En el segundo capítulo se exponen los conocimientos básicos requeridos para el entendimiento de los sistemas celulares. En el capítulo tres se describen los principales estándares móviles de primera y segunda generación resaltando sus características principales y diferencias entre los mismos.

Para el capítulo cuatro se describe detalladamente la evolución hacia la tercera generación de los sistemas actuales basados en TDMA a través de la tecnología GPRS, se estudian sus características, los nuevos elementos que se tienen que introducir en las arquitecturas actuales de la red, los servicios ofrecidos, entre otras cosas. Se presenta también la tecnología EDGE como medio para ofrecer mayores velocidades de transmisión en la interfaz de aire.

En el capítulo cinco se describe WCDMA que es el estándar de tercera generación al que podría evolucionar GPRS siempre y cuando se cuente con el espectro necesario, se incluye también una descripción de los nuevos equipos necesarios para trabajar en las nuevas redes. Para el capítulo 6 se explora la situación actual mundial y en México de la tercera generación, algunas aplicaciones y casos de estudio, resaltando, principalmente las tres grandes zonas de desarrollo de sistemas móviles : Japón, Europa y Estados Unidos. Finalmente en el capítulo 7 se exponen las conclusiones y recomendaciones. Cabe aclarar que debido a la naturaleza técnica de las telecomunicaciones, abundan en el medio gran cantidad de acrónimos, la mayoría de los cuales representan términos en inglés. Por esta razón al final de esta tesis se incluye una lista de acrónimos y su significado. Generalmente, cuando se haga uso de estos acrónimos se utilizarán las siglas en inglés debido a que es la forma común en la que se le conoce en el mundo de las telecomunicaciones incluso en países de habla hispana.

## **2. Fundamentos Generales**

En este capítulo se expone la teoría fundamental de los sistemas móviles, los conceptos de célula, métodos de acceso, tipos de modulación, entre otros.

### **2.1 Célula**

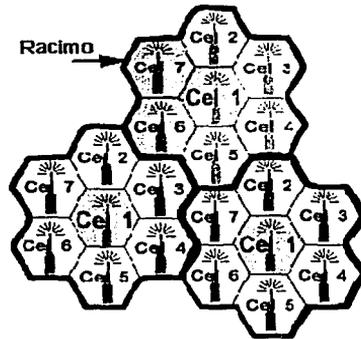
La idea de las comunicaciones celulares es muy sencilla, los primeros sistemas móviles implicaban una antena de alta potencia que atendía a una gran región geográfica, que a su vez, solo contaba con algunos canales de radio disponibles. El concepto de célula maneja mejor esta situación. En vez de utilizar una sola antena de alta potencia para atender a una región geográfica grande, utiliza muchas antenas de baja potencia que atienden a regiones más pequeñas. Así, en lugar de atender a toda una ciudad con una antena, la ciudad se divide en pequeñas áreas de cobertura llamadas células. Al reducir el área de cobertura total en pequeñas células resulta posible reutilizar la misma frecuencia en distintas células lo que se conoce como reuso de frecuencia.

### **2.2 Reuso de frecuencia**

Debido a que el espectro es un recurso limitado y se debe administrar eficientemente, únicamente un número de frecuencias de canales de radio se brindaron para los sistemas móviles, esto motivó a que se encontrara una manera para reusar los canales de radio. La solución adoptada fue llamada planeo de frecuencias o reuso de frecuencias (ver Figura 2.1).

La forma hexagonal que se muestra en la Figura 2.1 es conceptual y es un modelo simple de la cobertura de radio de cada estación base, pero ha sido adoptada ya que permite un análisis sencillo. El concepto de reuso de frecuencias se basa en la asignación para cada célula de un grupo de canales de radio usados dentro de una área geográfica pequeña. A las células se les asignan canales que son completamente diferentes a los de células adyacentes. A el grupo de células que utilizan distintos canales entre sí, se le conoce como racimo, siendo el racimo más común aquel conformado por 7 células.

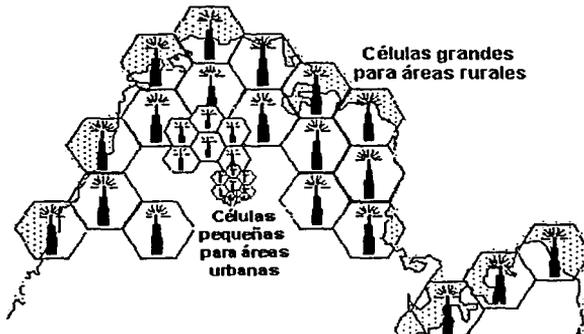
Figura 2.1 Reuso de frecuencias



## 2.3 Subdivisión Celular

Desde el punto de vista económico, el concepto de crear sistemas completos con muchas áreas pequeñas es poco práctico. Para superar esta dificultad, se desarrolló la idea de "subdivisión celular". Como una área de servicio llega a saturarse de usuarios, este método es usado para subdividir una área única dentro de unas áreas más pequeñas. De esta manera, los centros urbanos pueden ser subdivididos en muchas áreas para brindar niveles de servicio aceptables en regiones de alto tráfico.

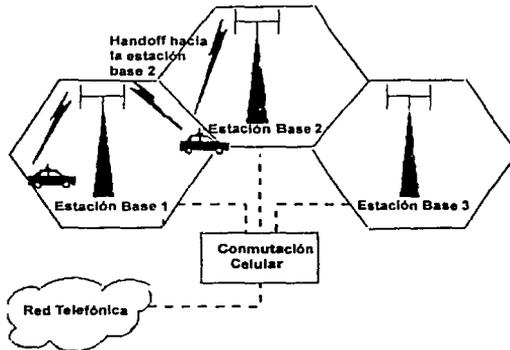
Figura 2.2 Subdivisión celular



## 2.4 Transferencia de llamada

Un problema presente en el desarrollo de la red celular, es el creado cuando un usuario móvil viaja a través de una célula a otra durante una llamada. Debido a que las células adyacentes no utilizan los mismos canales de radio, cuando un usuario pasa de la cobertura de una célula a otra, la llamada corre el riesgo de perderse. Ya que perder la llamada es inaceptable se creó el proceso de transferencia de llamada (ver Figura 2.3). La transferencia de llamada ocurre cuando la red telefónica móvil automáticamente transfiere la llamada de un canal de radio a otro a través de células adyacentes.

*Figura 2.3 Transferencia de llamada entre células adyacentes*



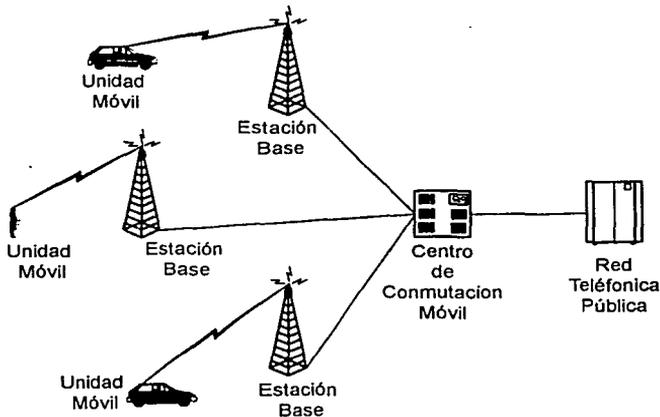
Cuando una unidad móvil se mueve fuera del área de cobertura de una estación base dada, la señal recibida por el equipo se debilita, en este momento se inicia el proceso de transferencia de llamada. El sistema transfiere la llamada a un canal de voz cuya señal sea más fuerte que la utilizada hasta el momento de la transferencia. Este proceso se realiza automáticamente sin que el usuario se dé cuenta en ningún momento de que está siendo atendido por otra estación base.

## 2.5 Componentes del Sistema Celular

Los principales componentes de un sistema celular que trabajan para brindar el servicio móvil a los usuarios son esencialmente:

- Red Telefónica Pública Conmutada (por sus siglas en inglés: PSTN, *Public Switched Telephone Network*)
- Centro de Conmutación Móvil (por sus siglas en inglés: MSC, *Mobile Switching Center*)
- Estación Base
- Unidad Móvil

Figura 2.4 Principales componentes de un sistema celular



### 2.5.1 Red Telefónica Pública Conmutada

La red telefónica pública conmutada es una red de telecomunicaciones que ofrece servicios de telefonía alámbrica, por lo tanto es deseable y existen políticas de interconexión para lograr que todo sistema celular se conecte con la red telefónica pública conmutada (PSTN) ya que de esta manera es posible que se realicen llamadas desde un teléfono fijo a uno móvil y viceversa.

### 2.5.2 Centro de Conmutación Móvil

El centro de conmutación móvil es el equipo que se encarga de conmutar llamadas. Este elemento de la red también se encarga de realizar las transferencia de llamadas así como establecer y liberar llamadas, además de ser el elemento que hace posible la interconexión con la red telefónica pública conmutada.

### 2.5.3 Estación Base

El término estación base se usa para referirse a la ubicación física del equipo de radio que proporciona la cobertura dentro de una célula. Entre el equipo con el que cuenta una estación base se encuentran fuentes de potencia, equipo de interfaz, transmisores y receptores de radio frecuencia, y sistemas de antenas. Entre la estación base y el equipo móvil se realizan las mediciones de la potencia de la señal para decidir si es necesaria una transferencia de llamada.

### 2.5.4 Unidad Móvil

El equipo móvil es aquel que va con el usuario y que le permite el acceso a la red a través de la estación base y que normalmente lo identificamos como el teléfono celular.

## 2.6 Técnicas de modulación digital

A pesar de que en un inicio la modulación utilizada en telefonía celular era analógica, actualmente los sistemas celulares utilizan esquemas de modulación digital, razón por la cual a continuación se explican los principales tipos de modulación para transmitir información digital.

Los métodos básicos de modulación digital consisten, al igual que en la modulación analógica, en modificar uno de tres parámetros característicos de una señal: amplitud, frecuencia o fase. A continuación se explican los principales esquemas de modulación o modificaciones de los mismos que se utilizan en los sistemas móviles.

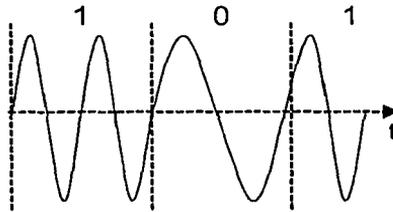
### 2.6.1 Modulación FSK

Un esquema de modulación utilizado comunmente en comunicaciones inalámbricas es FSK (*Frequency Shift Keying*). Este esquema de modulación se utilizó principalmente en los primeros sistemas móviles, en los cuales la

información de usuario se transmitía en FM, pero la información de control se transmitía en FSK.

La forma más simple de modulación FSK, también llamada BFSK (*Binary FSK*), asigna una frecuencia  $f_1$  al dígito binario 1 y otra frecuencia  $f_2$  al dígito binario 0 como lo muestra la Figura 2.5 .

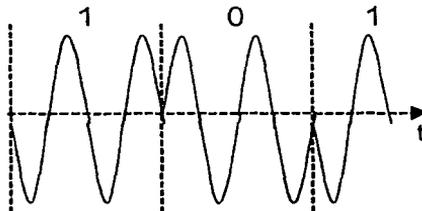
Figura 2.5 Modulación FSK



### 2.6.2 Modulación PSK

PSK (*Phase Shift Keying*) usa cambios en la fase de una señal para representar a los datos. En la siguiente figura se muestra un cambio de fase de  $180^\circ$  cada vez que ocurre una transición de 0 a 1 o viceversa. A este esquema simple también se le conoce como BPSK (*Binary PSK*). Para poder recibir la señal correctamente el receptor debe sincronizarse en frecuencia y fase con el transmisor. Comparado con FSK, PSK es más resistente a la interferencia, pero el equipo transmisor y el receptor son más complejos.

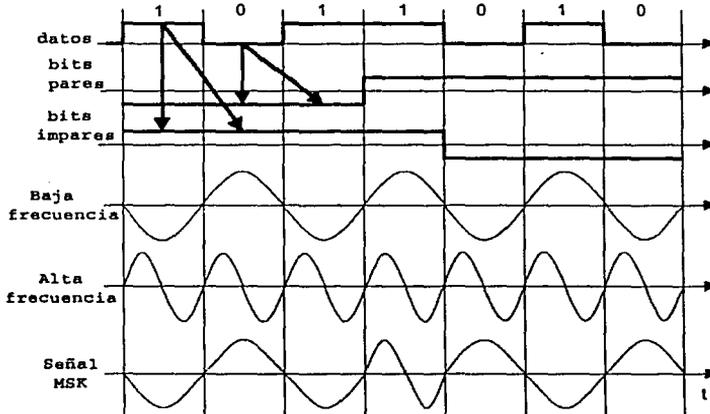
Figura 2.6 Modulación PSK



### 2.6.3 Modulación MSK

Un esquema de modulación derivado de FSK y que se utiliza en muchos sistemas inalámbricos es MSK (*Minimum Shift Keying*). MSK es básicamente BFSK sin cambios abruptos de fase. En la Figura 2.7 se observa un ejemplo de la implementación de MSK.

Figura 2.7 Modulación MSK



En un primer paso, los datos son separados en bits pares e impares y la duración de cada bit se duplica. El esquema también utiliza dos frecuencias:  $f_1$ , la frecuencia menor y  $f_2$ , la frecuencia mayor, siendo  $f_2=2f_1$ . La frecuencia mayor o menor se elige de acuerdo al siguiente esquema:

- Si ambos bits, par e impar, son 0, se elige la señal de frecuencia mayor con un cambio de fase de  $180^\circ$ .
- Si el bit par es 1 y el bit impar es 0, se elige la señal de frecuencia menor con un cambio de fase de  $180^\circ$ . Este es el caso de la quinta a la séptima columna en la Figura 2.7.

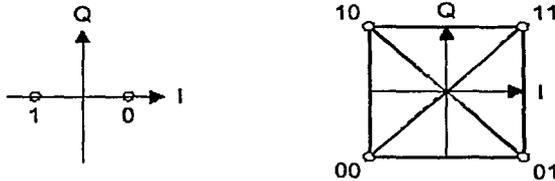
- Si el bit par es 0 y el bit impar es 1, se elige la señal de frecuencia menor sin ningún cambio. Es el caso de las primeras tres columnas.
- Finalmente, si ambos bits son 1, se elige la señal de frecuencia mayor sin cambio alguno como es el caso de la cuarta columna.

Si a la señal MSK se le aplica un filtro pasobajas de tipo Gausiano, se obtiene como resultado un tipo de modulación que es utilizado ampliamente en sistemas móviles llamado GMSK (*Gaussian MSK*). Al aplicar el filtro se reduce el gran ancho de banda necesitado por MSK.

#### 2.6.4 Modulación PSK avanzada

El esquema PSK puede mejorarse de varias maneras. El esquema básico de PSK utiliza solamente un cambio de fase de  $180^\circ$ . El lado izquierdo de la siguiente figura muestra la modulación BPSK en el dominio de la fase. El lado derecho muestra la modulación QPSK (*Quadrature PSK*), una de las más comunes derivaciones de PSK.

Figura 2.8 BPSK y QPSK en el dominio de la fase



En el caso de QPSK se pueden alcanzar mayores tasas de transmisión con el mismo ancho de banda codificando dos bits en un cambio de fase. Del mismo modo, se puede reducir el ancho de banda y aún alcanzar la misma tasa de transmisión que usando BPSK.

QPSK puede llevarse a cabo en dos variantes. El cambio de fase puede ser relativo a una señal de referencia. Al utilizar este esquema, un cambio de fase de  $0^\circ$  significa que la señal está en fase con la señal de referencia. Por lo tanto, una señal QPSK tendrá un cambio de fase de  $45^\circ$  para los datos 11, de  $135^\circ$  para 10, de  $225^\circ$  para 00 y de  $315^\circ$  para 01, siendo todos los cambios de fase relativos a la señal de referencia.

Para reconstruir los datos, el receptor tiene que comparar la señal entrante con la de referencia. Un problema de este esquema tiene que ver con la generación de la señal de referencia en el receptor ya que el transmisor y el receptor deben sincronizarse continuamente.

Una forma de evitar este problema es usar DQPSK (Differential QPSK). En este caso el cambio de fase no es relativo a una señal de referencia sino a la fase de los dos bits anteriores. Por esta razón, el receptor no necesita una señal de referencia sino que compara dos señales para reconstruir los datos.

Se podría pensar en extender el esquema usando más cambios de fase. Por ejemplo con 8 ángulos se pueden codificar 3 bits por cambio. Adicionalmente el esquema PSK puede combinarse con ASK para así no solo utilizar cambios de fase sino de amplitud. A este tipo de modulación se le conoce como QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) y es utilizada en los modems. Lo importante es tener en cuenta que mientras más puntos sean utilizados en el dominio de la fase, más difícil será separarlos para reconstruir los datos en el receptor.

## 2.7 Técnicas de Acceso

A una compañía de servicio celular se le asigna un segmento del ancho de banda de radio disponible para brindar el servicio de telefonía móvil. Idealmente, para servicio full-duplex, una porción del ancho de banda se asigna para transmisión de una estación base a un suscriptor móvil, y la otra porción se asigna en la dirección del usuario móvil a la estación base. Las distintas técnicas de acceso proveen distintos métodos de aprovechar el ancho de banda disponible.

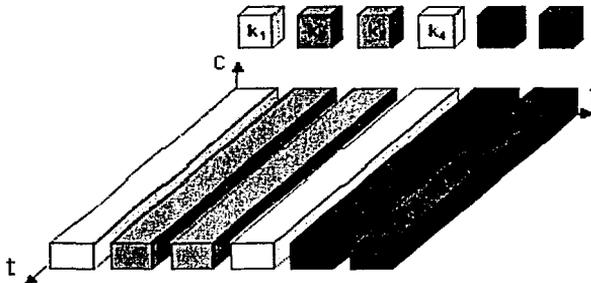
En este trabajo abordaremos los tres métodos de acceso más utilizados para el servicio de telefonía móvil: acceso multiple por división de frecuencia (FDMA, *Frequency Division Multiple Access*), acceso multiple por división del tiempo (TDMA, *Time Division Multiple Access*) y acceso multiple por división de código (CDMA, *Code Division Multiple Access*).

### 2.7.1 FDMA

Con el Acceso Multiple por División de Frecuencia, nuestra banda de frecuencias se divide en segmentos y cada segmento está disponible para un acceso de usuario en un tiempo. La mitad de los segmentos contiguos es asignado a una estación base para emitir hacia los usuarios móviles y la otra mitad para recepción. Una banda de guarda es usualmente brindada entre los canales contiguos de emisión y recepción.

Este concepto se muestra en la Figura 2.9 , designando a  $k_n$  como un canal de usuario.

Figura 2.9 Concepto de FDMA



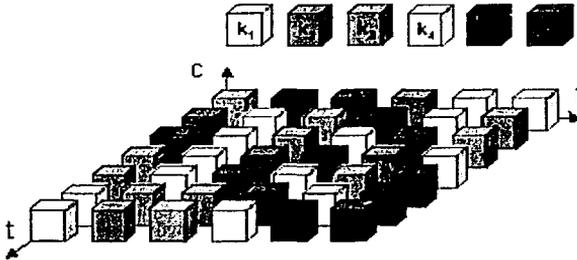
La clave para optimizar el número de usuarios por ancho de banda, es el ancho de banda utilizado por cada segmento de usuario. Este ancho puede ser por ejemplo de 30kHz o 200kHz como se detallará más adelante al explicar los distintos estándares de segunda generación. El ancho de banda de un segmento de usuario se determina en gran medida por el ancho de banda de la información y el tipo de modulación utilizada.

### 2.7.2 TDMA

Con TDMA trabajamos en el dominio del tiempo mas que en el dominio de la frecuencia de FDMA. A cada usuario se le asigna una ranura de tiempo mas que un segmento de frecuencia, el ancho de banda completo está disponible para la duración de la ranura de tiempo asignada al usuario.

En el caso de FDMA, se tenían  $n$  segmentos de frecuencia y  $n$  portadoras de radio, una para cada segmento. Para el caso de TDMA, únicamente se requiere una portadora. Cada usuario accesa a la portadora durante  $1/n$  del tiempo y hay generalmente una secuencia ordenada en la sucesión de ranuras de tiempo. La Figura 2.10 ilustra el concepto básico de TDMA.

Figura 2.10 Concepto de TDMA



TDMA es un sistema de almacenaje y de rafaga. El tráfico que llega del usuario se almacena en memoria, y cuando toca el turno para que el usuario transmita, el tráfico acumulado se transmite en una ráfaga digital.

Para 10 usuarios, por ejemplo, asignando una tasa de bits a cada usuario de  $R$ , entonces una rafaga de un usuario debera ser al menos  $10R$ . Por supuesto, la rafaga sera mayor que  $10R$  para acomodar una cierta cantidad de bits de encabezado.

Definimos *downlink* como la rafaga de salida de la estación base a estaciones móviles, y *uplink* de la estación móvil a la estación base.

Los periodos típicos de tramas de acuerdo a dos importantes estándares son:

E.U.A IS-54 : 40 ms para seis ranuras de tiempo

Europa GSM : 4.615 ms para ocho ranuras de tiempo.

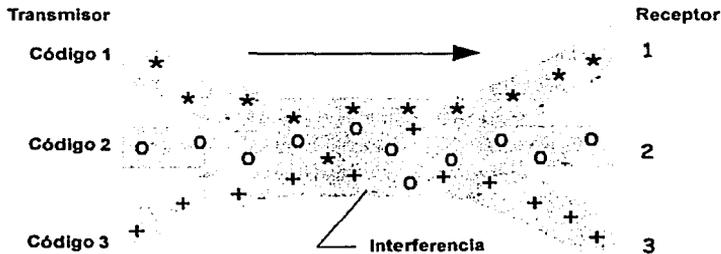
### 2.7.3 CDMA

CDMA significa acceso múltiple por división código. Esta técnica de acceso se basa en el concepto de espectro disperso. Hay dos tipos de espectro disperso: Salto de frecuencia y Secuencia Directa (algunas veces llamado pseudo-ruido). En el entorno de la telefonía celular, CDMA significa Espectro Disperso por Secuencia Directa.

Con el espectro disperso nosotros expandemos o dispersamos la señal de información sobre un muy amplio ancho de banda. Por ejemplo, con AMPS, un sistema típico de FM 30 KHz es requerido para transmitir el canal de voz de 4 KHz.

Si estamos dispersando un canal de voz sobre una muy amplia banda de frecuencia, parece que estamos afectando el propósito de conservación de la frecuencia, sin embargo con el espectro disperso varios usuarios pueden transmitir sobre la misma frecuencia teniendo una interferencia mínima uno a otro. Esto se logra al emplear un código diferente para cada usuario. En el receptor, las señales CDMA son separadas usando una correlación que acepta únicamente la energía de la señal del código usado en el transmisor, y de esa forma contrae su espectro. Las señales CDMA con códigos desiguales no se contraen y únicamente contribuyen al ruido aleatorio.

Figura 2.11 Concepto de CDMA



CDMA brinda un incremento en capacidad de 15 veces que el de su contraparte FDMA. La cantidad de potencia requerida para transmitir y superar la interferencia es comparativamente baja cuando se utiliza CMDA, esto se traduce en ahorro de equipo de infraestructura, además de una larga vida en las baterías de las terminales móviles.

### 3. Desarrollo de los primeros sistemas móviles

En la década de los ochenta aparecieron los primeros sistemas de telefonía celular ofreciendo servicios al público en general. La primera generación de sistemas móviles se distingue principalmente por utilizar técnicas analógicas, lo que hacía a los equipos ser grandes y tener mayores requerimientos de potencia. Para la década de los noventa se definen nuevos estándares que ya utilizan técnicas digitales lo que permite que los equipos sean portátiles y requieran de menos potencia. En este capítulo se hace una revisión de los principales estándares para sistemas móviles de primera y segunda generación.

#### 3.1 Sistemas móviles de primera generación

Los sistemas analógicos se encuentran dentro de la categoría de sistemas telefónicos móviles de primera generación.

Los primeros sistemas móviles que surgieron fueron los llamados “Sistemas de teléfono móvil” o MTS (*Mobile Telephone System*). Uno de los principales problemas con estos sistemas era que una llamada no se podía transferir de una región atendida por una antena a otra sin perder la comunicación.

Estos sistemas operaban con diferentes áreas de cobertura y las terminales requerían alta potencia de transmisión además tenían baja capacidad y su costo era alto, lo que implicó que el número de usuarios fuera mínimo.

El cambio llegó a inicios de la década de los ochenta, los problemas de capacidad fueron solucionados por la técnica celular y la telefonía móvil llegó a un gran número de usuarios.

Varios estándares se implementaron en muchos países a través del mundo, tal como el teléfono móvil nórdico (*NMT, Nordic Mobile Telephone*), el servicio telefónico móvil avanzado (*AMPS, Advanced Mobile Phone Service*) y el sistema de comunicación de acceso total (*TACS, Total Access Communications System*). Aplicaciones basadas en otros estándares fueron restringidas a su país de origen, como el Alemán C450, el Italiano RTMS, y el Francés Radiocom-2000.

### **3.2 NMT-450 y NMT-900**

El estándar NMT se usó principalmente en Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia. Las especificaciones se presentaron en 1975 durante la Conferencia de Telecomunicaciones Nordica. Este fue un estándar abierto el cual incluyó descripciones de la interfaz de radio y de otras interfaces incluyendo el enlace entre una estación base y una red telefónica conmutada.

NMT se introdujo principalmente en todos los países escandinavos y se lanzó oficialmente el 1° de Octubre de 1981. El estándar se adoptó en muchos países europeos, incluyendo los Países Bajos (1985), Luxemburgo (1985) y Bélgica (1987).

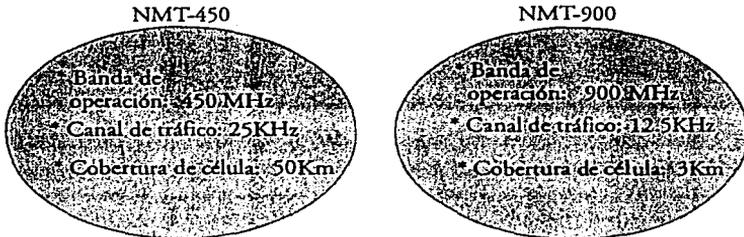
Variaciones de las redes NMT-450 se construyeron en Francia y España siendo Ericsson y Nokia son los proveedores más importantes de infraestructura.

El estándar NMT-450 es un sistema celular analógico que utiliza pares de frecuencias para las comunicaciones entre los teléfonos móviles y las estaciones base, éstas transmiten en la banda de 460MHz mientras que los teléfonos móviles lo hacen en la banda de 450MHz teniendo así una separación duplex de 10MHz. El ancho de banda disponible para el servicio es de  $2 \times 4.5\text{MHz}$  y el ancho de banda asignado para cada canal de usuario es de 25KHz. Con este sistema el área de cobertura de las células era de hasta 50Km.

El sucesor de NMT-450 es el NMT-900 el cual usa la banda de 900MHz. El primer sistema llegó a estar en operación en Scandinavia a finales de 1986. En Europa el NMT-900 se implementó únicamente en Holanda y Suiza por lo que para él solo se ofrecen esas dos redes.

La técnica NMT-900 esta basada en la de su predecesor. Varios parámetros se cambiaron: en él se utilizan dos secciones de espectro de 25 MHz y la separación duplex se incrementó a 45 MHz. El ancho del canal es de 12.5 KHz, acomodando a más usuarios en el espectro limitado. El sistema usa células más pequeñas, con un diámetro de 0.5 a 3 Km. Los teléfonos de bolsillo llegaron a ser posibles por primera vez. Estos tienen una potencia de transmisión de 1 W, a diferencia de los 6 W usados para la transmisión en los teléfonos de auto.

Figura 3.1 Características principales NMT-450 y NMT-900



### 3.3 AMPS

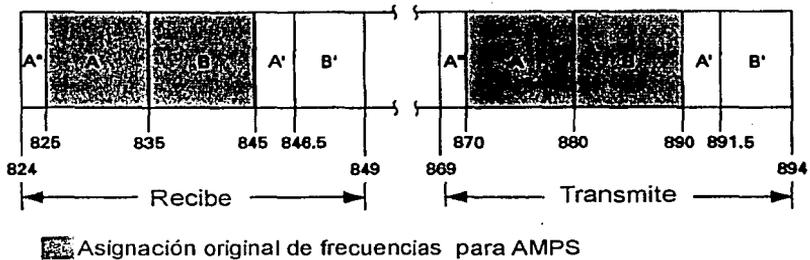
En 1979, los Laboratorios Bell diseñaron e instalaron un sistema celular móvil de prueba llamado Servicio Telefónico Móvil Avanzado (AMPS, *Advanced Mobile Phone System*) el cual fue el inicio de los sistemas de radio celular en los Estados Unidos y en la actualidad sigue siendo la base de los sistemas analógicos en operación. El estándar original de AMPS ocupaba solo 40MHz del espectro radioeléctrico en la banda de los 800MHz y contaba con 666 canales de 30KHz cada uno. Las estaciones base transmitían en el rango de frecuencias de 870 a 890MHz y los equipos móviles lo hacían en el rango de 825MHz a 845MHz.

Para 1986 cuando la demanda de servicios comenzó a incrementar la Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos le asignó 10MHz más al servicio AMPS. La nueva asignación de frecuencias quedó como de la siguiente manera: la estación base transmite en el rango de 869 a 894 MHz y los equipos móviles lo hacen de 824 a 849MHz.

Los canales están separados cada 30 KHz, dado que las bandas están separadas por 50 MHz el número máximo de canales de radio en ambos sentidos es de 832.

El espectro de radio disponible para el servicio celular se divide en dos espacios que se asignan para ser utilizados por dos proveedores del servicio móvil, llamado sistema A y sistema B. Cada uno cuenta con 416 canales (o con 333 en la versión original de AMPS). En la Figura 3.2 se muestra la ubicación de cada operador dentro del espectro asignado. La parte sombreada de indica la distribución del sistema AMPS original.

Figura 3.2 Espectro para las bandas A y B



En los inicios de los sistemas móviles el equipo móvil buscaba entre todos los canales del sistema alguno que estuviera libre, pero hoy en día tomaría mucho tiempo que el equipo móvil revisara todos los 832 canales disponibles (para el caso de AMPS extendido). Por esta razón se establecieron los canales de control ya que estos permiten que de forma rápida se le indique al equipo móvil cuando existe un canal libre.

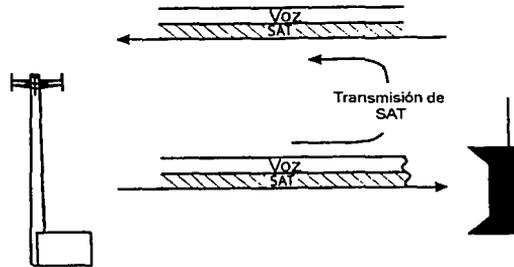
En AMPS de los 416 canales disponibles por sistema, 21 son canales de control siendo las principales funciones de los mismos las siguientes

- Enviar mensajes de transferencia de llamada
- Enviar mensajes de alerta que le indican al teléfono que se va a recibir una llamada
- Enviar mensajes de solicitud de acceso a la red

La supervisión de una llamada se lleva a cabo por un tono fuera de banda sobre el canal de voz (ver Figura 3.3) llamado Tono Supervisor de Audio (SAT, *Supervisory Audio Tone*), de acuerdo con el estándar AMPS, éste puede estar en una frecuencia de 5970, 6000, ó 6030 Hz. El SAT se envía regularmente cada 1/4 de segundo por la estación base a la unidad móvil, que entonces re-transmite el tono de regreso a la estación base. Si el tono de regreso no es recibido por la estación base por un largo tiempo, se determina que la unidad móvil ha dejado de transmitir.

La estación base envía información (llamado código de color SAT ó SCC) a la unidad móvil especificando el SAT que debe ser usado, y si el actual SAT recibido no es adecuado, la comunicación de voz se suspende.

Figura 3.3 Tono Supervisor de Audio (SAT)



Por otro lado, existe un tono de señalización (ST) de 10 KHz que se envía de la unidad móvil a la estación base para indicar a ésta cuando un usuario ha terminado una llamada o ha apagado su equipo. Esto permite que la estación base este enterada de que el usuario terminó la llamada deliberadamente y no por razones de fallas en la transmisión de la señal.

En AMPS también se define la transferencia de llamada, si durante el transcurso de una llamada, una unidad móvil se mueve al límite de cobertura de una célula y cruza este límite, la calidad de la señal de la célula adyacente gradualmente llega a ser mejor que en la anterior, dando así inicio al proceso de transferencia de llamada. Una ráfaga de datos se transmite de la estación base para indicar al equipo móvil que re-sintonice un nuevo canal. La conexión de voz se corta momentáneamente durante el periodo de transmisión de datos y conmutación de la estación base sin que el usuario se percate de ello.

### 3.4 TACS

La telefonía móvil se introdujo al Reino Unido más tarde que en los países Escandinavos. En 1981 se decidió tener dos proveedores: British Telecom quien llamo a su red Cellnet, y el segundo operador Racal/Millicom (ahora conocido como Vodafone). Varios estándares se consideraron para British, pero la presión de Vodafone resultó en la elección de un sistema variante del Americano AMPS, y se dio el nombre de Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (TACS, *Total Access Communication System*).

Las redes TACS formaron las redes más grandes antes del surgimiento del sistema global para las comunicaciones móviles (GSM, *Global System for Mobile Communications*). Una de las razones de esto es que los países que escogieron el sistema TACS generalmente tenían muchos más habitantes que los países que seleccionaron NMT-900.

Desde la perspectiva técnica, el cambio más grande es el ancho de banda del canal que fue reducido de 30 KHz del sistema AMPS a 25 KHz para TACS, mientras que la banda de frecuencia cambio de 800 a 900 MHz.

Como se muestra en la siguiente tabla, se definieron diferentes clases de potencia para las terminales, mismas que también se utilizaban en AMPS.

**Tabla 3.1 Clase de Potencia para terminales móviles**

Clase	Potencia de Transmisión (W)
1	10
2	4
3	1.6
4	0.6

### 3.5 Comparación de sistemas de primera generación

En la siguiente tabla se muestran las principales características de los principales sistemas móviles analógicos.

*Tabla 3.2 Parámetros Técnicos de estándares celulares analógicos*

	NMT-450	NMT-900	AMPS (Original)	AMPS (Extendido)	TACS
<b>País de Origen</b>	Escandinavia	Escandinavia	EU	E.U.	Reino Unido
<b>Primer Red Comercial</b>	1981	1986	1983	1986	1985
<b>Frecuencia de Transmisión del móvil [MHz]</b>	Banda de 450MHz	Banda de 890MHz	825-845	824-849	890-915
<b>Frecuencia de transmisión de la base [MHz]</b>	Banda de 460MHz	Banda de 935MHz	870-890	869-894	935-960
<b>Ancho de Banda disponible [MHz]</b>	2 x 4.5	2 x 25	2 x 20	2 x 25	2 x 15
<b>Separación Dúplex [MHz]</b>	10	45	45	45	45
<b>Espacio entre canales [KHz]</b>	25	12.5	30	30	25

### 3.6 Inicio de los sistemas móviles de segunda generación

Para mediados de los años ochenta la demanda por servicios de comunicación móvil mostraba un crecimiento constante además de que nuevos avances tecnológicos estaban apareciendo por lo que para finales de la década ya se tenían preparados nuevos estándares para telefonía móvil que se catalogaron como de segunda generación.

Las ventajas y características generales que implicaban los sistemas de segunda generación son:

- La voz se codifica digitalmente
- Ofrecen la posibilidad de utilizar esquemas eficientes de acceso (TDMA, CDMA)
- Facilidad de implementar una amplia variedad de servicios de voz y algunos servicios básicos de datos (identificación de llamadas, envío de mensajes)
- Mayor privacidad al facilitar la encriptación de datos.
- Mayor número de usuarios con el uso del mismo espectro

Diferentes sistemas de segunda generación se desarrollaron en el mundo, siendo los más representativas: GSM, desarrollado principalmente en Europa; IS-136 e IS-54, desarrollados en América; y PDC cuya aplicación se observa en Japón. En las secciones siguientes se explican las principales características de estos sistemas.

### 3.7 GSM

GSM representa el sistema de telecomunicaciones de segunda generación con más éxito en el mundo de acuerdo al número de usuarios que pertenecen a este sistema.

A principios de la década de los ochenta en Europa existían varios sistemas distintos e incompatibles que ofrecían servicios de primera generación. Para evitar problemas de incompatibilidad, principalmente en las frecuencias utilizadas, en 1982 se fundó GSM (*Groupe Spéciale Mobile*)<sup>1</sup> al que hoy en día se le conoce como sistema global para comunicaciones móviles (*Global System for Mobile Communications*). Las especificaciones de este estándar se publicaron en 1990 a través del ETSI (*European Telecommunication Standards Institute*). El objetivo

---

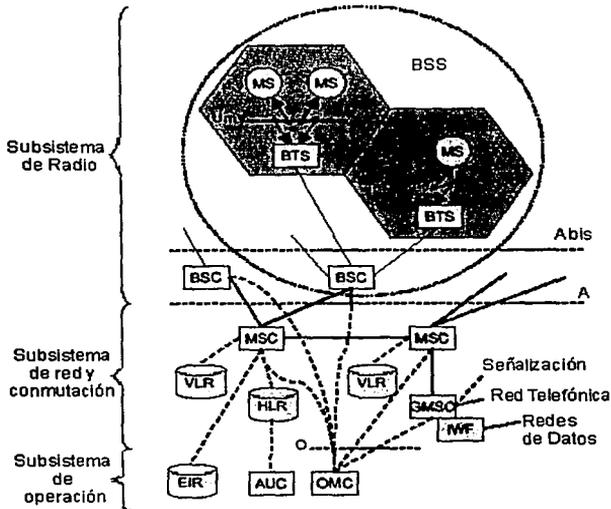
1. Este fue el nombre original con el que surgió GSM ([www.etsi.org](http://www.etsi.org))

principal de este estándar era ofrecer un sistema que permitiera a los usuarios viajar por toda Europa y contar siempre con el mismo servicio. Actualmente se calcula que más de 130 países utilizan redes GSM.

### 3.7.1 Arquitectura de la red

Como la mayoría de los sistemas en telecomunicaciones, GSM tiene una arquitectura jerárquica como se muestra en la Figura 3.4

Figura 3.4 Arquitectura de un sistema GSM



Un sistema GSM está compuesto por tres subsistemas:

- El subsistema de radio (RSS, *Radio SubSystem*)
- El subsistema de red y conmutación (NSS, *Network and Switching Subsystem*)
- El subsistema de operación (OSS, *Operation SubSystem*)

## Subsistema de Radio

En este subsistema se encuentran tres entidades principales:

### 1. Las Estaciones Móviles (MS, *Mobile Station*).

La estación móvil comprende todo el equipo y el software necesario para entrar en comunicación con la red GSM. La estación móvil se compone del equipo móvil y de un módulo de identidad de usuario llamado SIM (*Subscriber Identity Module*). La tarjeta SIM ofrece la capacidad de acceder a los servicios contratados independientemente del equipo móvil utilizado y contiene la identidad internacional del suscriptor móvil (IMSI, *International Mobile Subscriber Identity*) así como un número de identificación personal o PIN y algunas claves para autenticación. El equipo móvil se identifica a través de un número único de identidad internacional (IMEI, *International Mobile Equipment Identity*).

### 2. Las Estaciones Base (BTS, *Base Transceiver Station*)

Las estaciones base contienen todo el equipo de radio como antenas, procesadores de señales y amplificadores necesarios para la transmisión y recepción de señales. Una estación base puede formar una célula o, utilizando antenas sectorizadas, varias células. Las estaciones base se conectan con las estaciones móviles a través de la interfaz  $U_m$ . Esta interfaz contiene todos los mecanismos necesarios para el enlace inalámbrico (TDMA, CDMA, etc).

### 3. Los Controladores de Estaciones Base (BSC, *Base Station Controller*)

Los controladores de estaciones base administran varias estaciones base y las conectan a la oficina de conmutación móvil. Las estaciones base y los controladores están conectados a través de la interfaz  $A_{bis}$  que consiste en conexiones de 16 ó 64 kbps. Entre las funciones de los controladores están el handover, la configuración de datos de la célula, el control de potencia de las estaciones base entre otras.

El conjunto de un controlador con sus estaciones base asociadas y las estaciones móviles correspondientes, se conoce como subsistema de estaciones base (BSS, *Base Station Subsystem*).

## Subsistema de Red y Conmutación

Este subsistema puede considerarse como el corazón de GSM al encargarse de conectar el mundo inalámbrico con la red pública conmutada. Realiza transferencia de llamadas entre distintos subsistemas de estaciones base. Este subsistema consta principalmente de tres elementos principales.

### 1. Centro de Conmutación Móvil (MSC, *Mobile Services Switching Center*)

Realiza las funciones de conmutación del sistema, controla llamadas hacia y de otros teléfonos y sistemas de datos, se conecta con los controladores de estaciones base a través de la interfaz A. Un MSC maneja varios BSC de una región geográfica, generalmente un MSC es suficiente para un área de cobertura con aproximadamente un millón de habitantes. La conexión con otras redes se realiza a través de centros de conmutación especial o GMSC (*Gateway MSC*) y utilizando otras funciones de interconexión (IWF, *Interworking functions*) se hacen conexiones hacia redes de datos. El MSC también se encarga de la señalización necesaria para el establecimiento de una llamada así como de la transferencia de llamada entre otros MSC.

### 2. Registro de Usuarios Locales (HLR, *Home Location Register*)

Es la base de datos más importante del sistema ya que contiene toda la información administrativa de cada subscriber registrado en la red. Contiene información tal como los servicios a los que esta registrado el usuario, llave de autenticación así como el área de localización actual. Existe solo un HLR por cada red GSM.

### 3. Registro de Usuario Visitante. (VLR, *Visitor Location Register*)

Esta base de datos contiene información administrativa específica que es tomada de el HLR. Un VLR está, en la práctica, siempre asociado con un MSC. Cuando una estación móvil entra a una área controlada por un nuevo MSC, el VLR conectado al MSC pedirá información sobre el usuario visitante al HLR. De esta forma si el usuario hace una llamada, el VLR tendrá disponible la información necesaria del usuario para establecer la llamada.

### **Subsistema de Operación**

El subsistema de operación es la entidad funcional desde la cual el operador de la red monitorea y controla todo el sistema. El subsistema de operación posee entidades de red propias y accesa a otras entidades por medio de señalización. Se han definido las siguientes entidades

#### **1. Centro de Operación y Mantenimiento (OMC, *Operation and Maintenance Centre*)**

El OMC se conecta a todo el equipo del subsistema de conmutación y a los controladores de estaciones base a través de la interfaz O. Las funciones típicas del OMC son el monitoreo de tráfico, generación de reportes de estado de otras entidades y facturación.

#### **2. Centro de Autenticación ( AuC, *Authentication Centre*)**

Se define esta entidad para proteger la identidad del usuario y la transmisión de datos. El centro de autenticación contiene los algoritmos necesarios para la autenticación así como las llaves para la encriptación. El AuC puede considerarse como una parte protegida del HLR.

#### **3. Registro de Identidad de Equipo (EIR, *Equipment Identity Register*)**

El EIR es una base de datos que contiene la información acerca de la identidad del equipo móvil, es decir, los números IMEI. Con una tarjeta SIM válida, cualquiera podría usar un teléfono robado. Pero gracias a que el EIR tiene una “lista negra” de equipos robados, el teléfono robado se vuelve inutilizable en cuanto el dueño lo reporta como tal.

### **3.7.2 Interfaz de Radio**

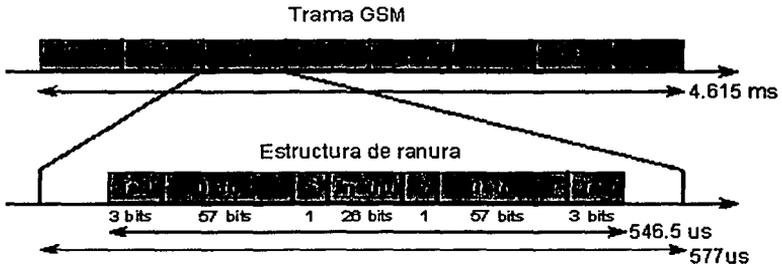
La interfaz más interesante en un sistema de comunicaciones móviles es la interfaz de radio. FDD se utiliza para separar las señales de “bajada” ( de la estación base hacia la estación móvil) de las de “subida” (de la estación móvil hacia la estación base). El acceso al medio es una combinación de FDMA y TDMA.

En la banda de los 900 MHz se tienen asignadas las frecuencias que van de 935-960 MHz para el enlace de bajada (de la estación base al equipo móvil), y las de 890-915 MHz para el enlace de subida (del equipo móvil a la estación base). El ancho de banda de la portadora es de 200KHz, por lo que existen 124 canales. En el caso de la banda de los 1800, las frecuencias de bajada son 1805-1880 MHz y las de subida 1710-1785 MHz, las portadoras tienen el mismo ancho de banda lo que nos da un resultado de 374 canales. GSM también se ha implementado en la banda de 1900 MHz, en donde las frecuencias de bajada son 1930-1990 MHz y las de subida son de 1850-1910 MHz.

A continuación se explica la estructura de la trama de una red GSM, aunque se mencionan las frecuencias correspondientes a la banda de 900 MHz, lo mismo aplica para la banda de 1800MHz. Cada canal se separa en tiempo a través de una trama TDMA, es decir, que cada portadora de 200KHz se subdivide en 8 ranuras de tiempo o "time slots". Cada ranura de tiempo representa un canal y dura 577µs. De esta forma, cada canal ocupa la portadora de 200KHz durante 577µs cada 4.615ms.

Los datos se transmiten en pequeñas porciones o ráfagas. En la Figura 3.5 se muestra una ráfaga normal tal como se utiliza para la transmisión de datos dentro de un time slot.

Figura 3.5 Estructura de la trama TDMA en GSM



En la figura se observa que la ráfaga dura solo 546.5 µs debido a que se dejan 30.5 µs como tiempo de guarda. Si ocupáramos todo el tiempo de la ranura se podrían transmitir 156.25 bits en 577µs (546.5+30.5). Por lo tanto estrictamente cada canal TDM tiene una máxima transmisión de datos de 33.857 kbps. Como cada

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

portadora contiene 8 canales, se tiene una transmisión de 270.8 kbps. a través de la interfaz  $U_m$ .

Los primeros y últimos 3 bits de una ráfaga normal están todos puestas en cero y pueden utilizarse para mejorar el funcionamiento del receptor. La secuencia de instrucción se usa para adaptar los parámetros del receptor a las características de propagación que se presenten en el momento de la transmisión y para seleccionar la señal más fuerte en caso de multipropagación. Los bits de bandera S indican si el campo de datos contiene información de usuario o de control de la red.

### **Canales Lógicos**

Un canal físico consiste en una ranura de tiempo que se repite cada 4.615ms. Pensemos en los canales lógicos como la función que se lleva a cabo durante una de esas ranuras de tiempo por lo que se pueden definir distintas funciones para cada ranura de tiempo. En GSM se especifican dos grupos de canales lógicos: canales de tráfico y canales de control

- **Canales de tráfico (TCH).** Un canal de tráfico se utiliza para portar tráfico de voz y datos de usuario. Se definen dos tipos de canales de tráfico, el de velocidad completa TCH/F que ofrece una tasa de transmisión de 22.8kbps y el de velocidad media TCH/H que ofrece 11.4kbps.
- **Canales de control (CCH).** Muchos canales de control se definen en GSM para controlar el acceso al medio y asignar canales de tráfico. Tres grandes grupos pueden definirse para los canales de control:
- **Canales de control de difusión (BCCH).** Una estación base utiliza este canal para enviar información a todas las estaciones móviles dentro de una célula. La información que se envía consiste en identificadores de célula, frecuencias disponibles dentro de la célula y en células colindantes. Además se envía información para corrección de frecuencia a través del canal FCCH y de sincronización a través del canal SCH, ambos son subcanales del BCCH.
- **Canal de control común (CCCH).** A través de este canal se intercambia la información relacionada con el establecimiento de la conexión entre la estación móvil y la estación base. Para llamadas hacia la estación móvil, la estación base utiliza el canal de localización PCH. Cuando una estación móvil quiere establecer una llamada utiliza el canal de acceso aleatorio RACH.

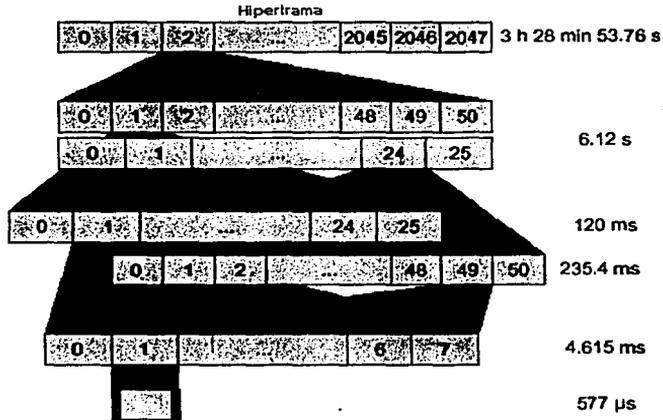
- **Canal de control dedicado (DCCH).** A diferencia de los canales anteriores los canales de este grupo son bidireccionales. Mientras a una estación móvil no se le asigna un canal de tráfico, ésta utiliza el canal SDCCCH para señalización. Esta señalización comprende el registro de autenticación y otros datos relacionados con el establecimiento de un canal de tráfico. Cada canal de tráfico tiene asociado un canal lento de control dedicado SACCH el cual se encarga de intercambiar información del sistema, tal como nivel de potencia de la señal. En caso de que se necesite más intercambio de información GSM utiliza un canal rápido de control dedicado o FACCH. Este canal usa las ranuras de tiempo que normalmente utilizaría el canal de tráfico.

### **Jerarquía de Tramas**

Los canales lógicos mencionados anteriormente no pueden utilizar las ranuras de tiempo de manera arbitraria por lo que en GSM se especifica un esquema de multiplexación que integra muchas jerarquías de tramas. Para el caso de una canal de tráfico (TCH) se define una multitrama de 26 tramas. De las 26 tramas, 24 se utilizan para el tráfico, 1 para el SACCH y 1 no se utiliza. Este patrón se repite una y otra vez. De acuerdo a la Figura 3.5 cada ráfaga contiene 114 bits de datos de usuario y se repite cada 4.615ms. Esto nos arroja una tasa de transmisión de 24.7kbps. Como el canal de tráfico utiliza 24/26 de las ranuras para transmisión de datos de usuario se obtiene la tasa de transmisión de 22.8kbps que es la especificada para los canales de tráfico. Dejando así una tasa de transmisión para la señalización en SACCH de 950bps.

La combinación de las 26 tramas con canales de tráfico se llama multitrama de tráfico. En la Figura 3.6 se muestran las distintas jerarquías de tramas que se pueden formar. Las tramas que contienen información de señalización se combinan en multitramas de 51 tramas para formar una multitrama de control. La estructura lógica continúa al juntar 26 multitramas de control o 51 multitramas de tráfico para formar una supertrama y por último 2048 supertramas constituyen una hipertrama.

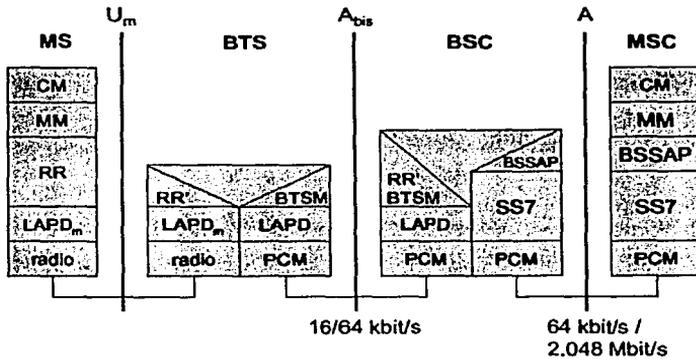
Figura 3.6 Jerarquía de tramas



### 3.7.3 Protocolos

En la Figura 3.7 se muestran los protocolos utilizados a través de distintas entidades e interfaces de una red GSM.

Figura 3.7 Protocolos usados en GSM



De nueva cuenta el interés está en la interfaz  $U_m$  ya que las otras interfaces se encuentran ya dentro de una red fija. La capa uno o física se encarga de todas las funciones de radio incluyendo la creación y multiplexación de ráfagas dentro de las tramas TDMA, sincronización con la estación base, detección de canales desocupados y medición de la calidad del canal. La capa física en la interfaz  $U_m$  modula la señal digital sobre una portadora de frecuencia utilizando modulación GMSK (ver MSK en capítulo 2) y realiza la encriptación y desencriptación de datos.

Debido a que la voz se asumió como el servicio principal en GSM, la capa física contiene también funciones especiales tales como detección de actividad de voz, la cual transmite datos de voz solo cuando hay una señal de voz. Durante periodos de silencio la capa física genera un “ruido comfortable” para indicar que hay una conexión pero realmente no hay ninguna transmisión.

La señalización entre entidades de la red GSM requiere de capas más altas. Para esto se definió el protocolo LAPD<sub>m</sub> en la interfaz  $U_m$  para la capa dos. Como su nombre lo indica LAPD<sub>m</sub> es una versión ligera del protocolo LAPD utilizado en sistemas ISDN ya que no utiliza algunas banderas ni los chequeos para detección de errores. LAPD<sub>m</sub> ofrece transferencias de datos confiables y control de flujo.

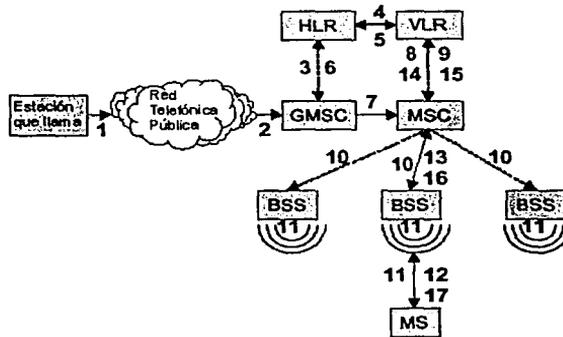
La capa de red o capa tres de GSM contiene varias subcapas. La primera es la de administración de recursos de radio (RR, *Radio Resource management*). La principal tarea del RR es establecer, mantener y liberar los canales de radio. La siguiente subcapa dentro de la capa de red es la de administración de movilidad (MM, *Mobility Management*) la cual contiene funciones para el registro, autenticación, identificación, actualización de localización, y la provisión de una identidad temporal de suscriptor móvil (TMSI, Temporary Mobile Subscriber Identity) que reemplaza al IMSI. Por último se tiene la subcapa de administración de llamada (CM, *Call Management*) que a su vez aloja tres entidades: Control de llamada, servicios suplementarios y el servicio de mensajes cortos.

Entre las interfaces Abis y A se utilizan otros protocolos. Por ejemplo en la capa física de transmiten los datos usando modulación por pulsos codificados (PCM, *Pulse Code Modulation*). La capa física en la interfaz A son generalmente enlaces dedicados de 2.048Mbps. Para la capa dos se utiliza el protocolo LAPD en la interfaz Abis. Para la señalización entre un MSC y un BSC se utiliza el sistema de señalización por canal común número 7. Este protocolo transfiere toda la información de administración entre el MSC, HLR, VLR, AuC, EIR y OMC.

### 3.7.4 Establecimiento de llamadas

A continuación se presentan los pasos que se llevan a cabo para establecer una conexión. Una de dos posibilidades es cuando el móvil recibe la llamada. En la Figura 3.8 se indican los elementos que intervienen en el proceso de establecimiento de llamada. En primer lugar, un usuario marca el número de un suscriptor móvil. La red telefónica pública nota que el número pertenece a una red móvil y envía la petición al GMSC(2). El GMSC identifica el HLR correspondiente al suscriptor y le envía la petición de llamada (3). El HLR revisa que el número existe y que el usuario este suscrito a los servicios requeridos. También se conecta con el VLR y le pide un número temporal para la estación móvil(4 y 5). Después el HLR determina cual MSC es responsable de la estación móvil y envía esta información al GMSC (6). El GMSC envía la petición de llamada al MSC correspondiente (7). El MSC es responsable de las conexiones. Primero el MSC pide información al VLR sobre el estado actual de la estación móvil(8 y 9). Si el móvil está disponible el MSC inicia la localización del mismo en todas las células que tenga a su cargo (10). Las estaciones base transmiten una señal de localización para la estación móvil (11). Si la estación móvil contesta (12 y 13), el VLR realiza operaciones de seguridad y envía la señal al MSC para que establezca una conexión con la estación móvil (15 a 17).

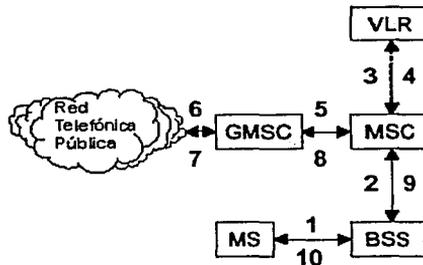
Figura 3.8 Establecimiento de llamada hacia un móvil



A partir de este momento el MSC es responsable de las conexiones. Primero el MSC pide información al VLR sobre el estado actual de la estación móvil(8 y 9). Si el móvil está disponible el MSC inicia la localización del mismo en todas las células que tenga a su cargo (10). Las estaciones base transmiten una señal de localización para la estación móvil (11). Si la estación móvil contesta (12 y 13), el VLR realiza operaciones de seguridad y envía la señal al MSC para que establezca una conexión con la estación móvil (15 a 17).

Comparado con los pasos anteriores, es mucho más simple realizar una llamada que se origina en la estación móvil (ver Figura 3.9 ). La estación móvil transmite una petición para una conexión nueva (1), el BSS envía esta petición al MSC (2). El MSC checa si al usuario se le puede otorgar una conexión con los servicios requeridos (3 y 4) y revisa la disponibilidad de recursos a través de la red móvil y fija. (5 a 8). Si los recursos están disponibles el MSC establece la conexión (9 y 10).

*Figura 3.9 Establecimiento de llamada desde un móvil*



### 3.7.5 Transferencia de llamada

La transferencia de llamada es la conmutación de una llamada de un canal o célula a otro. Se pueden mencionar dos razones básicas para que se requiera de una transferencia :

- La estación móvil se mueve fuera del rango de una estación base, por lo que el nivel de la señal recibida disminuye hasta llegar a un requerimiento mínimo para comunicación. El nivel de señal también puede verse afectado por tasas de errores elevadas o condiciones de propagación desfavorables.
- La red móvil puede decidir que el tráfico en una célula es demasiado alto y por lo tanto cambiar una estación móvil a otra célula con menos carga. A esto se le llama balanceo de carga.

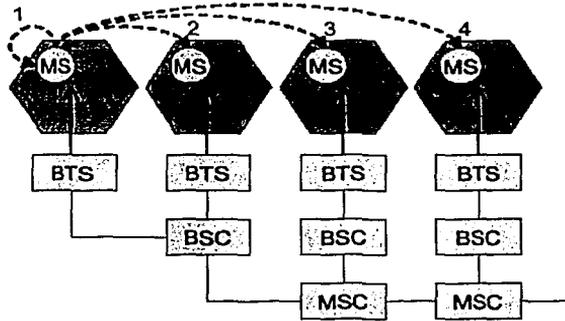
Hay cuatro tipos diferentes de transferencias de llamada :

- Dentro de una célula. En este caso debido a interferencia cierta transmisión podría verse afectada en una frecuencia determinada, por lo que se decide cambiar de frecuencia.
- Entre células . La estación móvil se mueve de una célula a otra , pero permanece bajo el control del mismo controlador de estaciones base (BSC). El BSC realiza la transferencia , asigna un nuevo canal de radio en la nueva célula y libera el anterior.
- Entre controladores. Un controlador de estaciones base solo tiene a su cargo cierto número de células, cuando una estación móvil se mueve de una célula a otra que es controlada por otro BSC el encargado de realizar la transferencia será el centro de conmutación móvil (MSC).
- Entre MSC. Finalmente, una transferencia de llamada puede ser necesaria entre dos células pertenecientes a distintos MSC. La transferencia la realizan ambos MSC.

Los dos primeros tipos de transferencia se llaman internas y las dos últimas son externas. En la Figura 3.10 se ilustran los distintos tipos de transferencias de llamada.

La transferencia puede iniciarse por el equipo móvil o por el MSC (en el caso de balanceo de tráfico). Durante las ranuras de tiempo desocupadas, el equipo móvil revisa el canal BCCH de hasta 16 células adyacentes y forma una lista de las 6 mejores candidatas para un posible handover basado en la fuerza de la señal recibida. Esta información se pasa al BSC y al MSC al menos una vez por segundo.

Figura 3.10 Tipos de Handover



### 3.7.6 Seguridad

En GSM se ofrecen varios servicios de seguridad usando información confidencial guardada en el AuC y en la tarjeta SIM la cual guarda datos confidenciales del usuario y se protege con un PIN. Los tres servicios de seguridad en GSM son:

- Control de acceso y autenticación. Esto incluye la autenticación de un usuario válido para la tarjeta SIM. El usuario necesita un número secreto (PIN) para acceder a la SIM. En seguida se procede a la autenticación a través de un algoritmo llamado A3.
- Confidencialidad. Toda la información de datos relacionados con el usuario se encripta. Después de la autenticación la estación base y la móvil aplican encriptación a la voz, datos y señalización. Esta confidencialidad existe solo entre la estación base y la estación móvil mas no dentro de la red central.
- Anonimato. Para proveer anonimato, todos los datos se encriptan antes de la transmisión y los identificadores de usuario no se usan sobre el aire. En vez de eso se transmiten identificadores temporales que se asignan por el VLR después de cada actualización de localización.

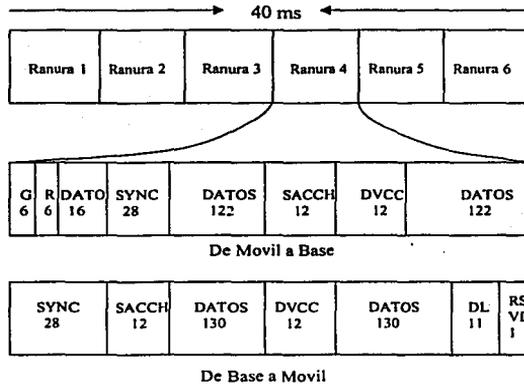
## 3.8 IS-136

En 1988 la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones Celulares (CTIA, por sus siglas en inglés) desarrolló una guía para la siguiente generación de tecnología celular. La asociación de industrias de telecomunicaciones (TIA, por sus siglas en inglés) utilizó esta guía para crear un estándar basado en tecnología TDMA llamado IS-54. La primera versión de IS-54 identificó los parámetros básicos (por ejemplo, la estructura de las ranuras de tiempo, el tipo de modulación, los mensajes) que eran necesarios para comenzar a diseñar equipo compatible con el estándar. En 1991 IS-54 rev B agregó nuevas características tales como autenticación, privacidad y capacidades de identificación de llamadas. El estándar se siguió desarrollando por lo que llegó una nueva especificación que incluía servicio de mensajes, mayor duración de la batería al hacer un uso más eficiente de la misma, entre otras funciones. A esta nueva especificación se le conoce como IS-136. Durante el desarrollo de IS-136 muchas nuevas características fueron resultado de la influencia de la especificación GSM.

### 3.8.1 Interfaz de Radio

En IS-136 se definen portadoras de 30 KHz que se dividen en tramas que a su vez son divididas en 6 ranuras de tiempo como se muestra en la Figura 3.11 . La duración de una trama completa es de 40ms, por lo que cada ranura de tiempo dura 6.67ms. Para la transmisión de la estación base hacia la estación móvil se utilizan las frecuencias de 869 a 894MHz y para la transmisión de la terminal móvil hacia la estación base se utilizan de 824MHz a 849MHz. En la banda de PCS (*Personal Communication Systems*) las estaciones base transmiten en la banda de 1930MHz a 1990MHz y los equipos móviles lo hacen en la de 1850MHz a 1910MHz. Los canales utilizados pueden ser de velocidad completa, los cuales asignan dos ranuras de tiempo a un usuario por lo que una trama atiende a tres usuarios o de velocidad media los cuales asignan una ranura de tiempo a un usuario atendiendo así a seis usuarios por trama.

Figura 3.11 Estructura de trama IS-136



Como se puede observar, cada ranura cuenta con 324 bits, por lo que la tasa de transmisión por portadora es de 48.6kbps (324 bits/ranura x 6 ranuras/trama x 25 tramas/segundo) . La codificación de voz utilizada es VSELP (*Vector Sum Excited Linear Predictive Coder*) y la modulación es DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) Cada ranura de tiempo contiene diferentes campos de bits, en el enlace de bajada (de la estación base a la estación móvil) se cuenta con un campo de sincronización que identifica el número de ranura y provee información de reloj para el decodificador. El campo de SACCH (*Slow Associated Control Channel*) se utiliza para enviar información de control. En los campos de datos viaja la información del usuario. El campo DVCC (*Digital Verification Color Code*) identifica a la estación base que está transmitiendo. El campo DL (*Digital Locator*) ofrece información acerca de la disponibilidad de canales lógicos y el último campo siempre está puesto en cero. Para el enlace de subida la estructura de la ranura de tiempo solo varía en que incluye dos campos de tiempos de guarda.

### Canales Lógicos

En lo general los canales lógicos se pueden clasificar en canales de tráfico y en canales de control. Los canales de tráfico son los que se definen cuando está en proceso una conversación. Éstos transmiten 260 bits de información de usuario por cada ranura de tiempo. Para un canal de velocidad completa se asignan 2 ranuras por usuario lo que nos arroja una tasa de transmisión de 13Kbps. Dentro de un canal de tráfico también se envía información de control a través del campo de SACCH (*Slow Associated Control Channel*) a una velocidad de 600bps. Pero en ocasiones se requiere que el intercambio de información con la red sea más rápido, por lo que se define el canal FACCH (*Fast Associated Control Channel*). En este caso la información de los campos de datos se reemplaza por información del canal FACCH. Los canales de control sirven para intercambiar distintos tipos de información entre la red y el equipo móvil. En la Figura 3.12 se muestran los principales canales de control y la Tabla 3.3 hace una descripción de los mismos.

Figura 3.12 Canales de Control

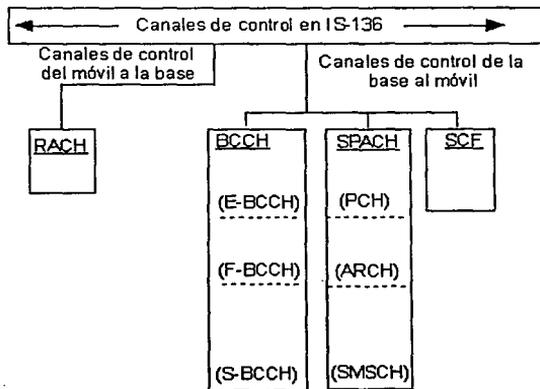


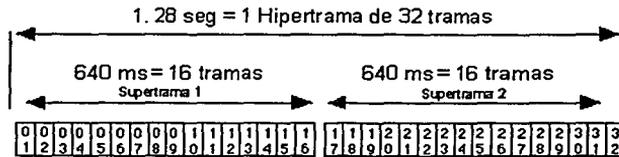
Tabla 3.3 Descripción de canales de control

Canal de control	Descripción
BCCH (Broadcast Channel)	Provee información continuamente acerca de la configuración y las reglas que un equipo móvil debe seguir para acceder al sistema. Se definen tres variantes de este canal: F-BCCH, E-BCCH y S-BCCH. El primero es para información que requiere repetición ciclica y de tiempo rápido; el segundo se utiliza para enviar información que requiere "entrega inmediata" ni una velocidad fija; el último se utiliza para enviar mensajes a todas las terminales.
SPACH (SMS/ Paging / Access Channel)	Este canal se divide en los canales PCH (Paging Channel) , ARCH (Access Response Channel) y SMS (Short Message Service). Cuando no hay una llamada en proceso ,el equipo móvil monitorea el canal PCH para detectar la llegada de una nueva llamada; el canal ARCH se utiliza para responder peticiones del móvil y el canal SMS para enviar mensajes de texto.
RACH (Random Access Channel)	Este canal lo utilizan los equipos móviles para acceder a la red. Mensajes transmitidos en este canal pueden ser respuestas a peticiones de autenticación o agradecimientos a entregas de mensajes por parte de la red.
SCF( Shared Channel Feedback)	La información enviada del equipo móvil hacia la estación base se controla y agradece a través de el canal SCF. La información del canal SCF indica el estado de cada ranura de tiempo utilizada en el enlace de subida

### 3.8.2 Jerarquía de Tramas

Para multiplexar grupos de información lógica y proveer una secuencia conocida y repetible se utilizan distintos formatos de tramas: Supertramas e Hipertramas. Una supertrama se compone de 16 tramas básicas mientras que una hipertrama está compuesta de dos supertramas. La estructura de una supertrama y una hipertrama se muestra en la Figura 3.13 .

Figura 3.13 Hipertramas y Supertramas



### 3.8.3 Operaciones de la Red

Comparado con el sistema AMPS, las principales innovaciones de IS-136 en cuanto a operaciones de la red son las que tienen que ver con autenticación y handoff.

#### Autenticación

El corazón de la seguridad de la red es una llave secreta conocida como la llave A y que se almacena en cada equipo móvil, esta llave también está registrada dentro de una base de datos en el centro de autenticación. Las llaves de encriptación utilizadas para proteger la información del sistema y del usuario se conocen como SSD (*Shared Secret Data*). La llave A es un número de 64 bits, esta llave nunca se transmite por el aire, en vez de esto, el centro de autenticación y el equipo móvil utilizan la llave A en combinación con un número aleatorio generado por la red para generar el SSD que es un número de 128 bits. Parte del SSD se utiliza para propósitos de autenticación y la otra parte como llave de encriptación para la información del usuario.

#### Transferencia de llamada

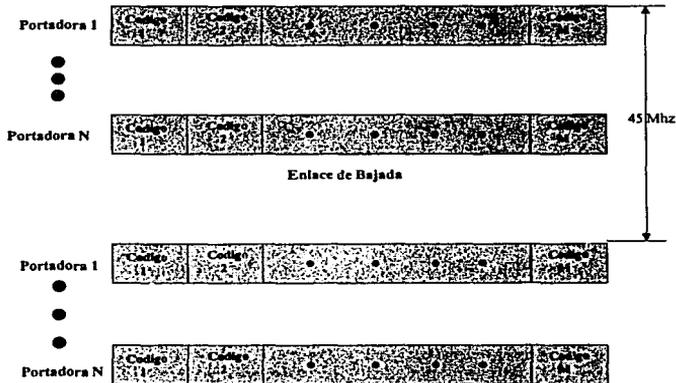
Tal como en GSM, en IS-136 existen distintos tipos de handoff, dependiendo de quien controla a los mismos. Con respecto al sistema AMPS, la mejora consistió en definir el handoff asistido o MAHO (*Mobile-Assisted Handoff*). Con MAHO, un móvil con una llamada en proceso monitorea continuamente la calidad de la señal. Además durante intervalos de tiempo en los cuales no se requiere transmitir o recibir información, el móvil mide la fuerza de las señales que se reciben de otras estaciones base, de esta forma el equipo móvil está cooperando activamente en la toma de decisión de un handoff.

### 3.9 IS-95

La tecnología CDMA fue propuesta inicialmente por Qualcomm<sup>2</sup> y posteriormente la TIA propuso el estandar IS-95 tal como hoy lo conocemos. CDMA difiere de las tecnologías anteriores por el uso de técnicas de espectro esparcido, es decir que más que dividir el espectro en canales de usuario distintos ya sea en frecuencia o en tiempo, la tecnología CDMA separa a los usuarios asignándoles códigos digitales de tal forma que todos los usuarios pueden ocupar el mismo ancho de banda. Estas características permiten que CDMA tenga, en teoría, una capacidad ilimitada y sea más inmune a la interferencia .

Para el enlace de subida (móvil - estación base) utiliza las frecuencias de 869 a 894 Mhz y para el enlace de bajada (estación base - móvil) trabaja en 824 a 849MHz. CDMA también opera en la banda de 1900MHz o PCS (*Personal Communication Systems*) en donde la frecuencia de bajada son 1930-1990 MHz y las de subida son de 1850-1910 MHz. El ancho de banda de la portadora es de 1.25MHz. Los canales físicos como se muestra en la Figura 3.14 se definen en terminos de frecuencia y código. Sesenta y cuatro funciones walsh identifican los canales de bajada mientras que códigos de pseudo ruido se utilizan para la identificación de los canales de subida. En las siguientes secciones se tratan con más detalle estos temas.

Figura 3.14 Canales físicos en CDMA



2. Empresa líder en tecnología CDMA ([www.qualcomm.com](http://www.qualcomm.com))

### **3.9.1 Principios de Espectro Esparcido por Secuencia Directa**

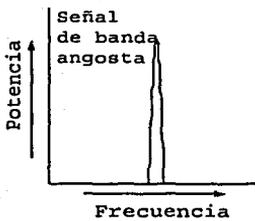
En la técnica de espectro esparcido por secuencia directa una señal de datos se esparce -dentro de un ancho de banda mucho mayor al que necesita para transmitirse- utilizando un esquema específico de codificación<sup>3</sup>. Es importante resaltar que la señal de banda angosta (señal de datos original) y la señal esparcida utilizan la misma cantidad de potencia y llevan la misma información. Sin embargo, la densidad de potencia de la señal esparcida es mucho menor que la de la señal de banda angosta.

Una de las características de esta técnica es que las señales producidas son menos susceptibles a la interferencia. Una señal que interfiera con la señal esparcida será, generalmente una señal de banda angosta y alta densidad de potencia. Debido a los procesos utilizados, la interferencia se esparcerá en el momento de llegar al receptor, mientras que la señal esparcida que contiene la información se comprimirá para volver a ser la señal de banda angosta original. Estas etapas se describen en la Figura 3.15 .

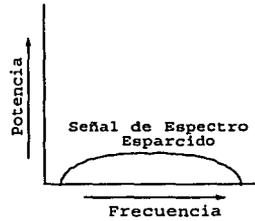
---

3. También conocido como pseudo-ruido

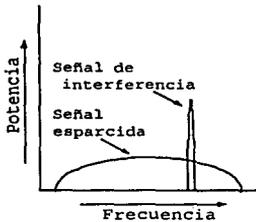
Figura 3.15 Resistencia a la interferencia



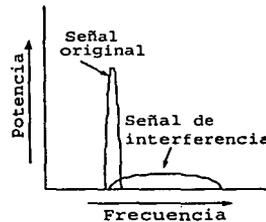
1. Señal original de banda angosta



2. Después del proceso de esparcimiento, la señal ocupa un ancho de banda mayor al mínimo necesario para su transmisión



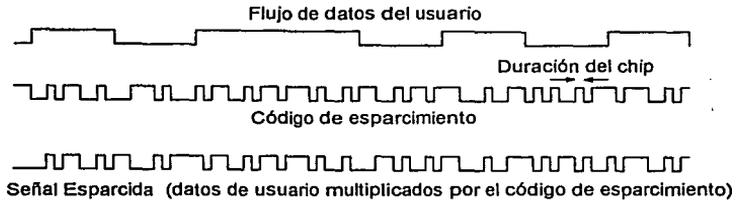
3. En su camino, la señal encuentra principalmente interferencia de banda angosta



4. En la recepción se aplica el proceso inverso y la señal original vuelve a su estado de banda angosta mientras que la interferencia se esparce disminuyendo su densidad de potencia

Para esparcir una señal, se utiliza una señal código que ocupa un ancho de banda mucho mayor que el mínimo necesario para transmitir. Como se muestra en la Figura 3.16, la señal tiene un intervalo de bit mucho mayor que el intervalo de bit de la señal de pseudo-ruido. Esto permite que la señal generada al multiplicar ambas señales tenga un ancho de banda mayor comparado con el de la señal original.

**Figura 3.16** Esparciento de una señal



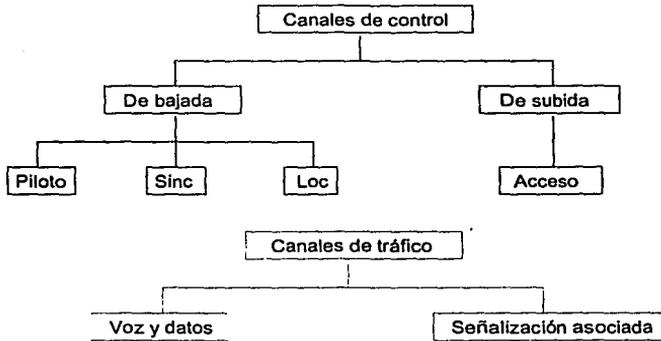
En un sistema de espectro esparcido por secuencia directa, el ancho de banda de la portadora está disponible para todos los usuarios. En general, el sistema debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- La señal esparcida tiene un ancho de banda mucho mayor al mínimo requerido para transmitir la información deseada.
- El esparciento de la señal se realiza utilizando una señal de código. La señal de código es independiente de los datos es de mayor velocidad que la señal de datos
- En el equipo receptor, la señal se “comprime” con una réplica de la señal utilizada para esparcer los datos.

### 3.9.2 Canales lógicos

Los canales lógicos en CDMA son los canales de control y los canales de tráfico, en la Figura 3.17 se muestra una estructura general de los canales lógicos de CDMA.

Figura 3.17 Canales lógicos



Cada estación base tiene acceso a 64 canales físicos que se derivan de un renglón de una matriz Walsh de  $64 \times 64$ . Los renglones de la matriz se numeran del 0 al 63 y la secuencia de bits en el renglón  $n$  se denomina Walsh  $n$ . Por lo tanto, las portadoras digitales para la transmisión en las estaciones base se denominan Walsh 0 - Walsh 63. Los códigos Walsh son mutuamente ortogonales, es decir, que si dos códigos se multiplican bit por bit, la suma de los 64 productos es igual a 0. Las estaciones base transmiten su información en 4 distintos canales lógicos: canal piloto, canal de sincronía, canal de localización y canal de tráfico de bajada.

#### Canal Piloto

La estación base utiliza el canal piloto para proveer una referencia a todas las estaciones móviles, esta referencia simplemente provee una señal de referencia para la correcta demodulación en el receptor del móvil. Cabe resaltar que el canal piloto no lleva ninguna información y siempre está asignado al código Walsh 0. El nivel de la señal piloto para todas las estaciones base se mantiene de 4 a 6 dB más alto que un canal de tráfico con una potencia de señal constante, esto permite que la señal piloto también se utilice para compararla con la señal piloto de otras estaciones base y decidir cuando llevar a cabo una transferencia de llamada.

### **Canal de Sincronía**

El canal de sincronía es una señal que puede utilizarse junto con el canal piloto para adquirir el tiempo inicial de sincronización. El código Walsh 32 siempre le corresponde al canal de sincronía. El canal de sincronía transmite un mensaje que lleva información importante a las estaciones móviles, entre esa información está el tiempo del sistema ( que se obtienen de un GPS<sup>4</sup> con el que cuentan las estaciones base), también transmite el identificador de estación base y de red.

### **Canal de Localización**

El canal de localización se utiliza para transmitir información de control hacia las estaciones móviles. Antes de que un móvil reciba una llamada, éste recibirá una señal de localización. Así mismo cuando un móvil quiere iniciar una llamada, a través del canal de localización se contestan las peticiones de acceso del móvil. Pueden haber hasta siete canales de localización que corresponden a los códigos Walsh 1 al Walsh 7. Los canales de localización le permiten a la red:

- Entregar información para que el equipo móvil la despliegue
- Identificar el número del equipo que llama y del equipo al que va dirigida la llamada
- Entregar información al móvil a través de tonos u otro tipo de alarmas
- Indicar el número de mensajes esperando.

### **Canal de Tráfico de Bajada**

Los canales de tráfico de bajada se agrupan en grupos de velocidades. El grupo de velocidad 1 tiene cuatro elementos: 9600, 4800, 2400 y 1200 bps. El grupo de velocidad 2 también cuenta con cuatro elementos: 14400, 7200, 3600 y 1800 bps. Todos los sistemas soportan el grupo de velocidad 1 mientras que el grupo de velocidad 2 es opcional. Los códigos Walsh que se asignan a los canales de tráfico de bajada son del Walsh 2 al Walsh 31 y del Walsh 33 al Walsh 63. La voz se codifica utilizando un vocoder de velocidad variable llamado QCELP (*Qualcomm Code Excited Linear Prediction*).

---

4. GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

El sistema realiza las operaciones de codificación y decodificación en tramas que tienen una duración fija de 20ms. Como el codificador es de velocidad variable, el número de bits por trama varía de acuerdo a la velocidad siendo la modulación utilizada es QPSK.

La eficiencia de un sistema CDMA depende en gran medida de un control preciso de la potencia radiada de cada terminal, de tal forma que la potencia con la que se recibe la señal de una terminal cercana a una estación base, sea la misma con la que se recibe la señal de una terminal que está más alejada de ésta. Por esta razón en el canal de tráfico de bajada continuamente se transmite un subcanal de control de potencia, en el cual un 0 especifica que el móvil debe de incrementar su nivel de potencia media en 1 dB y un 1 indica que debe disminuirla en 1 dB.

Para intercambiar información de control mientras una llamada está en proceso, los equipos móviles y las estaciones base interrumpen o reducen el flujo de información de voz e insertan mensajes dentro de los canales de tráfico. El mensaje de control puede reemplazar completamente a la voz o hacerlo parcialmente. Cuando los canales de tráfico de bajada se utilizan para señalización, algunos de los mensajes enviados son:

- Mensaje de datos, es un mensaje enviado por la estación base.
- Mensaje de dirección de handoff, provee al móvil con la información necesaria para iniciar el handoff.
- Mensajes de control de potencia

Hasta ahora se han comentado los canales lógicos de bajada ( de la estación base a la estación móvil ), para el enlace de subida ( de la estación móvil a la estación base ) IS-95 define dos canales principales: canal de acceso y canal de tráfico de subida.

### **Canal de Acceso**

El equipo móvil utiliza el canal de acceso para transmitir información de control hacia la estación base. Un móvil sin una llamada en proceso utiliza en canal de acceso principalmente para tres propósitos: originar una llamada, responder a un mensaje de localización y registrar su ubicación. Cada canal de acceso se identifica por un identificador de canal de 42 bits.

### **Canal de Tráfico de Subida**

En el enlace de subida, el canal físico se identifica por un código binario asignado a cada terminal. Estrictamente la portadora digital en el enlace de subida es una combinación lógica de un identificador de canal de 42 bits con la salida de un código largo producido por un generador pseudoaleatorio operando a 1.2288 Mch/s<sup>5</sup>. La modulación utilizada en el enlace de subida es OQPSK. Así como en el enlace de subida, los datos se transmiten en tramas de 20ms.

### **3.9.3 Operaciones de la Red**

Debido a que muchos procedimientos de control de la red se asemejan a aquellos utilizados en otros estándares, se mencionan a continuación los que más caracterizan a un sistema IS95.

#### **Control de Potencia**

Un sistema CDMA tiene que mantener un pequeño rango en la variación de la potencia recibida de las señales que llegan a sus estaciones base. Cuando hay una diferencia considerable en las potencias recibidas, las señales más fuertes interferirán excesivamente con las más débiles limitando en número total de transmisiones simultáneas. Por esta razón y como se ha mencionado anteriormente se implementa la capacidad de que los equipos móviles se mantengan revisando constantemente el canal piloto para autocontrolar su potencia de transmisión. Por otra parte, en las estaciones base también se establecen algoritmos para controlar la potencia de transmisión de las mismas.

#### **Handoff Suave**

Cuando un equipo móvil se mueve de una célula a otra, éste se comunica simultáneamente con las estaciones base de ambas células. La terminal juega un papel activo en el handoff ya que el móvil realiza mediciones que influyen en la toma de decisión del handoff e informa a la red cuando un handoff es necesario.

---

5. El generador pseudoaleatorio proporciona el código de esparcimiento. La mínima unidad de transmisión de este código se conoce como chip.

### 3.10 PDC

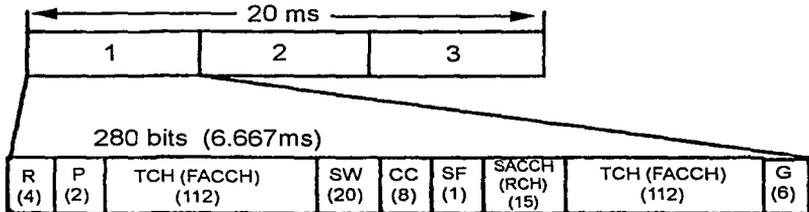
PDC (Personal Digital Cellular) es un estándar de segunda generación que prácticamente no se implementó en ningún otro lugar fuera de Japón. El estándar lo desarrolló la compañía NTT DoCoMo<sup>6</sup> la cual juega un papel de punta de lanza en los desarrollos de sistemas 3G.

#### 3.10.1 Interfaz de Radio

El estándar PDC trabaja en las frecuencias de 940 - 956 MHz para el enlace de subida (de la estación móvil a la estación base) y de 810-826 MHz para el enlace de bajada (de la estación base a la estación móvil). El ancho de banda disponible (16MHz) se divide en 640 canales de 25 KHz. Utilizando TDMA puede contar con 3 canales por portadora.

La estructura de la trama del sistema PDC se muestra en la Figura 3.18 . La trama tiene una duración de 20ms y tiene tres ranuras de tiempo. Cada trama transmite 840 bits, lo que corresponde a una tasa de transmisión de 42Kbps. De modo que la tasa de transmisión por usuario es de 14 kbps. La información de usuario se transmite a 11.2Kbps, los otros 2.8Kbps se ocupan en el preambulo, bits de guarda y otros campos de control.

Figura 3.18 Estructura de trama en PDC



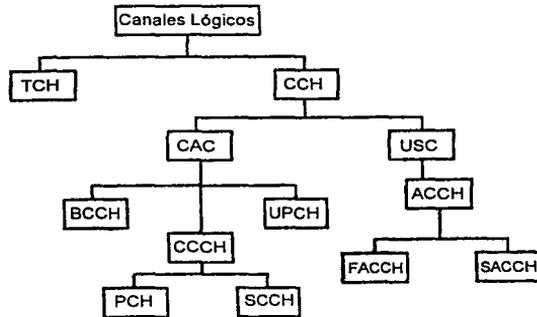
La modulación utilizada es DQPSK y el esquema de codificación de voz es el VSELP. Como se puede observar cuenta con características muy similares a las del estándar IS-136.

6. Ver [www.docomo.com](http://www.docomo.com)

### Canales Lógicos

La estructura de los canales lógicos en PDC se muestra en la Figura 3.19, como se puede observar mantiene el mismo esquema que los sistemas anteriores, manejando canales de control y de tráfico. El canal de tráfico (TCH) se utiliza para transmitir la información del usuario y el CCH para información de control. Se definen dos tipos de canales de control: el canal de acceso común (CAC) que se comparte con muchos usuarios y el canal de usuario específico (USC) que se asigna a un solo usuario. El CAC a su vez se divide en tres tipos de canales: El canal de difusión de control (BCCH) que provee a la estación móvil de información del sistema tal como máxima potencia de transmisión, identificación de ubicación y del usuario; el canal UPCH que sirve para transmitir datos de usuario y el canal de control común (CCCH) en el que se transmite información de señalización. Por otro lado el canal de usuario específico define otro canal llamado Canal de control asociado (ACCH) que se utiliza para transmitir señalización requerida para la comunicación duplex, dentro de esta categoría también se encuentran: el canal de control asociado rápido y el canal de control asociado lento (FACCH y SACCH respectivamente) que envían información de control mientras se realiza una conversación.

Figura 3.19 Estructura de canales en PDC



Los procesos de transferencia de llamada y de seguridad que le conciernen a la red, son totalmente similares a aquellos definidos en los estándares anteriores (ver "Transferencia de llamada" en la página 38 y "Seguridad" en la página 40).

### 3.11 Comparación de sistemas de segunda generación

*Tabla 3.4 Parámetros técnicos de estándares celulares digitales*

	IS-54	IS-136	IS-136	IS-136
<b>Frecuencia de Transmisión del móvil (MHz)</b>	890-915 1710-1785 1850-1910	824-849 1850-1910	824-849 1850-1910	940-956
<b>Frecuencia de Transmisión de la base (MHz)</b>	935-960 1805-1885 1930-1990	869-894 1930-1990	869-894 1930-1990	810-826
<b>Separación Duplex (MHz)</b>	45 95 80	45 80	45 80	130
<b>Espacio entre canales (KHz)</b>	200	30	1250	25
<b>Número de canales de radio disponibles</b>	124 374 299	832 2000	20 48	640
<b>Método de Acceso</b>	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
<b>Duración de la trama (ms)</b>	4.6	40	20	20
<b>Número de canales por portadora</b>	8	3	NA	3
<b>Modulación</b>	GMSK	DQPSK	QPSK	DQPSK
<b>Codificación de Voz</b>	RPE-LTP	VSELP	QCELP	VSELP
<b>Eficiencia Celular (conversaciones/célula/MHz)</b>	5.0-6.6	7.0	12.1-45.1	5.3

## 4. Perspectiva de los Sistemas 2G Basados en TDMA

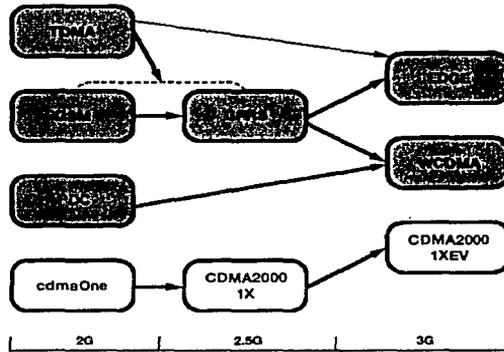
El increíble desarrollo que ha tenido la telefonía celular así como el incremento en el número de usuarios de internet a nivel mundial promete un mercado potencial que combina ambas tecnologías: comunicaciones móviles y servicios de datos. Después de que la principal función de los operadores de telefonía celular era brindar servicios de voz, ahora se le está dando importancia a los servicios de datos. Debido a que toda la infraestructura actual de las redes móviles está dirigida al mercado de voz, es necesario incluir nuevos elementos en las redes actuales para que éstas puedan ofrecer nuevos servicios. La ITU (*International Telecommunications Union*) ha definido varios estándares para las nuevas redes de tercera generación. Evidentemente la implementación de estos nuevos estándares no es inmediata sino que se realizará gradualmente a través de tecnologías conocidas como de 2.5G.

En los capítulos anteriores hemos explicado los fundamentos de los sistemas móviles así como las principales características de los estándares de segunda generación que actualmente dominan la industria de las comunicaciones móviles.

A partir de este momento describiremos las tecnologías que se están implementando y que se implementarán en un futuro inmediato alrededor del mundo enfocándonos principalmente a aquellas que potencialmente un operador basado en acceso TDMA elegirá para su evolución hacia la tercera generación (ver Figura 4.1 ).

De modo que en este capítulo se estudia una de esas tecnologías de 2.5G llamada GPRS (*General Packet Radio Service*) que es el paso natural para las redes basadas en GSM y también resulta atractiva para los operadores TDMA , también se hace un estudio de la tecnología EDGE que ofrecerá mayores tasas de transmisión en la interfaz de radio.

Figura 4.1 Evolución hacia 3G



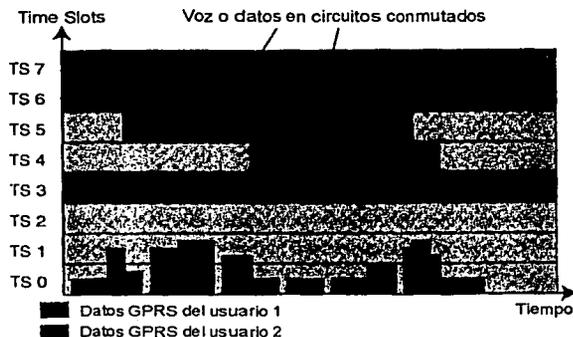
## 4.1 Características de las redes de paquetes de datos

Actualmente resulta no muy atractivo tanto para los usuarios como para los operadores, ofrecer servicios de datos, debido a que éstos se basan en la transmisión de circuitos conmutados, es decir, que un canal de tráfico se le asigna a un usuario durante todo el tiempo de la llamada. Para el caso de tráfico a ráfagas, como en internet, esto resulta en un uso ineficiente del recurso.

En la Figura 4.2 se muestra como, con circuitos conmutados, se asigna un canal de radio a un solo usuario. El usuario debe de pagar la misma cantidad de dinero independientemente si esta o no ocupando el recurso. De igual forma, desde el punto de vista del operador, éste desperdicia el recurso ya que nadie más puede acceder a él. Además el usuario tiene que establecer una nueva conexión cuando quiere obtener información ( en caso de no estarlo ya). Es decir, supongamos que alguien revisa la cartelera a través de su teléfono y al terminar se desconecta, si el mismo usuario, minutos más tarde, desea realizar una nueva consulta, éste tiene que establecer una nueva conexión. El proceso de conexión puede tomar desde 20 hasta 40 segundos.



Figura 4.3 Transmisión de datos en redes de paquetes



## 4.2 Arquitectura de GPRS

GPRS (*General Packet Radio Service*) es un estándar definido por ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*)<sup>1</sup> para la transmisión de paquetes de datos. El estándar también es aceptado por la TIA (*Telecommunications Industry Association*) como un estándar para los sistemas TDMA/IS-136. GPRS ofrece velocidades teóricas de hasta 171.2kbps dependiendo de factores como número de usuarios compartiendo el recurso y *time slots* utilizados.

La implementación de GPRS no afecta a la red existente de TDMA o GSM ya que simplemente se agrega la red de paquetes de datos reutilizando tanta infraestructura como sea posible. En la Figura 4.4 se indica como la red GPRS se implementa dentro de una red GSM o TDMA ya existente. En las estaciones base se requiere solamente de una actualización de software que permita que los usuarios de voz y datos compartan la misma interfaz y también de nuevos esquemas de codificación de datos (ver Tabla 4.1 ).

1. Ver [www.etsi.org](http://www.etsi.org)

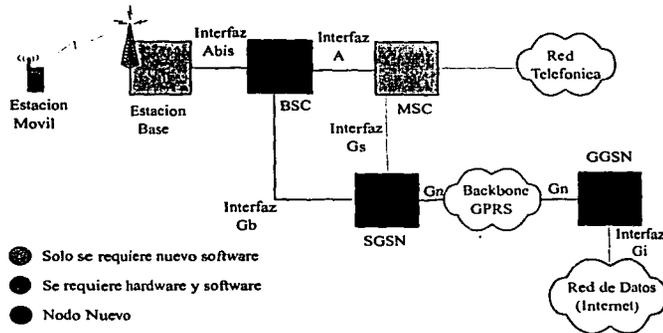
El controlador de estaciones base (BSC) tiene que separar los distintos flujos de datos y direccionarlos a la red correcta. En este elemento de la red, además de la actualización de software se requiere agregar un elemento de hardware para controlar paquetes.

La red de datos GPRS consta esencialmente de dos nodos principales: El nodo de soporte de servicios GPRS (SGSN, *Serving GPRS Support Node*) y el nodo de soporte de compuerta GPRS (GGSN, *Gateway GPRS Support Node*).

El SGSN es el responsable de entregar los paquetes de datos de y hacia las estaciones móviles. Dentro de sus tareas se encuentran la de transferencia y ruteo de paquetes, administración de la movilidad, autenticación y algunas funciones de tarificación. Normalmente un usuario estará dentro del área de servicio de un SGSN, pero en caso de que el usuario se mueva a otra región, SGSN también se encarga de realizar un handoff con otro SGSN.

El GGSN actúa como una interfaz entre el backbone de la red GPRS y las redes de datos externas (como internet), es decir, convierte los paquetes GPRS provenientes de un SGSN en paquetes "entendibles" para la red a la cual se está conectando (por ejemplo internet) y los envía a través de ella. De manera inversa, el GGSN recibe paquetes de redes externas y los envía hacia los SGSN a través del backbone de GPRS. Como se indica en la Figura 4.4 se definen varias interfaces dentro de la red GPRS. La interfaz Gb conecta los controladores de estaciones base con el SGSN mientras que los datos de usuario y de señalización se transmiten a través de la interfaz Gn. Ambos nodos de la red se conectan a través del backbone GPRS que se basa en IP. Dentro de este backbone, los nodos GPRS encapsulan los paquetes y los transmiten utilizando GTP (*GPRS Tunneling Protocol*). La interfaz Gi conecta al GGSN con redes externas como internet.

Figura 4.4 Arquitectura de la red GPRS



### 4.3 Principales protocolos en la red GPRS

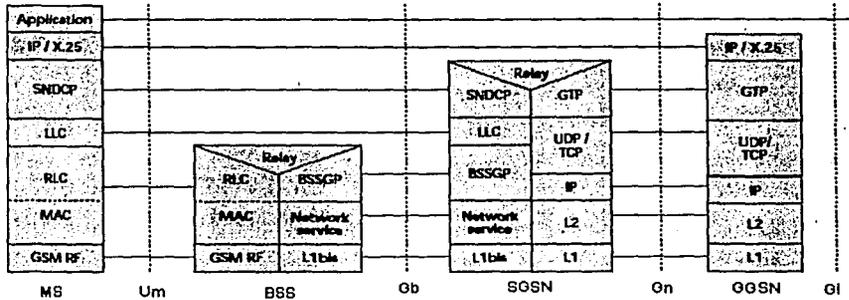
En la Figura 4.5 se indica la arquitectura de protocolos utilizada en GPRS<sup>2</sup>. Como se mencionó anteriormente, los paquetes de datos del usuario se encapsulan dentro de un backbone GPRS, el protocolo GTP transfiere los paquetes de datos de usuario y la información de señalización entre los nodos de soporte GPRS. A su vez el protocolo está definido a través de la interfaz Gn.

Debajo del protocolo GTP, los protocolos TCP o UDP se utilizan para transportar los paquetes GTP, enseguida se utiliza IP en la capa de red para el ruteo de paquetes.

Debajo de la capa de IP se pueden utilizar protocolos basados en ethernet, ISDN o ATM. El protocolo SNDCP (*Subnetwork Dependent Convergente Protocol*) se utiliza para transferir datos entre los SGSN y las estaciones móviles.

2. "Wireless Internet Access Based on GPRS" IEEE Personal Communications. pp8. Abril 2000

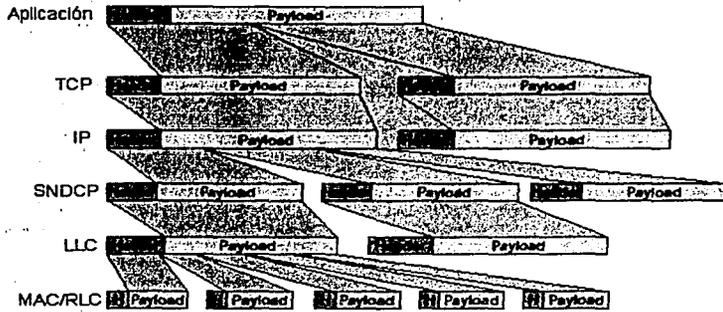
Figura 4.5 Protocolos en GPRS



El protocolo de enlace de control lógico (LLC) opera a través de las interfaces Gb y Um, sus funciones principales son las de control de flujo y de secuencia. La funcionalidad de este protocolo está basada en HDLC (*High Level Data Link Control*). El protocolo de control de enlace de radio y control de acceso al medio (RLC/MAC, *Radio Link Control / Medium Access Control*) opera entre las estaciones móviles y las estaciones base. Entre las funciones del protocolo RLC se encuentra la segmentación y reconstrucción de paquetes LLC. El protocolo MAC realiza los distintos canales lógicos necesarios para compartir el medio de transmisión común, permite que una estación móvil use varios canales físicos (time slots) así como la multiplexación de varias estaciones móviles sobre un solo canal físico.

En la Figura 4.6 se observa la segmentación correspondiente de los distintos protocolos.

Figura 4.6 Segmentación de paquetes de datos

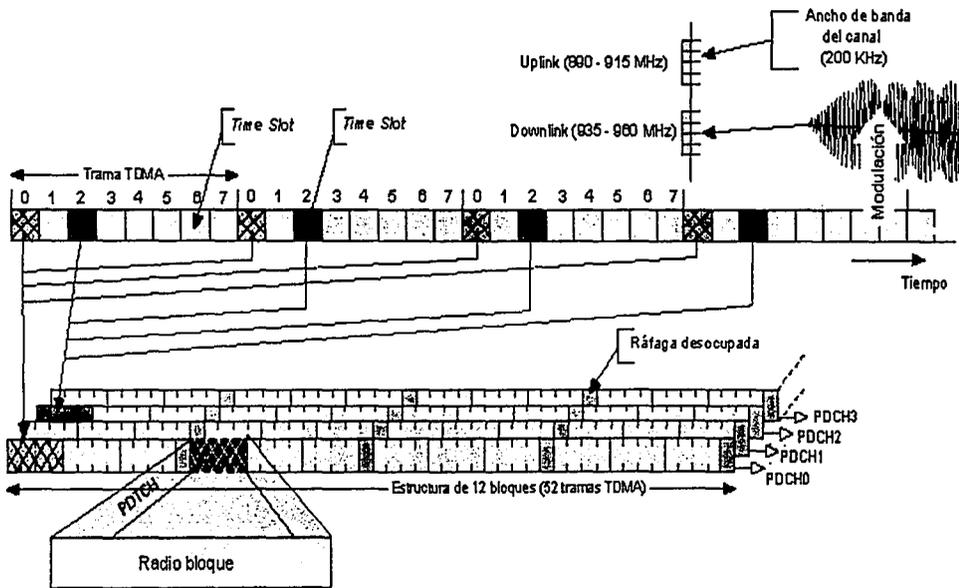


## 4.4 Interfaz de Aire

GPRS utiliza la misma estructura que GSM para formar canales físicos. Cada time slot puede asignarse ya sea a GPRS, para transmitir paquetes de datos o a GSM, para realizar las llamadas de voz. Los time slots utilizados por GPRS forman un canal de paquetes de datos (PDCH, Packet Data Channel).

La unidad básica de transmisión de un PDCH se conoce como bloque de radio. Para transmitir un bloque de radio se utilizan cuatro time slots de cuatro tramas TDMA consecutivas tal como se puede observar en la Figura 4.7. Un PDCH se estructura en multitramas que constan de 52 tramas TDMA, que corresponden a una duración de 240ms. La ráfaga número 13 no transmite nada, dejando así 12 bloques de radio en una multitrama.

Figura 4.7 Estructura del canal de paquetes (PDCH)



La estructura y el número de bits de usuario de un bloque de radio depende del tipo de mensaje y del esquema de codificación utilizado. El esquema de codificación hace posible recuperar paquetes de datos incluso si varios bits se pierden en la transmisión. Para GPRS se han definido cuatro esquemas de codificación (ver Tabla 4.1 ). El objetivo es utilizar un esquema de codificación robusto (CS-1) cuando la calidad de la señal es baja y usar un esquema menos robusto cuando se presentan buenas condiciones de radio (CS-4). La red elige el código de codificación e inicialmente algunos sistemas solo soportarán CS-1 y CS-2. Utilizando el esquema CS-4 y un equipo móvil que pudiera manejar 8 time slots se alcanzaría la velocidad máxima de 171.2Kbps (8 X 21.4kbps).

Dependiendo del tipo de mensaje transmitido en un bloque de radio, una secuencia de bloques de radio formaran canales lógicos, es decir, un canal de paquetes de datos puede llevar varios canales lógicos. Algunos de los principales canales lógicos se describen a continuación:

- PRACH (*Packet Random Access Channel*). Es un canal utilizado por la estación móvil para iniciar una transferencia de datos.
- PPCH (*Packet Paging Channel*). El controlador de estaciones base utiliza este canal para localizar a una estación móvil antes de iniciar una transferencia de datos hacia ella.
- PAGCH (*Packet Access Grant Channel*). A través de este canal se asignan uno o más canales de tráfico de paquetes a la estación móvil.
- PBCCH (*Packet Broadcast Control Channel*). Es un canal de señalización punto a multipunto de la estación base hacia las estaciones móviles. Se utiliza para enviar información específica del sistema.
- PDTCH (*Packet Data Traffic Channel*). Se utiliza para enviar los paquetes de datos del usuario. Una estación móvil puede utilizar varios canales de tráfico.
- PACCH (*Packet Associated Control Channel*). Este canal lleva información de señalización relacionada con una estación móvil y sus canales de tráfico asociados.

Tabla 4.1 Esquemas de codificación en GPRS

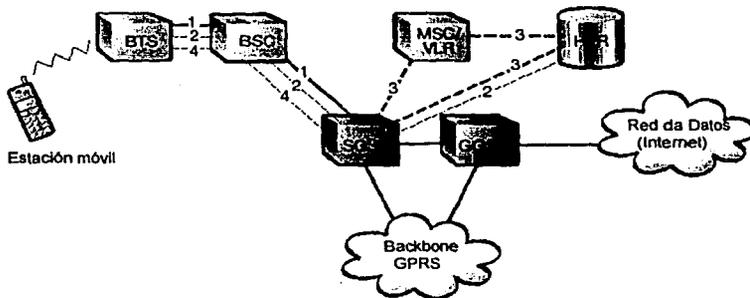
Esquema	Tasa de transmisión de datos (kbps)
CS-1	9.05
CS-2	13.4
CS-3	15.6
CS-4	21.4

## 4.5 Establecimiento de conexión con la red GPRS

Cuando una estación móvil se enciende, ésta debe indicarle a la red que esta lista para enviar o recibir información. Para indicar que la estación móvil esta lista se realiza lo que se conoce como una conexión GPRS:

1. La estación móvil hace una petición para ser conectada a la red, esta petición se envía a un SGSN, indicando las capacidades de la estación móvil, algoritmos de codificación que soporta y los servicios que está solicitando.
2. La autenticación se realiza entre la estación móvil y el HLR
3. Los datos del suscriptor se envían al SGSN y al MSC/VLR
4. El SGSN informa a la estación móvil que ya está conectada a la red.

Figura 4.8 Conexión GPRS



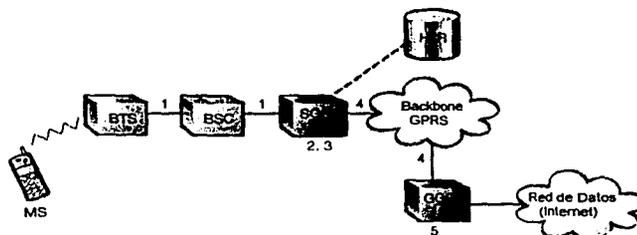
Para poder intercambiar paquetes de datos con redes de paquetes externas, después de la conexión GPRS la estación móvil debe solicitar una dirección de la red de paquetes, por ejemplo una dirección IP en caso de que la red externa sea internet. Para esto se debe activar lo que se conoce como contexto PDP (*Packet Data Protocol*), en este contexto se describen las características de la sesión. Se describe por ejemplo, el tipo de protocolo de paquetes de datos, la dirección PDP asignada (como una dirección IP), la calidad de servicio requerida y la dirección del GGSN que servirá como punto de acceso de la red de paquetes. Este contexto se guarda en la estación móvil, en el SGSN y en el GGSN. Una vez activado el contexto PDP, la estación móvil es “visible” para las redes de datos externas y es capaz de enviar y recibir datos de y hacia ellas.

La asignación de direcciones puede ser estática o dinámica. En el primer caso, el operador de la red asigna permanentemente una dirección al usuario. En el segundo caso, la dirección se asigna al usuario en el momento en que se activa un contexto PDP. En el caso de asignación dinámica el GGSN es el responsable de activar y desactivar las direcciones.

En la Figura 4.9 se muestra el proceso de activación de un contexto PDP y a continuación se describen los pasos realizados

1. La estación móvil solicita la activación de un contexto PDP.
2. El SGSN valida la petición basado en la información del suscriptor recibida desde el HLR durante el proceso de conexión GPRS.
3. El SGSN busca la dirección del GGSN correspondiente a la red de paquetes externa.
4. Se crea una conexión lógica entre el SGSN y el GGSN.
5. El GGSN le asigna una dirección a la estación móvil. En este momento la comunicación entre la red externa y la estación móvil puede comenzar.

Figura 4.9 Activación del contexto PDP



## 4.6 Administración de la ubicación

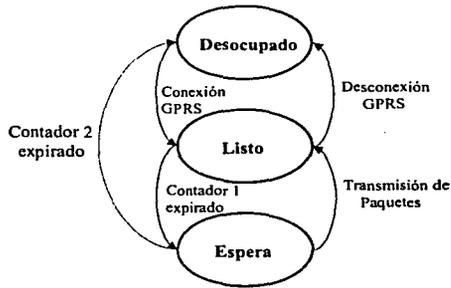
Como su nombre lo indica, la principal tarea de la administración de la ubicación es seguir el rastro del usuario móvil, de tal forma que los paquetes le puedan ser enviados. Para esto, la estación móvil envía frecuentemente mensajes de actualización de ubicación hacia su SGSN actual. Si la estación móvil prácticamente no mandara estos mensajes, su ubicación se desconocería y sería necesario enviar señales de localización a través de varias estaciones base lo que resultaría en retardos en la entrega de paquetes. Por otro lado, si la actualización de ubicación se realiza muy seguido la ubicación del móvil siempre se conoce y ya no hay retardos, sin embargo se estarían ocupando muchos recursos en el enlace de subida así como en la batería. Por lo tanto, se debe encontrar un punto medio entre los dos extremos antes mencionados.

Para esto se han definido tres posibles estados para una estación móvil (ver Figura 4.10). La estación móvil estará en algún estado dependiendo de la cantidad de tráfico actual que este manejando, la frecuencia de las actualizaciones de ubicación depende del estado en el que se encuentre.

El objetivo de estos tres estados es utilizar los recursos de la manera más eficiente. Cuando una estación móvil se encuentra en estado "Listo", el SGSN necesita seguir su rastro continuamente, en estado "Espera" la estación no se encuentra enviando ni recibiendo datos pero esta preparada para hacerlo.

En este caso el SGSN no tiene que saber donde está exactamente la estación base, en vez de eso, solo tiene que tener una idea del área en la que se encuentra la estación móvil. A esta área se le conoce como "área de ruteo" que esta compuesta por varias células. Una estación móvil en modo de "Espera" puede moverse a través de esta área sin necesidad de enviar actualizaciones de ubicación, de esta forma minimiza la utilización de la batería. Cuando la estación móvil inicia una transferencia de datos, ésta se coloca en el estado "Listo". Cuando la estación móvil se encuentra en modo "Desocupado", ésta es inalcanzable para la red y debe realizar una conexión GPRS para ponerse en estado "Listo". También se definen dos contadores, cuando expira el contador uno el equipo móvil pasa del estado "Listo" al de "Espera" y cuando el contador 2 expira el equipo móvil pasa del estado de "Espera" al estado "Desocupado".

Figura 4.10 Modelo de estados de una estación móvil GPRS



## 4.7 Equipos GPRS

Para poder utilizar las redes GPRS, es necesario contar con nuevos equipos móviles. En la Tabla 4.2 se indican los tres tipos de equipos móviles que se definen en GPRS

Tabla 4.2 Clases de equipos móviles

Clase	Descripción
A	Pueden sostener sesiones de voz y datos al mismo tiempo. Se necesitan dos transceivers (hardware que permite al equipo móvil transmitir o recibir señales) debido a que el equipo debe de enviar y recibir datos y voz al mismo tiempo. Por esta razón los equipos clase A son mucho más caros que los clase B y C.
B	Sostienen sesiones de voz y datos pero no al mismo tiempo. Se utiliza un solo transceiver. En la práctica, una sesión GPRS se suspende cuando una llamada de voz inicia. La forma en que se suspende la sesión GPRS puede ser a través de dar la opción al usuario de recibir la llamada entrante o mantener la sesión de datos.
C	Solo pueden realizar sesiones de voz o de datos, es decir, que a diferencia de los equipos clase B, estos equipos únicamente son capaces de sostener un tipo de sesión, siendo los más comunes los que soportan solo la sesión de datos, por ejemplo terminales instaladas en puntos de venta en las cuales solo se requiere la transmisión y recepción de datos.

Debido al alto costo de las terminales clase A, la mayoría de los grandes fabricantes de equipos móviles (Ericsson, Nokia, Motorola,) están produciendo equipos clase B. Actualmente el 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) trabaja en la estandarización de equipos clase A ligeros de tal forma que se puedan construir a costos razonables. Como se mencionó anteriormente la velocidad teórica que ofrece GPRS es de 171.2 Kbps. Este valor supone que se utilizan los 8 time slots disponibles, que un solo usuario los está ocupando y que el esquema de codificación es el CS-4, pero en realidad generalmente la terminal es la que limitará la velocidad alcanzada.

Los equipos variarán de acuerdo a los time slots que pueden manejar para enviar y recibir datos, por ejemplo una terminal 4+1 puede recibir datos utilizando cuatro time slots y enviarlos utilizando uno. Este tipo de configuración asimétrica será común debido al comportamiento natural del usuario que tiende más a recibir información que a enviarla. Mientras mayor sean los time slots utilizados mayor será la tasa de transmisión/recepción y con ello el consumo de batería, por lo tanto se considera poco probable que haya equipos que manejen los ocho time slots. Por esta razón inicialmente se contarán con equipos 2+1, 4+1 o 3+2. Probablemente la tasa de transmisión de un equipo 4+1 estará en un promedio de

40kbps. Debe quedar claro que esto es un promedio ya que realmente la velocidad variará de acuerdo al número de usuarios que estén compartiendo el recurso en un instante dado, por lo que en un instante se puede estar conectado a 10kbps y en otro a 50kbps por ejemplo.

## 4.8 Formas de Cobro

La introducción de las redes de conmutación de paquetes de datos como GPRS abren la posibilidad de nuevas formas de cobro que residirán principalmente en la elección del operador. EL SGSN y el GGSN registran todos los aspectos posibles del comportamiento del usuario y generan información útil para el cobro del servicio. El cobro de los servicios puede basarse en los parámetros mostrados en la Tabla 4.3

Tabla 4.3 Parámetros para el cobro de servicios GPRS

Parámetro	Descripción
Volumen	Cantidad de bytes transferidos
Duración	Duración de una sesión de contexto PDP
Tiempo	Fecha, hora del día o día de la semana (permitiendo así tarifas menores en horas no pico)
Destino final	La dirección destino. Un suscriptor podría pagar de acuerdo a la red a la que este accedando.
Ubicación	La ubicación del suscriptor. Podría haber tarifas diferenciadas teniendo menores tarifas en zonas residenciales comparadas con zonas de oficina
Calidad de servicio	Pagar más por una mayor prioridad de red
"El que envía paga"	El suscriptor que recibe información no la paga, sino el que la envía.
Tarifa Plana	Un pago mensual
Libre de cargo	Información específica podría ofrecerse sin cargo alguno

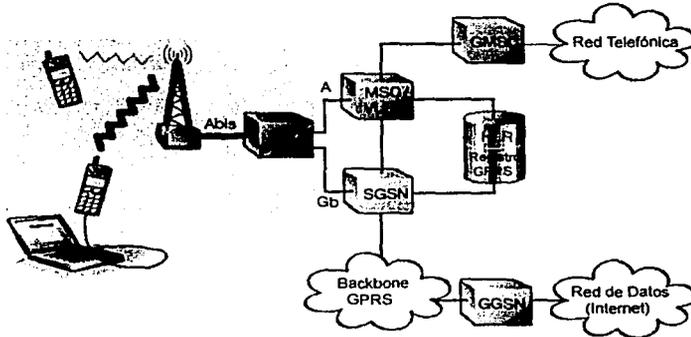
Depende de cada operador decidir la opción que más le convenga para el cobro de servicios GPRS. Un esquema probable es el de cobrar con una tarifa plana, en este escenario la implementación es bastante simple y no se aturdiría al usuario con detalles técnicos para que entienda la forma de cobro.

## 4.9 EDGE

Como hemos visto GPRS es una tecnología de 2.5G que ofrece transmisión de paquetes de datos compartiendo recursos entre varios usuarios y ofreciendo mayores tasas de transmisión que las ofrecidas por las tecnologías 2G. GPRS es un paso evolutivo para llegar a la 3G. Para implementar sistemas de tercera generación se necesitará, en muchos de los casos, adquisición de nuevo espectro, lo que implica una gran inversión para el operador. Es importante saber que no en todos los países se han liberado estas regiones del espectro (recomendadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones), de esta forma una vez que el operador implemente GPRS, éste tiene la opción de esperar a contar con el espectro necesario para implementar sistemas de tercera generación o implementar un estándar que le permita alcanzar mayor velocidad en la interfaz de aire así como trabajar con su espectro asignado. El estándar que cumple con las dos condiciones anteriores se conoce como EDGE (*Enhanced Data Rates for Global Evolution*).

La arquitectura de la red para EDGE es básicamente la misma que la que se tiene en GPRS. La introducción de EDGE afecta principalmente la parte del acceso de radio como se observa en la Figura 4.11 .

Figura 4.11 Elementos afectados por la implementación de EDGE

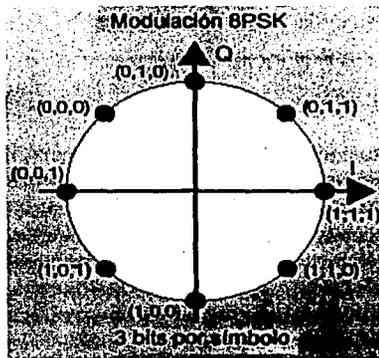


Elementos afectados al introducir EDGE

El principio básico de EDGE es transmitir más bits por segundo durante cada *time slot*. Esto se logra cambiando el esquema de modulación utilizado, GMSK en GSM y QPSK en IS-136, por el de 8PSK. En general la modulación PSK envuelve un cambio de  $180^\circ$  por cada transición de 0 a 1 o viceversa. Con 8PSK los flujos de bits se procesan en grupos de tres bits, permitiendo cambios de fase de  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $270^\circ$  o  $315^\circ$ .

El cambio de fase de una señal representa el cambio de un grupo de tres bits al siguiente grupo como se puede observar en la Figura 4.12

Figura 4.12 Modulación 8PSK



EDGE ofrece mayores tasas de transmisión al utilizar el nuevo esquema de modulación y ya que con este esquema se producen 8 distintos cambios de fase para interpretar una cadena de tres bits, se tiene que la señal modulada con 8PSK es más susceptible al ruido que con los esquemas de modulación de 2G. El resultado directo de esto es que si una estación base soportara dos tipos de modulación, digamos GMSK y 8PSK, y tienen la misma potencia para ambas modulaciones, entonces la cobertura es menor utilizando 8PSK que utilizando GMSK.

Por esta razón EDGE permite adaptar el esquema de codificación y el tipo de modulación utilizada de acuerdo a las condiciones de radiofrecuencia. De esta forma conforme un usuario se acerca al borde de la región de cobertura de una estación base, éste experimentará una disminución en la tasa de transmisión ya sea cambiando el tipo de modulación de 8PSK a GMSK(en caso de GSM) o

cambiando el esquema de codificación por otro<sup>3</sup> con una detección de errores más robusta.

#### 4.9.1 Esquemas de codificación y modulación

En EDGE se definen nuevos esquemas de codificación además de los ya existentes en GPRS. Los esquemas de modulación y codificación (MCS, *Modulation and Coding Scheme*), son llamados así, debido a que no solo cambia el tipo de codificación sino que del MCS1 al MCS-4 se utiliza la modulación GMSK y del MCS-5 al MCS-9 se utiliza 8PSK.

En la Tabla 4.4 se muestran los diferentes esquemas con su modulación asociada y la velocidad alcanzada por cada uno de ellos<sup>3</sup>.

*Tabla 4.4 Esquemas de modulación y codificación para EDGE*

Esquema	Modulación	Datos de usuario (bit)	Tasa de transmisión (kbps)
MCS-1	GMSK	176	8.8
MCS-2	GMSK	224	11.2
MCS-3	GMSK	296	14.8
MCS-4	GMSK	352	17.6
MCS-5	8-PSK	448	22.4
MCS-6	8-PSK	592	29.6
MCS-7	8-PSK	2x448	44.8
MCS-8	8-PSK	2x544	54.4
MCS-9	8-PSK	2x592	59.2

Los tipos de canales utilizados en EDGE son los mismos que se utilizan en GPRS, es decir, se tienen canales de paquetes de datos que portan canales de señalización, de tráfico, de control tal como en GPRS.

De la misma forma en la que la red controla los esquemas de codificación que usará un usuario GPRS, la red también controla el MCS que deberá usar un usuario de EDGE tanto en el enlace de subida como en el de bajada.

3. 3G Wireless Networks. Clint Smith, Daniel Collins. pp 199. McGraw - Hill TELECOM.

## **4.10 Posibilidades para IS-136**

La evolución hacia la tercera generación a través de GPRS es un paso bien definido para aquellos operadores trabajando con GSM. Así mismo, los operadores que trabajan con el estándar IS-95 tienen claro su camino hacia la tercera generación a través de CDMA2000 1X. En el caso del operador con el estándar IS-136, la evolución parece no estar tan definida como en el caso de las dos tecnologías antes mencionadas. Para esta tecnología se pensaba implementar EDGE compacta una versión modificada con respecto a la versión clásica (utilizada en GSM), la cual se adaptaría a las características típicas del estándar IS-136 (canales de 30KHz, 6 times slots en cada trama, etc) para después migrar a un estándar de tercera generación conocido como UWC-136.

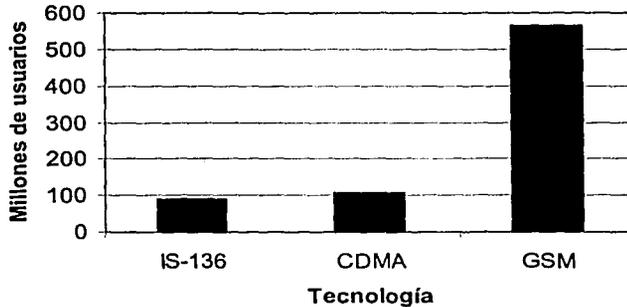
Sin embargo, a pesar de la existencia del estándar, éste parece no contar con gran apoyo por la industria, por lo que el operador IS-136 podría elegir migrar su red hacia CDMA o hacia GSM para luego adoptar la evolución respectiva de cada una de las tecnologías.

GSM es el estándar móvil más utilizado en todo el mundo con una penetración mundial aproximada del 70% con más de 400 redes operando en 168 países<sup>4</sup> sirviendo así a más de 500 millones de usuarios (ver Figura 4.13 ). Debido a esto existe una gama muy amplia de desarrollo en el área de GSM y un gran apoyo por grandes proveedores como Nokia, Ericsson, Motorola y Lucent. Es claro que los usuarios de GSM y en un futuro de WCDMA contarán con la capacidad de roaming internacional más grande que cualquiera de las tecnologías competidoras en 3G. Por lo tanto, eligiendo la tecnología GSM, los operadores IS-136 se benefician de la más amplia elección de equipos y aplicaciones así como de la mayor y más activa comunidad de investigación y desarrollo.

---

4. Datos obtenidos de EMC World Cellular

Figura 4.13 Usuarios de las principales tecnologías de 2G



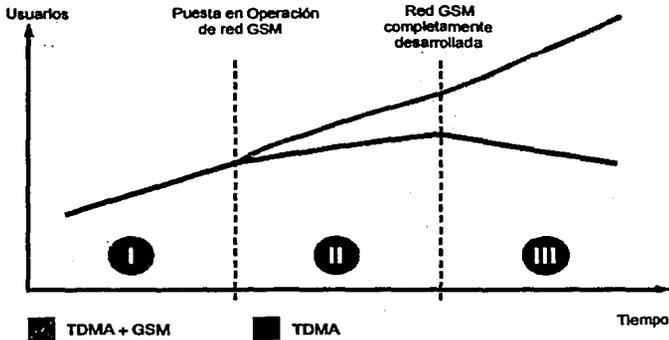
fuelle: EMC World Cellular

Elegir la opción de GSM para llegar a la tercera generación no implica el fin de la tecnología IS-136 al menos durante los próximos 10 años, ya que continúa siendo la tecnología más utilizada al menos en América sirviendo a más de 80 millones de usuarios.

El primer paso a seguir por el operador que adoptará la opción de GSM para llegar a la tercera generación es la introducción de una red GSM/GPRS. De esta forma el operador IS-136 se verá involucrado en tres fases conforme el tiempo pasa.

El operador IS-136 se moverá de una red TDMA pura hacia el paso de implementar la red GSM/GPRS y ofrecer servicios basados en las dos tecnologías y posteriormente concentrarse completamente en el desarrollo del servicio GSM/GPRS (ver Figura 4.14 )

Figura 4.14 Transición de IS-136 a GSM



Todo operador IS-136 que elija la opción de GSM tendrá que pasar por las tres fases de la figura anterior. El inicio de cada fase y la duración en que el operador permanezca en ella depende de muchos factores, entre los que se encuentra la bandas con las que actualmente cuenta el operador, el capital con que cuente y la competencia de su mercado. Por ejemplo, un operador con frecuencias únicamente en la banda de los 800 MHz, puede combinar su red TDMA y la GSM/GPRS en la misma banda por un periodo de tiempo y gradualmente reemplazar el tráfico de la red TDMA con GSM/GPRS. Por otro lado, si un operador tiene frecuencias en la banda de 1900MHz, éste puede seguir operando su red TDMA en la banda de los 800MHz e introducir GSM/GPRS en la banda de 1900MHz. En esta opción se tiene la ventaja de ya contar con infraestructura GSM ya que desde 1995 se cuenta con redes GSM en los 1900MHz en los Estados Unidos. Para el caso del operador que solo cuenta con la banda de los 800MHz, los grandes proveedores como Nokia, Ericsson, Lucent y Motorola han anunciado que ofreceran equipo GSM en esa banda. De hecho Nokia ha sido de los primeros en entregar equipo en esa banda para operadores como Cingular Wireless y AT&T en Estados Unidos.

#### **4.10.1 GAIT**

Como se dijo anteriormente, los operadores IS-136 que implementen una red GSM/GPRS, forzosamente tendrán que trabajar con ambas redes durante un tiempo, por lo que es necesario contar con equipo que trabaje con ambas tecnologías. Esta es otra de las razones por la cual la elección del operador IS-136 por una red CDMA podría resultar poco ventajosa ya que no se ve muy clara la existencia de teléfonos que soporten CDMA y TDMA.

Sin embargo los equipos que trabajan en GSM y TDMA serán una realidad a través de lo que se conoce como GAIT (*GSM-ANSI-136 Interoperability Team*). Con GAIT, el usuario es capaz de utilizar servicios de ambas redes con un solo equipo.

El siguiente paso del operador IS-136 una vez instalada su red GSM/GPRS hacia la tercera generación es la implementación de EDGE, principalmente porque permite trabajar en las mismas frecuencias y ofrece mayores tasas de transmisión y capacidad de usuarios. El operador podría no implementar EDGE y esperar a que se cuente con infraestructura con tecnología WCDMA (ver capítulo 5), pero la implementación del estándar requiere contar con nuevo espectro, y existen regiones en las que éste prácticamente no se ha liberado por lo que será común la implementación de EDGE mientras se libera el espectro necesario para la tercera generación.

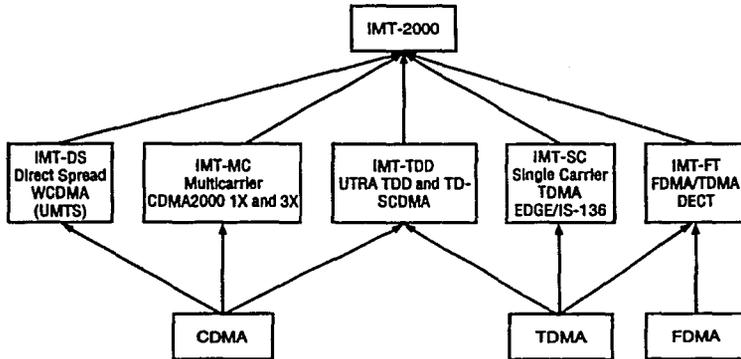
## 5. Estándares Móviles de Tercera Generación

Todo lo concerniente a la tercera generación de sistemas móviles se define a través de la Unión Internacional de Telecomunicaciones<sup>1</sup> en una especificación llamada IMT-2000. En cuanto a tasas de transmisión se refiere, la especificación solicita que para que un estándar sea considerado como de tercera generación, deberá ofrecer las siguientes tasas de transmisión:

- 2Mbps en ambiente fijo
- 384 Kbps para movilidad de peatones
- 144 Kbps para movilidad vehicular

La intención de la UIT era crear un solo estándar de tercera generación para todas las regiones del mundo. Por distintas causas como el hecho de la existencia de al menos tres distintos estándares de segunda generación así como intereses con enfoque regional más que mundial llegaron a la UIT muchos estándares que cumplían con las especificaciones requeridas. En la Figura 5.1 se muestran los estándares actualmente aceptados por la UIT.

Figura 5.1 Estándares IMT-2000



1. [www.itu.net](http://www.itu.net)

IMT-SC es la evolución de los sistemas TDMA , pero probablemente no contará con tanto apoyo por la industria como el que se tiene con otras tecnologías. IMT-FT e IMT-TDD son estándares principalmente para interiores.

De modo que los principales estándares que jugaran un gran papel en sistemas de 3G son IMT-MC (CDMA2000) y IMT-DS (WCDMA). CDMA 2000 es la evolución de los sistemas basados en el estándar IS-95 y WCDMA es la evolución de los sistemas basados en GSM. Como se comentó en la sección “Posibilidades para IS-136” en la página 76, los operadores IS-136 debieran elegir una de las dos principales opciones para migrar hacia la tercera generación, y debido a la gran penetración del estándar GSM, la opción de migrar a través de GSM/GPRS/WCDMA se asoma como una gran opción estos operadores.

En este capítulo se presentan las principales características de los sistemas de tercera generación en general además se hace una descripción de WCDMA que es el siguiente paso después de implementar GPRS así como de los equipos utilizados y los servicios con los que probablemente cuente el usuario .

## **5.1 Características comunes de los sistemas 3G**

Se pueden mencionar tres principales características que compartira cualquier estándar de tercera generación:

- Mayores tasas de transmisión.

Con cualquier estándar de tercera generación, la tasa de transmisión debe ser mucho mayor que la alcanzada con tecnologías de 2.5, obteniendo cientos de kilobits por segundo tanto en el enlace de subida como en el de bajada.

- Calidad de Servicio.

Cuando un usuario se conecta a la red, se establece un acuerdo acerca de las características que tendrá la conexión , por ejemplo, a un usuario se le podría garantizar que la tasa de transmisión nunca será menor a un cierto número de bits por segundo.

- Distancia.

En todo sistema 3G la máxima tasa de transmisión dependerá de la distancia a la que se encuentre el equipo móvil de la estación base. Mientras más lejos se encuentre el equipo móvil de la estación base, más difícil será alcanzar velocidades mayores. Hasta cierto punto la administración de la calidad del servicio remediara esta situación pero aún así siempre habrá restricciones físicas que limiten la velocidad.

## 5.2 Actividades de Estandarización

Las organizaciones de estandarización pueden ser grupos nacionales o multinacionales que están involucrados en la definición de estándares comunes. El proceso de estandarización de cualquier tecnología permite a las compañías involucrarse en el desarrollo de la tecnología y prepararse a tomar las mejores decisiones en cuanto a diseño de ingeniería y decisiones de mercado.

Algunos de los principales organismos de estandarización que estan involucrados con los estándares de tercera generación son:

- ETSI (European Telecommunications Standards Institute), organismo de estandarización europeo impulsor de GSM y del sistema UMTS para tercera generación que utiliza WCDMA.
- ARIB (Association of Radio Industries and Business), enfocada principalmente al desarrollo de tercera generación en Japón a través de WCDMA
- TIA (Telecommunications Industry Association) que ha presentado varios propuestas para WCDMA así como para CDMA2000.
- CWTS (China Wireless Telecommunications Standard), organismo de estandarización en China.

El objetivo de estos organismos es la armonización para alcanzar estándares globales que permitan obtener ventajas económicas a los clientes, operadores y manufactureros, por lo tanto se establecieron dos organismos internacionales : el 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) y el 3GPP2 (*Third Generation Partnership Project 2*).

El 3GPP trabaja en el desarrollo de estándares de tercera generación para los sistemas basados en TDMA. En este organismo se incluye a ETSI, ARIB, TTA de Korea entre otros. El 3GPP2 desarrolla estándares para sistemas basados en IS-95. En este organismo se incluye a organismos como TTA, ARIB, CWTS, entre otros. Ambos organismos desarrollan estándares de tercera generación y tenderán a entregar estándares orientados cada vez más a IP.

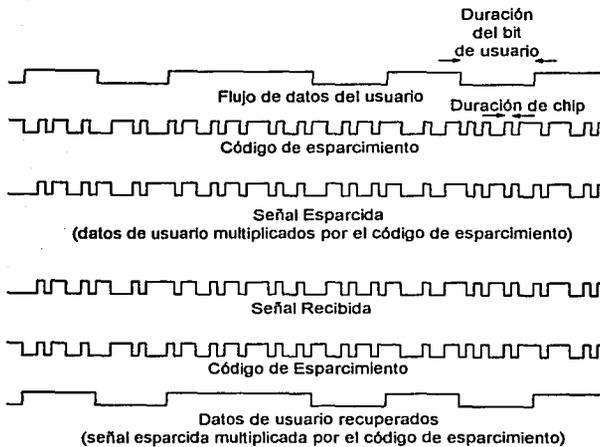
### **5.3 WCDMA**

Existen dos variantes dentro del estándar WCDMA: FDD y TDD. El modo TDD será principalmente utilizado para aplicaciones en interiores. El modo FDD es el modo que probablemente experimentará el mayor desarrollo ya que es el siguiente paso después de implementar GPRS.

En el modo FDD se utilizan portadoras de 5MHz tanto en el enlace de subida como en el de bajada y ocupan las siguientes frecuencias: 1920MHz a 1980 MHz en el enlace de subida y 2110 a 2170 MHz en el enlace de bajada. De modo que, existe una separación entre canales de subida y de bajada de 190MHz.

Como en cualquier sistema CDMA, los datos de usuario se esparcen a un ancho de banda mucho mayor que el requerido para su transmisión a través de la aplicación de un código de esparcimiento. La transmisión de cada usuario se distingue con el uso de distintos códigos ya que todos los usuarios transmiten en la misma frecuencia y al mismo tiempo. En la parte receptora, la señal de un usuario se separa de la de los demás aplicando de nuevo el código del usuario a todas las señales recibidas. Como resultado se obtiene los datos del usuario además de algo de ruido como resultado de las transmisiones del resto de los usuarios. En la Figura 5.2 se ilustra este concepto.

Figura 5.2 Concepto de Esparcimiento



La tasa de transmisión del código de esparcimiento se le conoce como tasa de chips. La relación entre la tasa de chips y los datos de usuario es conocida como factor de esparcimiento. La capacidad para recuperar una señal de un usuario en específico está influenciada por el factor de esparcimiento, mientras más grande sea el factor de esparcimiento mayor será la capacidad de recuperar la señal de un usuario. Por esta razón la magnitud del factor de esparcimiento se considera una especie de ganancia y se conoce como la ganancia del proceso. Por otro lado, mientras la tasa de chips sea más grande, también lo será el ancho de banda requerido.

La tasa de transmisión en WCDMA es de 3.84Mcps (Megachips por segundo). En la Tabla 5.1 se muestran algunos factores de esparcimiento y sus correspondientes tasas de transmisión de usuario.<sup>2</sup>

2. 3G Wireless Networks. Clint Smith, Daniel Collins. pp 147-148. Mc-Graw Hill TELECOM

Tabla 5.1 Factores de Esparcimiento y Tasas de Usuarios

Factor de Esparcimiento	Tasa de Transmisión de IMT-2000 (Kbps)	Tasa de Transmisión de WCDMA (Kbps)
512	NA	3
256	7.5	12
128	15	25
64	30	45
32	60	105
16	120	216
8	240	456
4	480	936

Como se puede observar el menor factor de esparcimiento ofrece una tasa de transmisión para el usuario de 480kbps. Esto no satisface los requerimientos de IMT-2000 en el cual se exige poder alcanzar velocidades de 2Mbps.

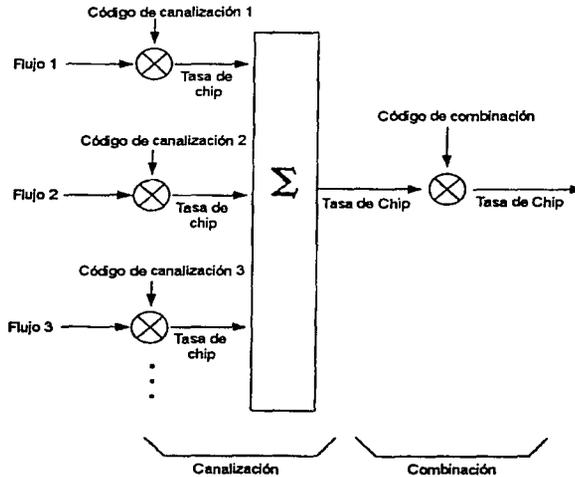
Para alcanzar esos requerimientos WCDMA tiene la capacidad de que cada usuario pueda transmitir simultáneamente hasta 6 canales de datos. De esta forma, si se requiere transmitir a una tasa de transmisión mayor que 480Kbps, entonces se utilizan varios canales a la vez ofreciendo de esta forma velocidades superiores a los 2Mbps.

En WCDMA los canales se transmiten con una estructura de trama de 10ms. Es posible cambiar el factor de esparcimiento de una trama a otra, de modo que en una trama la tasa de transmisión es fija, pero ésta puede cambiar de trama en trama.

Además de separar las transmisiones de varios usuarios, también es necesario separar las diferentes transmisiones que un mismo usuario puede generar, es decir, cuando un usuario transmite datos de usuario e información de control, la estación base primero debe separar la información de ese usuario de la del resto de los usuarios y después separar la información de control de la del usuario.

Para soportar esto, en WCDMA se implementan dos pasos por los que tiene que pasar cualquier flujo de datos. Esto se ilustra en la Figura 5.3. Primero cada flujo de datos se esparce utilizando el código de esparcimiento al que también se le conoce como código de canalización y el cual opera a 3.84Mcps. Después, el conjunto de señales dispersas se combina para formar una sola señal a la que se le aplica un código de combinación o *scrambling code* que también opera a 3.84Mcps. En la parte receptora la señal se descombina utilizando el código de combinación adecuado y los distintos flujos del mismo usuario se recuperan a través de la aplicación del código de canalización apropiado. Evidentemente es importante que distintos usuarios utilicen diferentes códigos de combinación. Sin embargo, distintos usuarios pueden utilizar los mismos códigos de canalización.

Figura 5.3 Canalización y Combinación



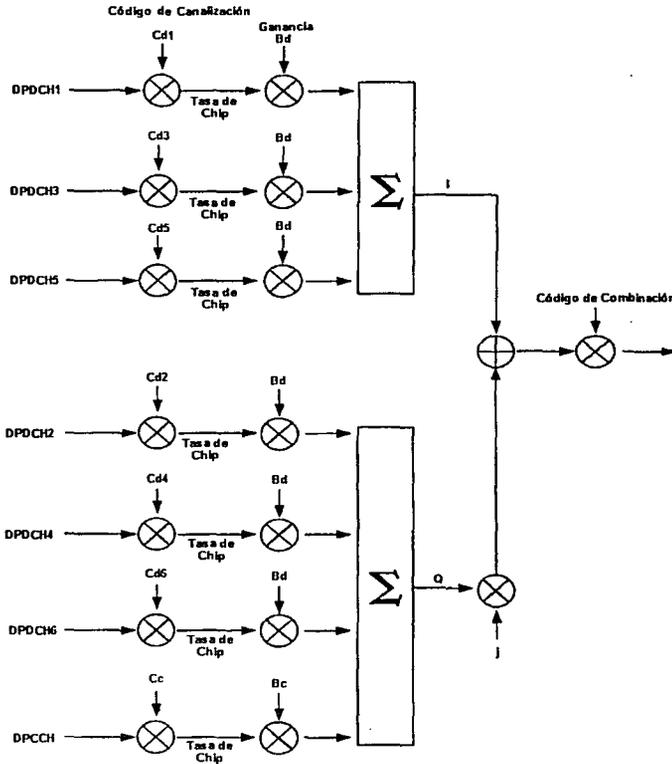
### **5.3.1 Canalización y Combinación en la subida (uplink)**

Un canal físico es el que porta los datos de usuario o de control a través del aire. Un canal físico puede especificarse a partir de tres parámetros: la frecuencia, el código de combinación y el código de canalización.

Por ejemplo, si un usuario transmite datos propios del mismo e información de control, los datos del usuario se portaran en un canal físico y los datos de control estarán en otro canal físico.

En el caso en el que un usuario está transmitiendo información, el equipo terminal normalmente utiliza dos canales físicos: el canal físico de datos (DPDCH, Dedicated Physical Data Channel) y el canal físico de control (DPCCH, Dedicated Physical Control Channel). Dependiendo de la cantidad de información que se necesite enviar, un usuario puede utilizar desde un DPDCH que soporta 480Kbps hasta 6 DPDCH soportando así más de 2Mbps. Un DPDCH puede tener un factor de esparcimiento variable, es decir, que la tasa de transmisión no está fija a un valor específico. En la Figura 5.4 se muestra como se pueden sostener múltiples canales DPDCH. Así mismo, se indica el canal de control DPCCH que también se envía siempre que uno o más canales de datos son enviados. Los códigos de canalización (Cd1 a Cd6) representan los códigos de canalización aplicados a cada uno de los seis canales de datos (DPDCH). El código de canalización aplicado al canal de control se indica como Cc. A todos los canales de datos se les aplica una ganancia Bd mientras que al canal de control se le asigna una ganancia Bc. Los canales físicos de datos 1, 3 y 5 se colocan en la rama llamada I mientras que los canales físicos de datos 2,4 y 6 junto con el canal de control se colocan en la rama Q.

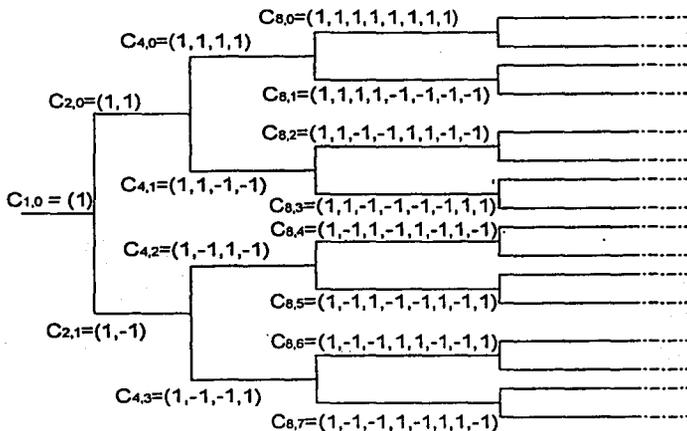
Figura 5.4 Canalización y Combinación de canales físicos



### Códigos de Canalización

Como ya se mencionó, los códigos de canalización se utilizan para separar distintos flujos de datos de un mismo usuario. Los códigos de canalización se conocen como códigos OVSF (*Orthogonal Variable Spreading Factor*) y se obtienen de un árbol como el de la Figura 5.5.

Figura 5.5 Árbol de códigos de canalización



En general un canal físico utiliza un código de canalización que está relacionado con el factor de esparcimiento. Cuando solo un canal físico de datos (DPDCH) se transmite, entonces el código de canalización utilizado será  $C_{SF, k}$  donde SF es el factor de esparcimiento y  $k=SF/4$ . El factor de esparcimiento del canal físico de control (DPCCCH) siempre es 256 y el código de canalización es  $C_{256, 0}$ .

Cuando se transmiten varios canales físicos de datos, cada DPDCH tendrá un factor de esparcimiento de 4 y el código de canalización para cada canal será  $C_{4, k}$ . Donde  $k=1$ , para el canal físico de datos 1 y 2;  $k=2$  para el canal físico de datos 3 y 4;  $k=3$ , para el canal físico de datos 5 y 6. Por ejemplo el canal DPDCH<sub>3</sub> y el DPDCH<sub>4</sub> utilizarían el código de canalización  $C_{4, 2} = (1, -1, 1, -1)$ .

Dado que los códigos de canalización se utilizan para separar distintas transmisiones del mismo usuario el hecho de utilizar un mismo código de canalización para dos canales aparentemente es un problema, pero como se observa en la Figura 5.4 ambos canales ocupan distintas ramas por lo que aún compartiendo el mismo código de canalización, estos podrán ser separados en el receptor.

## Códigos de Combinación

Una vez que los distintos canales se esparcen por medio de los códigos de canalización, éstos tienen que combinarse como se muestra en la Figura 5.4 a través de un código de combinación. Existen  $2^{24}$  códigos de combinación que pueden ser códigos largos o cortos. El código utilizado en la subida lo determina la red y se le informa al equipo móvil a través de un canal de control. La elección de cierto código en particular depende del tipo de canal en cuestión. Ya después de la aplicación del código de combinación la señal es modulada utilizando QPSK.

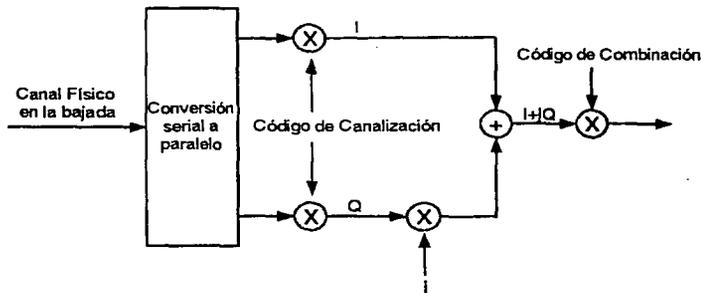
### 5.3.2 Canalización y Combinación en la bajada (Downlink)

#### Canalización

En el enlace de bajada los canales se esparcen a la tasa de chip y después combinados tal como se muestra en la Figura 5.6. Cada canal que será esparcido se divide en dos flujos -sobre la rama I y la rama Q-. Los símbolos pares se envían a la rama I mientras que los impares a la Q. Ambos flujos se esparcen con el mismo código de canalización. El código de canalización se obtiene del mismo árbol de la Figura 5.5. Los flujos de la rama I y Q se suman para luego ser combinados.

Cabe destacar una gran diferencia entre el esparcimiento en la bajada y el esparcimiento en la subida. En la subida, los datos de un canal físico se dirigen completamente ya sea a una rama I o una rama Q, es decir, no hay ninguna conversión serial-paralelo. Por lo tanto, para un factor de esparcimiento de 8, la tasa de transmisión del canal físico es 480kbps ( $3840000/8$ ).

*Figura 5.6 Canalización y Combinación en la bajada*



Por otro lado, en la bajada, cada canal se sujeta a una conversión serial-paralelo. Para un factor de esparcimiento dado, la conversión serial-paralelo duplica la tasa de transmisión de datos del canal físico ya que la mitad de datos del canal se lleva a la rama I y la otra mitad a la rama Q y ambas se esparcen con el mismo factor de esparcimiento. Por ejemplo, si se tiene un factor de esparcimiento de 8, la tasa de transmisión de usuario en la rama I es de 480kbps así como en la rama Q. La tasa de transmisión total es de 960kbps. En la práctica la tasa de transmisión de usuario en la bajada no es el doble que el de la subida debido a que se multiplexa con el flujo cierta información de control lo que reduce la tasa neta de un canal dado. Aun así para cierto factor de esparcimiento en la bajada, la tasa de transmisión efectiva es mayor que la correspondiente tasa de transmisión en la subida.

### Combinación

Los códigos de combinación en la bajada se utilizan para separar las transmisiones entre células. Existen un total de  $2^{18} - 1$  (262,143) códigos de combinación aunque no todos ellos se utilizan. Todos los códigos disponibles se agrupan en 512 grupos, cada uno de ellos contiene un código de combinación primario y 15 secundarios. A una célula se le asigna uno y solo un código de combinación primario con sus respectivos códigos de combinación secundarios ver Tabla 5.2 .

Tabla 5.2 Asociación de códigos primarios y secundarios

Código de combinación primario	Códigos de combinación secundarios
0	1-15
16	17-31
32	33-47
48	49-63
:	:
8160	8161-8175
8176	8177-8191

Así como en el enlace de subida, WCDMA utiliza modulación QPSK para el enlace de bajada. En la Tabla 5.3 se indica un resumen de las funciones de los códigos de canalización y combinación tanto en el enlace de bajada como en el de subida.

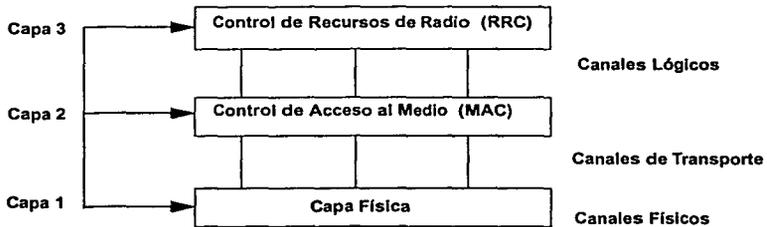
**Tabla 5.3 Características de los códigos de canalización y combinación**

	Códigos de Canalización	Códigos de Combinación
Uso	<b>Subida:</b> Separación de canales de control y de canales de datos de un mismo usuario. <b>Bajada:</b> Separación de distintos usuarios dentro de una misma célula	<b>Subida:</b> Separación de usuarios <b>Bajada:</b> Separación de células
Número de códigos	Igual al número del factor de esparcimiento	<b>Subida:</b> Varios millones <b>Bajada:</b> 512
Esparcimiento	Sí, incrementa el ancho de banda de la transmisión	No afecta el ancho de banda de la transmisión

### 5.3.3 Estructura de Canales

Como en todos los sistemas hasta ahora descritos, WCDMA cuenta con muchísimos tipos de canales para transmitir la información. En la Figura 5.7 se describe la estructura para la organización de estos canales.

*Figura 5.7 Tipos de Canales*



La información de la capa MAC se pasa a la capa física a través de canales de transporte, esa información puede comenzar en capas más elevadas, en cuyo caso, se pasa de la capa RRC a la capa MAC en forma de canales lógicos. Los canales lógicos se relacionan con la información que se está transmitiendo mientras que los canales de transporte se relacionan con la forma en la cual la información debe ser transmitida. Básicamente existen dos grupos de canales lógicos: canales de control y canales de tráfico.

En cuanto a los canales de transporte, existen en general dos tipos: canales de transporte comunes (compartidos entre varios usuarios) y canales de transporte dedicados (utilizados por un usuario en específico). Entre los principales canales de transporte se encuentran RACH (*Random Access Channel*), canal de acceso aleatorio que es el utilizado por un usuario cuando quiere tener acceso a la red; BCH (*Broadcast Channel*), canal de difusión en el cual se transmite información para cubrir el área de toda una célula y a todos los usuarios de la misma; PCH (*Paging Channel*), canal de localización para ubicar a un usuario antes de enviarle la información; DCH (*Dedicated Channel*), canal de dedicado a un solo usuario para transportar los datos del mismo.

En general un canal físico se identifica por una frecuencia específica, un código de combinación y uno de canalización. Entre los principales canales físicos se encuentran SCH (*Synchronization Channel*), canal de sincronización que transmite la estación base y lo utiliza la estación móvil durante el procedimiento de búsqueda de célula; CPICH (*Common Pilot Channel*), canal piloto utilizado para hacer mediciones de la señal y tomar decisiones de handover; CCPCH (*Common Control Physical Channel*) canal común de control, es utilizado para transmitir información del canal de transporte de difusión.

### 5.3.4 Contro de Potencia

En cualquier sistema CDMA el control de potencia es muy importante debido a que todos los usuarios comparten la misma frecuencia al mismo tiempo, por eso es necesario que ningún usuario transmita a una potencia que provoque que el resto de los usuarios no sean escuchados. Si, por ejemplo, un usuario cerca de la estación base transmitiera a la misma potencia que otro en el límite de la cobertura de la célula, entonces la señal del usuario más cercano a la estación base no dejaría llegar a la señal del usuario que está más lejos.

Para evitar este problema se implementan mecanismos por medio de los cuales se le indica a la estación móvil que ajuste su potencia de transmisión de modo que todas las transmisiones de todos los usuarios en una misma célula lleguen con el mismo nivel de potencia a la estación base.

En general, el control de potencia en WCDMA utiliza dos técnicas principales: control de potencia de lazo abierto y control de potencia de lazo cerrado. Con el control de potencia de lazo abierto, la estación móvil estima la potencia de transmisión requerida con base a la potencia de la señal recibida de la estación base y a información enviada respecto a la potencia de transmisión de la estación base. De este modo, el control de potencia de lazo abierto ofrece solo un estimado muy general de la potencia con la que debería de transmitir la estación móvil.

En el control de potencia de lazo cerrado la entidad receptora (estación base o estación móvil) mide la relación Señal-Interferencia (SIR, Signal-to-Interference Ratio) y la compara con un valor SIR establecido. La estación base o móvil le indica al equipo en el otro extremo que incremente su potencia de transmisión si el SIR es muy bajo o que decrezca su potencia de transmisión si el SIR es muy alto. El control de potencia de lazo cerrado también se conoce como control de potencia rápido ya que opera a una velocidad de 1500Hz, en otras palabras, los comandos de control de potencia se envían 1500 veces por segundo.

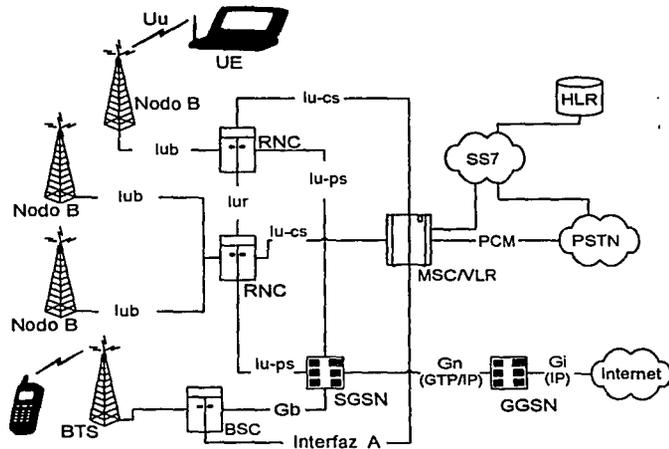
### 5.3.5 Arquitectura de Red

Como ya hemos indicado la arquitectura de tercera generación que se basa en WCDMA es la evolución de la red GSM por lo que se utilizan muchos elementos ya utilizados tanto en GSM como en la tecnología de 2.5G GPRS. El sistema completo de tercera generación se conoce como UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Service*). Como mencionamos anteriormente el 3GPP se encarga de estandarizar este sistema. En la Figura 5.8 se muestra la arquitectura del sistema de acuerdo a la primera liberación del 3GPP<sup>3</sup>.

---

3. 3G Wireless Networks. Clint Smith, Daniel Collins. pp150. Mc-Graw Hill TELECOM

Figura 5.8 Arquitectura de Red (Release 1999)



Como se muestra en la figura, se ha cambiado el nombre de algunos de los elementos, por ejemplo, la estación móvil se le llama ahora equipo de usuario, las estaciones base se denominan Nodos B y los BSC ahora son RNC (*Radio Network Controller*). La interfaz entre el equipo de usuario y la red se denomina interfaz Uu que es la interfaz WCDMA que ya describimos.

El nodo B se conecta a un RNC. Los RNC controlan a su vez los recursos de radio de los nodos B que están conectados a él. La interfaz entre el nodo B y el RNC se llama interfaz Iub. A diferencia de la equivalente interfaz Abis en GSM, la interfaz Iub está completamente estandarizada y abierta de modo que el nodo B puede conectarse a un RNC aunque no sean del mismo proveedor.

A diferencia de GSM, donde los controladores de estaciones base (BSC) no se conectan entre sí, en UTRAN sí se define una interfaz entre los RNC llamada Iur. El propósito principal de esta interfaz es apoyar la movilidad entre RNC y el handover suave entre Nodos B conectados a distintos RNC. El conjunto de RNC y de Nodos B se conoce como red terrestre de acceso de radio UMTS (*UTRAN, UMTS Terrestrial Radio Access Network*). La UTRAN se conecta a la red central a través de la interfaz Iu, que a su vez tiene dos distintos componentes.

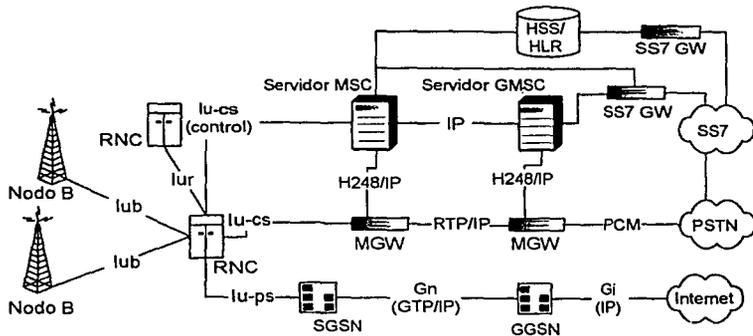
La conexión de la UTRAN a la parte de circuitos conmutados se realiza a través de la interfaz Iu-CS que conecta un RNC a un MSC (*Mobile Switching Center*). La conexión de la UTRAN a la red de paquetes se realiza a través de la interfaz Iu-PS que conecta un RNC con un SGSN (*Serving GPRS Support Node*). Como se puede observar, todas las interfaces en UTRAN se basan en ATM lo cual se eligió por su capacidad de coportar un rango de distintos tipos de servicios.

Como se puede observar en la Figura 5.8, la red central utiliza la misma arquitectura implementada en GSM/GPRS. Después de esta arquitectura de red, el 3GPP ha liberado otras dos arquitecturas (*Release 4 y Release 5*) que ofrecen mejoras a la liberación inicial.

#### Arquitectura de 3GPP Release 4

La cuarta liberación del 3GPP introduce mejoras principalmente al dominio de circuitos conmutados. Básicamente, el MSC, ahora se divide en dos partes, específicamente en un servidor MSC y una compuerta (MGW, *Media GateWay*) como se muestra en la Figura 5.9<sup>4</sup>. El servidor MSC contiene todo lo referente a la administración de movilidad y el control lógico de llamadas que normalmente estaría en un MSC. El MGW establece, manipula y libera el flujo de datos de una llamada bajo el control del servidor MSC.

Figura 5.9 Arquitectura de Red (Release 4)



4. 3G Wireless Networks. Clint Smith, Daniel Collins . pp153. Mc-Graw Hill TELECOM

La señalización de control para las llamadas de circuitos conmutados se realiza entre el RNC y el servidor MSC. Normalmente el MGW toma las llamadas del RNC y las rutea hacia su destino sobre un backbone de paquetes. En muchos casos este backbone estará basado en IP, de modo que el tráfico en el backbone sera de voz sobre IP. En el punto remoto, donde las llamadas tienen que pasarse hacia otra red como la telefónica (PSTN), otro MGW se controlado por un servidor compuerta MSC (GMSC) convierte la voz de paquetes al estándar PCM para entregarla a la red telefónica. El protocolo de control entre el MSC y el MGW es el protocolo de la UIT H.248.

#### **Arquitectura de Red (Release 5)**

El siguiente paso en la evolución de UMTS es la introducción de una arquitectura de red orientada totalmente a IP. Específicamente, voz y datos son tratados en la misma forma durante todo el camino desde la terminal de usuario hasta su último destino. Como se ve en la Figura 5.10 , la voz y los datos ya no necesitan interfaces separadas, simplemente una interfaz lu porta toda la información<sup>5</sup>.

También se agregan algunos elementos nuevos como la función de control del estado de llamada (CSCF, *Call State Control Function*), que mantiene, establece y libera las sesiones multimedia desde y hacia los equipos de usuario; la función de recursos multimedia (MRF, *Multimedia Resource Function*), que soporta diversos servicios multimedia; la función de control de compuerta (MGCF, *Media Gateway Control Function*), que controla a los MGW; las compuertas de señalización de transporte y de roaming (T-SGW, *Transport Signaling Gateway* y R-SGW, *Roaming Signaling Gateway*), que se conectan a redes de señalización externas como la PSTN o redes de señalización de otro operador móvil

---

5. 3G Wireless Networks. Clint Smith, Daniel Collins , pp155. Mc Graw Hill TELECOM.



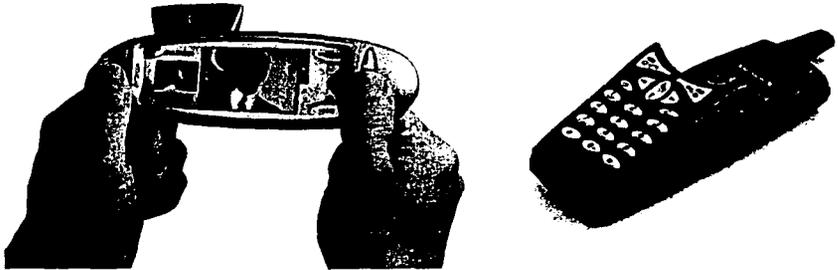
Tabla 5.4 Clases de Servicio

Clase de Servicio	Descripción
Interactivo	En este caso, existe un intercambio de información constante entre el usuario y la red pero no es tan sensible al retardo como en la clase conversacional. Este intercambio de información puede ser una búsqueda en un browser, aplicaciones de chat o de servicios basados en localización.
En el fondo (Background)	Para aquellas aplicaciones que no son sensibles al tiempo, esta clase de servicio es la apropiada. Esta clase de servicio incluye tareas que se realizan probablemente mientras el usuario no está usando activamente su equipo. El retraso puede ser de segundos o incluso minutos dependiendo de la carga de la red.

## 5.4 La evolución de los equipos

Los teléfonos que conocemos actualmente, con la entrada de GPRS y en su momento de la tercera generación, experimentarán evoluciones tan representativas como la de las redes que permiten brindar los nuevos servicios. Hasta ahora, el servicio con el que asociamos a nuestro teléfono es la voz, pero poco a poco éste dispositivo evolucionará para dejar de ser sólo un teléfono y concebirlo como un equipo en diversas variedades de formas y tamaños (ver Figura 5.11), con capacidad para transmitir datos y con la ventaja de ser móvil.

*Figura 5.11 Equipos de usuario de nueva generación*



Uno de los principales retos para los fabricantes de equipos móviles es ofrecer una interfaz hombre-máquina agradable. Debido a que la esencia de un equipo móvil es precisamente la capacidad de llevarlo a todas partes, el tamaño de los mismos no debe ser muy grande. El reto es obtener tanta pantalla como sea posible, sin sacrificar el tiempo de la batería. Otro de los retos para los nuevos equipos son los mecanismos de entrada de información. En el mundo fijo, el uso de interfaces gráficas de usuario junto con el ratón y el teclado han permitido que la manipulación de la información en una computadora sea sencilla y amigable. Desafortunadamente, ni el teclado ni el ratón encajan totalmente en el mundo móvil, ya que éstos requieren de espacio extra, por lo tanto deben buscarse nuevos elementos para la interacción con los equipos móviles.

En seguida se comentan algunas nuevas formas de interactuar con los equipos móviles.

### **Control por Voz**

Podemos dividir el control por voz en dos tipos:

- Realizado en el equipo. Todo el procesamiento necesario para reconocer la voz se realiza en el equipo móvil. Esta característica es ideal para comandos cortos como "llamar a Sonia" que son fáciles de interpretar. El usuario programa estos comandos, grabándolos previamente. La principal ventaja de realizar el procesamiento en el equipo es que se tiene una respuesta rápida. La

desventaja es que con este método no se pueden implementar comandos avanzados ya que esto requeriría mayor procesamiento y consumo de batería.

- Realizado por la red. El reconocimiento de voz se realiza en un nodo separado, es decir, que se puede realizar un procesamiento mayor. La desventaja principal de este método es que se tiene un retardo entre el momento en el que se dice el comando y en el que se obtiene respuesta. Otro uso es utilizar reconocimiento de voz para navegar de modo que sea más sencillo para el usuario. Actualmente se trabaja en un estándar llamado VoiceXML. Con este estándar se permitirá la construcción de sitios a través de los cuales los usuarios puedan navegar utilizando comandos de voz.

### **Entrada de Datos con Plumas**

La entrada de PDAs, han acostumbrado al usuario a trabajar con “plumas” que permiten interactuar con el equipo. Por ejemplo con un tipo de pluma se puede escribir sobre la pantalla, como actualmente lo permiten algunos PDA, de modo que la información se guarda tal y como la escribimos. Con la desventaja de que el mensaje que resulta es realmente una captura de pantalla, lo cual provoca un archivo de gran tamaño.

Otra de las formas para introducir información es utilizando teclados virtuales, que aparecen en las pantallas de los equipos, lo cual resulta fácil para el usuario pero limitante en la capacidad de transferir grandes cantidades de texto ya que resulta inapropiado. Una más de las posibilidades que se verán, es el uso de plumas habilitadas con Bluetooth que leen el patrón de una pieza de papel. Esta pieza de papel contiene un patrón que permite a la pluma saber su posición en el papel a través de una pequeña cámara. La pluma envía la información al equipo móvil (PDA, teléfono, laptop) y éste reproduce lo escrito. Una compañía que maneja este producto es Anoto<sup>6</sup>.

La introducción de información a los nuevos equipos móviles probablemente será combinada, utilizando desde el teclado normal del teléfono, pasando por reconocimiento de voz y sistemas de pluma.

---

6. [www.anoto.com](http://www.anoto.com)

## **5.5 Con qué servicios se contarán**

A continuación se presentan los principales servicios con los que se contarán conforme las nuevas redes se vayan desarrollando. Estos son sólo algunos de los servicios ya que conforme se vaya involucrando cada vez más al usuario con el uso de datos, los servicios surgirán en mayor medida.

### **5.5.1 Mensajería Multimedia (MMS)**

MMS es una aplicación de persona a persona que surge como evolución de SMS o servicio de mensajes cortos. Proveerá la capacidad de enviar distinto contenido multimedia tal como:

- Texto. Así como en SMS, un mensaje MMS puede contener texto, con la diferencia de que en MMS se le puede dar formato al texto utilizando distinto color, fuente y estilo de letra.
- Gráficos. Como tablas, diagramas, mapas y otros . Conforme los servicios basados en localización tomen fuerza, el uso de mapas y bosquejos será más relevante.
- Muestras de audio. MMS soporta la adición de muestras de audio en el mensaje. Por ejemplo, se puede grabar un mensaje de voz y enviarlo junto con un dibujo o foto.
- Imágenes. Uno de los atributos más fuertes de MMS es la capacidad de enviar imágenes. Utilizando una cámara incluida en el equipo móvil, los usuarios pueden compartir postales digitales.
- Video. Una extensión de las capacidades de MMS será la transferencia de video. Los usuarios serán capaces de grabar un pequeño video (de aproximadamente 30 segundos) y transmitirlo a otro usuario.

*Figura 5.12 Ejemplo de mensaje MMS*



### 5.5.2 Videoconferencia

La telefonía seguirá siendo la aplicación más importantes en el futuro, pero ésta experimentará una enorme mejoría permitiendo al usuario no solo “escuchar lo que se dice” sino también “ver lo que se quiere decir”. En vez de identificar a quien llama, por su nombre, la imagen del que llama podrá aparecer en el teléfono para saber de quien se trata.

### 5.5.3 Internet Móvil

Internet y la telefonía móvil han transformado enormemente la forma de vida de las personas. La unión de estas dos tendencias resultará interesante. Internet móvil no debe entenderse como el internet con el que contamos en casa accesado por un teléfono que el usuario no pasará su tiempo navegando en páginas de internet buscando contenido, aunque esto sea posible. En lugar de esto se utilizarán aplicaciones para acceder contenidos, realizar transacciones, enlazarse con amigos, jugar en línea, ver videos, escuchar y bajar música. Conforme el procesamiento de voz madure los portales de voz se irán popularizando.

#### **5.5.4 Entretenimiento**

Actualmente la industria del juego es mayor que la del cine y música juntas. El juego tendrá un papel importante en el entretenimiento en 3G. Prueba de ello es el foro MGI (*Mobile Games Interoperability*) formado por Ericsson, Nokia, Motorola y Siemens. Los usuarios podrán jugar en línea y ser parte de comunidades de juegos. La fotografía también jugará un papel importante permitiendo que los usuarios compartan y distribuyan fotos en tiempo real. También los servicios relacionados con música variarán desde tonos de timbrado hasta archivos de música completos.

#### **5.5.5 Servicios Basados en Localización**

Los servicios basados en localización no forman una aplicación separada por sí mismos. Más que nada es una capacidad que estará disponible para cualquier aplicación. Una aplicación basada en localización es la que utiliza información de ubicación ya sea introducida por el usuario o detectada por algún método de posicionamiento. Las aplicaciones basadas en localización pueden subdividirse en varias categorías entre las cuales están navegación, rastreo, información dependiente a la ubicación (como encontrar el cine o gasolinera más cercano) entre otros. La larga lista de servicios incluyen servicios de emergencia, administración de flotas, tráfico de telemática, rescate de vehículos, publicidad específica a tu localización. Tal como en el caso de los juegos, Nokia, Ericsson y Motorola han establecido una organización para definir, desarrollar y promover soluciones comunes para los servicios de localización llamada LIF (*Location Interoperability Forum*)

#### **5.5.6 Negocios Móviles**

Las expectativas para negocios móviles crecen conforme avanza el tiempo. Se estima que para el año 2005 las transacciones con equipos móviles representen entradas de varios millones de dólares. Se espera que con los equipos móviles se puedan realizar pagos en establecimientos o compras de boletos para eventos y transacciones en general.

## **6. Situación Actual**

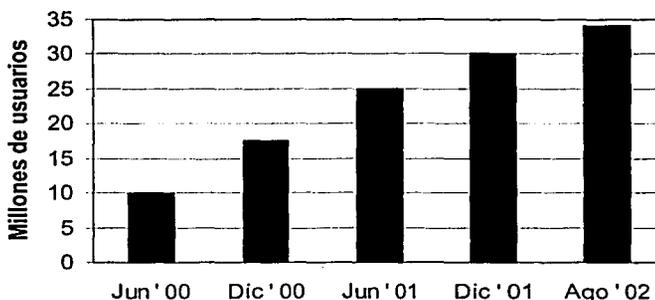
Como se ha comentado anteriormente, una de las ventajas de la entrada de los sistemas móviles de tercera generación es la capacidad de transmitir datos a velocidades que nos permiten acceder a servicios con los que no contábamos antes. El incremento de los usuarios de sistemas móviles así como el desarrollo de internet abre la posibilidad de que ambos mundos se unan de modo que un usuario cuente con un equipo móvil que le ofrezca la capacidad de acceder a distintos tipos de información desde cualquier parte y en cualquier momento. Ahora bien, tan grande es la oportunidad como lo es el reto de unir esos dos mundos y educar o acostumar al usuario a utilizar datos con un equipo que primordialmente ha sido utilizado para transmitir voz. Los sistemas con capacidades de manejar datos han empezado a surgir alrededor del mundo por lo que en este capítulo presentaremos la situación actual en el desarrollo de los sistemas móviles enfocándonos principalmente a tres regiones que en buena medida son indicadoras del desarrollo hacia 3G en todo el mundo. Esas regiones son: Japón, Europa y Estados Unidos. Por supuesto, también presentaremos la situación que se vive en México. Vale la pena recordar que nos enfocamos al desarrollo de sistemas basados en TDMA.

### **6.1 Japón**

En Japón el desarrollo de segunda generación fue a través de la principal compañía del país: NTT DoCoMo, la cual ofrece sus servicios utilizando PDC, que es un estándar que se utilizó prácticamente solo en Japón, a diferencia de otros estándares que han cruzado fronteras para verse implementados en varios países. Por esta razón Japón ha jugado un papel muy importante en la estandarización de sistemas de 3G, debido a que no quiere verse aislado como se vió en la segunda generación, de modo que fue de los primeros en proponer a la ITU la utilización de WCDMA para los sistemas de tercera generación.

El primer gran paso y de mayor éxito que ha tenido Japón en la introducción de servicios de datos ha sido el servicio "i-mode" que ofrece NTT DoCoMo. Este servicio comenzó en febrero de 1999 y desde entonces ha presentado un crecimiento impresionante (ver Figura 6.1 ), teniendo el mayor éxito con la gente joven.

Figura 6.1 Usuarios de "i-mode"

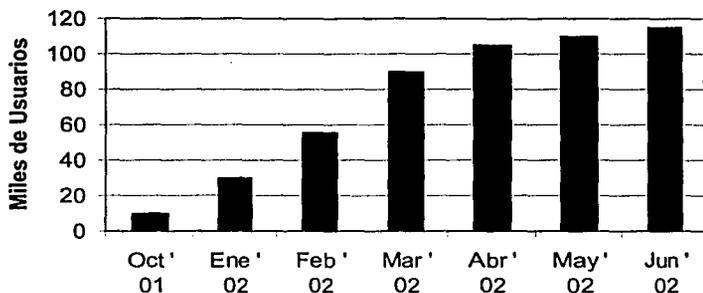


(fuente: www.nttdocomo.com)

El servicio más utilizado ha sido el de mensajes cortos así como envíos de correos electrónicos seguido por el de bajar pequeñas imágenes o tonos de timbrado. Existen sitios i-mode oficiales y no oficiales. En el caso de sitios oficiales, existe un contrato por medio del cual NTTDoCoMo recolecta los cargos por acceder al sitio oficial y se queda con una comisión del 9%. En el caso de sitios no oficiales, el usuario debe pagar directamente al proveedor de contenido.

Continuando con el desarrollo hacia tercera generación, en Octubre de 2001, Japón lanzó su servicio llamado FOMA (*Freedom of Mobile Multimedia Access*) o libertad de acceso a multimedia móvil. El servicio FOMA se basa en WCDMA y cumple con los requisitos de IMT-2000. Los servicios que ofrece FOMA son evidentemente comunicaciones por voz y comunicaciones visuales utilizando teléfonos con cámara para poder ver al interlocutor, además sigue ofreciendo el servicio i-mode ahora con mayores tasas de transmisión. Así también ofrece i-motion con el cual se accesa a muestras de audio y video. En la Figura 6.2 se muestra el número de usuarios de este servicio.

Figura 6.2 Usuarios de FOMA



(fuente: www.nttdocomo.com)

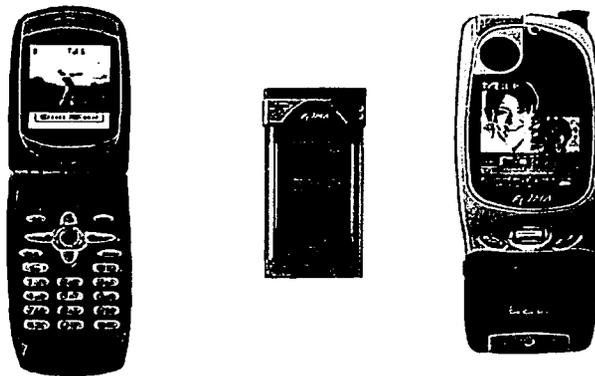
En la Tabla 6.1 se indican las tarifas que se manejan para el servicio.

Tabla 6.1 Tarifas para servicio FOMA

Nombre de Difusión	Costo mensual	Costo por minuto (128 bytes)	Cantidad de minutos incluida
Paquete 20	8000Y (62.4USD)	0.02	160Y (1.25USD)
Paquete 40	4000Y (31.2 USD)	0.05	400Y (3.1USD)
Paquete 20	2000Y (15 USD)	0.1	800Y (6.2USD)

En la Figura 6.3 se muestran algunos equipos disponibles que ofrece NTTDoCoMo, entre ellos está una tarjeta para usuarios de PC portátil.

Figura 6.3 Equipos ofrecidos por NTT DoCoMo para FOMA



## 6.2 Europa

Podemos ubicar a Europa como la segunda región después de Japón en cuanto a avances en sistemas móviles se refiere. Después de contar con una amplia variedad de estándares en lo que fue la primera generación de sistemas móviles, para la segunda generación se propuso implementar un estándar único para toda la región. De este modo, el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones o ETSI, por sus siglas en inglés, desarrolló el estándar GSM.

A nivel mundial, GSM es el estándar que cuenta con el mayor número de usuarios. La estandarización de GSM hacia la tercera generación también está encargada por ETSI y se está implementando a través de GPRS para luego desarrollar UMTS (que se basa en W-CDMA).

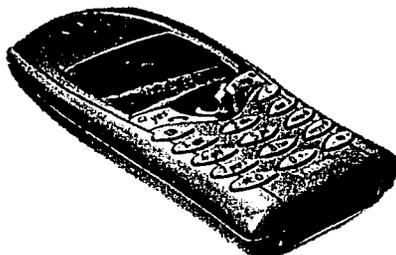
### 6.2.1 GPRS en Europa

La mayoría de los grandes operadores europeos lanzaron su servicio comercial GPRS en 2001. A la fecha (agosto, 2002), en Europa hay aproximadamente un millón de usuarios de GPRS<sup>1</sup>

1. British Research Group Analysys

En la Figura 6.4 se muestran algunos teléfonos GPRS ofrecidos por los operadores.

*Figura 6.4 Teléfonos GPRS disponibles en Europa*



Ericsson T68  
(900/1800/1900 MHz)



Motorola Accompli 008  
(900/1800/1900 MHz)

En la Tabla 6.2 se indican ejemplos tarifarios que maneja, por ejemplo, el operador español Telefónica MoviStar. Se presentan los datos en euros y en dolares<sup>2</sup> para su mejor interpretación.

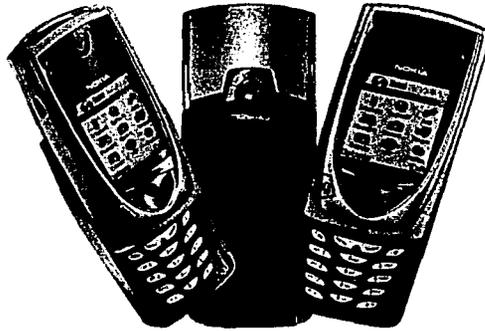
*Tabla 6.2 Tarifas GPRS (Telefonica MoviStar)*

Nombre de Promoción	Precio (Euros)	Cantidad (Mb)	Precio (Dólares)	Precio (Euros/Dólares)
Bono 1	6euros (5.34USD)	1Mb	0.01 euros	6euros/10.24 euros (5.3USD/9.1USD)
Bono 20	30 euros (26.7USD)	20MB	0.006 euros	1.5 euros/ 6.1 euros (1.3USD/5.4USD)
Bono 100	120 euros (106USD)	100MB	0.003 euros	1.2 euros/3.072 euros (1USD/2.7USD)

2. Se tomo como 1euro = 0.89 USD. (Al tipo de cambio de agosto 2002)

A pesar de que el mercado Europeo en cierta forma tiene cierta experiencia con los datos en los equipos móviles, ya que desde GSM se contó con el servicio de mensajes corto, el progreso de GPRS se esperará que sea lento en un principio para crecer rápidamente a mediano plazo. La confianza de que GPRS irá tomando fuerza se ve reflejada en el desarrollo de nuevos teléfonos por parte de los grandes proveedores. En la figura se indican dos de los equipos más recientes de Nokia y Ericsson que trabajan con GPRS y que permiten sacar fotos con una cámara integrada al equipo móvil.

*Figura 6.5 Equipos recientes GPRS*



*Nokia 7650*



*Ericsson T68i (frente)*



*Ericsson T68i (posterior)*

### 6.2.2 UMTS

Más de 60 operadores en distintos países como Francia, España, Dinamarca, Noruega, Inglaterra, Alemania, Suecia, por mencionar algunos, ya cuentan con licencias para implementar servicios UMTS<sup>3</sup>. Operadores como Vodafone en Inglaterra, promete tener lista su red UMTS para finales de 2002<sup>4</sup>. Aunque probablemente, para inicios de 2003 ya existan varios operadores con redes UMTS en servicio, se prevee que no será hasta el 2004 cuando los servicios de tercera generación comiencen a ser utilizados de manera considerable por los usuarios.

## 6.3 Estados Unidos

El sistema AMPS fue el estándar utilizado para primera generación en Estados Unidos, para la segunda generación se emplearon, a diferencia de Europa, varios estándares, entre los que se encuentran TDMA (IS-136), CDMA (IS-95) y GSM. La diversidad de estándares de segunda generación ha provocado que el desarrollo hacia la tercera generación no sea único, existiendo varias opciones para los distintos operadores. Los grandes operadores TDMA de Estados Unidos, como AT&T y Cingular Wireless han optado por migrar sus redes actuales a redes GSM para luego tomar el camino definido para esta tecnología a través de GPRS.

En la Tabla 6.3 se muestra las tarifas que maneja AT&T para su servicio GPRS llamado mMode que acaba de lanzar formalmente en abril de 2002.

Tabla 6.3 Precios del servicio mMode de AT&T

Nombre de Promoción	Costo Mensual	Minutos	Costo por Minuto	Costo por Mensaje
Mini	2.99USD	ninguna	0.02USD	23.47USD
Mega	7.99	1	0.01USD	7.99USD/10.24USD
Max	12.49	2	0.01USD	6.25USD/10.24USD

AT&T ofrece un par de equipos para el servicio GPRS: el ericsson T68 y el Nokia 8390. Entre los servicios que acaba de lanzar (junio 2002) se encuentra el de "Find Friends" o "localiza a tus amigos" con el cual te permite localizar a tus

3. [www.umts-forum.org/licensing.html](http://www.umts-forum.org/licensing.html)

4. [www.vodafone.co.uk](http://www.vodafone.co.uk)

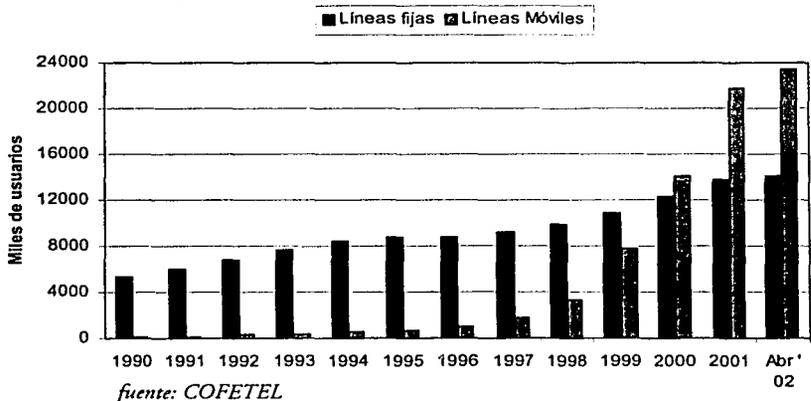
conocidos, obviamente teniendo su consentimiento previo. Con este servicio el usuario obtiene una ubicación geográfica aproximada de la persona que quiere contactar<sup>5</sup>.

EDGE toma singular importancia en Estados Unidos, ya que aún no se han subastado licencias para operar en la banda requerida para WCDMA. De modo que una vez, que se desplieguen las redes GPRS en Estados Unidos, el siguiente paso que probablemente ocurra, será la implementación de EDGE en las redes actuales. Por supuesto, primero deberá pasar por lo menos un año a partir del lanzamiento de redes GPRS. Así que quizá será para finales de 2003 cuando se comiencen a ofrecer servicios con equipos EDGE.

## 6.4 México

Como lo muestra la Figura 6.6 para inicios del año 2002 México rebasaba los 20 millones de usuarios de telefonía celular. Un punto interesante en todas las economías con servicios de telefonía celular, es el momento en el que el número de usuarios de telefonía móvil rebasa a los de telefonía fija. Ese momento ya sucedió en México y ocurrió a finales del año 2000, como lo indica la Figura 6.6

Figura 6.6 Usuarios de Telefonía Móvil y Fija



5. Ver [www.attwireless.com/mmode/features/findit/FindFriends/](http://www.attwireless.com/mmode/features/findit/FindFriends/)

México se divide en 9 regiones para dar servicios de telefonía móvil, en la tabla se indican las 9 regiones los estados pertenecientes a ellas, así como la penetración por cada 100 habitantes.

Tabla 6.4 Regiones de México para Telefonía Móvil

Región		Estados que la Comprende	Penetración (Usuarios/100 Hab)
Celular	PDS		
1	1	Baja California Sur, Baja California Norte	42.4
2	2	Sonora, Sinaloa	26.4
3	3	Chihuahua, Durango	31.5
4	4	Nuevo Leon, Tamaulipas, Coahuila	36.6
5	6	Colima, Michoacan, Nayarit, Jalisco	23.6
6	7	Aguascalientes, Guanajuato, Queretaro, San Luis Potosi, Zacatecas	17.3
7	8	Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala, Veracruz	11.4
8	5	Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, Yucatan	13.6
9	9	Hidalgo, Mexico, Morelos, D.F	22.7

Los principales proveedores de telefonía móvil son: Telcel, Unefon, Pegaso, Iusacell y Telefónica. De estos operadores, Telcel es el que trabaja con TDMA y Ericsson le desarrolló la nueva red GSM/GPRS para la banda de 1900MHz que probablemente lance comercialmente para la segunda mitad de este año bajo el nombre comercial de "ies".

En cuanto a la forma de cobro, probablemente siga el esquema que se ha mostrado anteriormente en el cual se ofrece una tarifa mensual y cierta cantidad de kilobytes incluidos: "Buscaremos opciones que hagan sencillo y transparente para el usuario el cobro de los servicios de datos. El consumidor mexicano está muy compenetrado con la idea de la tarifa plana que puede ser usada en una primera fase"<sup>6</sup>.

6. Patricia del Carmen Ramírez Valdivia, Relaciones Públicas y Comunicación Telcel.

A pesar de contar con más de 20 millones de usuarios de telefonía celular, la idea de utilizar el teléfono para algo más que no sea la transmisión de voz aún no está en la mente de los usuarios a pesar del intento, prematuro a nuestro suponer, de la famosa introducción del “internet móvil” por parte de la mayoría de los operadores hace poco más de un año, en el cual, la palabra internet pesaba más que la palabra realmente importante: móvil. Este error al promocionar un servicio, no solo ocurrió en México, sino en la mayoría de las regiones de las que hemos hablado de modo que el teléfono con “internet móvil” se veía como una computadora venida a menos, en vez de percibirlo como un teléfono con nuevas capacidades.

Los operadores han aprendido y ahora vemos como la mayoría ofrece sus servicios bajo nombres como “i-mode”, “ies”, “m-mode” o simplemente lo llaman como la tecnología con la que funciona: “servicios GPRS”. El objetivo, como ya se comentó, es que el usuario se interese en contar con un teléfono que le ofrece nuevos servicios y capacidades.

Aquí en México, tiene solo un par de meses que algunos operadores han lanzado el servicio de mensajes cortos, con el cual, se empezará a educar al usuario a transmitir datos con su teléfono. Una vez que aparezcan servicios GPRS en México, el reto apenas comienza, el operador debe buscar la forma de ofrecer contenidos que le sean útiles o al menos entretenidos al usuario.

Para los próximos años, se prevee que , como en Estados Unidos, EDGE juegue un papel importante en México ya que “la fecha para la subasta de nuevo espectro para tercera generación está aún muy lejana”<sup>7</sup>.

---

7. Comentario dicho en abril de 2002 por Gerardo Cornejo Pérez, Dirección de Planeación Técnica del Radiospectro. COFETEL

## 7. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas después de desarrollar este trabajo de investigación. Presentamos algunas observaciones en torno a los sistemas de tercera generación así como algunas recomendaciones.

### **IMT-2000, ¿un solo estándar?**

Aunque uno de los principales objetivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones era apoyar la creación de un estándar único de tercera generación que fuera utilizado de manera global, esto no se logró. Esta tesis se ha enfocado en el desarrollo de sistemas basados en TDMA, e incluso éstos, no logran alcanzar un estándar único, ya que mientras en Europa el sistema GSM evoluciona a través de GPRS para luego desarrollar WCDMA, en América, los operadores TDMA (IS-136), a pesar de adoptar la tecnología GSM, ésta se implementará en las frecuencias actuales (850MHz y 1900MHz) que difieren de las de Europa (900 y 1800MHz). Por lo que surge la necesidad de teléfonos que operen en al menos tres bandas. Una vez implementado GPRS en América, todo parece indicar que le seguirá EDGE debido a la falta de espectro en la región. Todo esto, hablando de sistemas basados en TDMA, ya que aquellos basados en CDMA tienen su propio camino de evolución a tercera generación a través de CDMA 1X para llegar a el estándar CDMA2000 lo que, evidentemente, propicia que el mundo móvil, quede otra vez separado al menos en dos estándares distintos.

De modo que, el reto de ofrecer cobertura mundial, tendrá que alcanzarse -si se logra- no a través del uso de un estándar único y mundial -que no se alcanzó- sino del uso de alianzas entre grandes operadores - veamos por ejemplo el caso de Iusacell (operador basado en CDMA) que a través de una tarjeta inteligente llamada R-IUM, otorgada por SchlumbergerSema, permitirá a sus usuarios tener cobertura en Europa donde la tecnología dominante es GSM -. Otro factor para ofrecer cobertura mundial será el desarrollo de equipos móviles que puedan operar en distintas frecuencias y quizá con distintas tecnologías.

### **La tecnología utilizada, ¿importa?**

A lo largo de esta tesis, como lo hemos mencionado antes, nos enfocamos principalmente al desarrollo hacia la tercera generación de sistemas basados en TDMA. Razón por la cual se investigaron tecnologías como GPRS, EDGE y WCDMA. Todas ellas ofrecen nuevas capacidades a los operadores que las implementan, entre las cuales están:

- mayores velocidades de transferencia de datos,
- estar siempre conectados,
- acceso a servicios basados en localización,
- mensajes multimedia,
- correo electrónico,
- consulta de información,
- envío de archivos,
- videoconferencias, entre otras.

Hablar del desarrollo de sistemas basados en CDMA estaba fuera de los objetivos de esta tesis, pero el hecho de no compenetrarnos en el tema, no quiere decir que no exista un mundo semejante al que tienen los operadores TDMA: caminos de evolución, tecnologías 2.5G, desarrollo de nuevos equipos, arquitecturas nuevas, etc. De modo que, en el desarrollo de sistemas móviles de tercera generación, además de existir GPRS, EDGE, WCDMA, se estará hablando de CDMA 1X, CDMA 1XEV-DO, CDMA 1XEV-DV, CDMA2000-3X.

Y con tal variedad de tecnologías, es inevitable que surjan un par de preguntas: ¿existe una tecnología simplemente mejor que las demás? ¿que tan importante es la tecnología implementada?. Difícilmente se puede responder la primera pregunta ya que en la elección de una tecnología influyen factores como el espectro con el que cuentas, el sistema utilizado en segunda generación, el número de usuarios de tu red, capacidad económica, entre muchos otros. Y en la implementación de cualquiera de las tecnologías el operador tendrá que enfrentar varios obstáculos y en ambas obtendrá nuevos recursos. Por otro lado, la respuesta a la segunda pregunta justifica el dejar de intentar encontrar la “mejor” tecnología ya que estamos seguros que la elección de una u otra tecnología no garantiza el éxito del operador que la implemente.

El usuario estará atraído por adquirir un equipo móvil que le permita buscar el cine más cercano al lugar donde se encuentre, consultar su cartelera, ver cortos de la película que le interese, enviarle por correo el corto que bajó a un amigo y comprar un par de boletos, más que por la tecnología que el equipo utilice. De modo que, los servicios son los que juegan un papel importante en el éxito de una nueva tecnología, llamese EDGE o CDMA2000.

Por supuesto, el equipo que lo permite todo, no aparece de un día a otro, probablemente primero solo sean capaces de enviar correos y acceder a bancos de información , y poco a poco irán apareciendo equipos con funcionalidades adicionales. En este sentido el operador tiene que superar el reto de introducir los nuevos equipos al mercado, pero para el caso de México el usuario no está acostumbrado a utilizar su teléfono más que para la transmisión de voz. De modo que nuestras recomendaciones para la rápida adaptación de los servicios de datos móviles en México son:

- Educar al usuario

Con esto nos referimos a acostimbrarlo a manejar datos con su teléfono que se puede lograr dejando madurar el servicio de mensajes cortos antes de lanzar fuertemente el servicio de GPRS

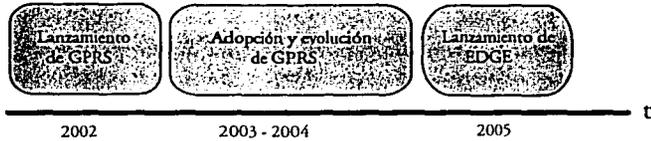
- Subsidio del equipo y del servicio

En este caso nos referimos a que una vez lanzado el servicio GPRS se debe considerar un tipo de subsidio tanto al equipo como al servicio de modo que el usuario pueda adquirir un equipo nuevo a un costo moderado así como contar con el servicio por un bajo costo durante un periodo corto para que el usuario pueda familiarizarse con él.

### **La evolución de los servicios móviles de datos para los próximos años**

Estamos seguros que como toda tecnología nueva, los servicios móviles de 2.5G tendrán que pasar por un proceso de adaptación para que logren formar parte del uso cotidiano de las personas. En la Figura 7.1 mostramos lo que creemos será el desarrollo en México de las tecnologías tratadas en esta tesis. Para los años 2003 y 2004 preveemos la adaptación y evolución del servicio de GPRS. Debido a que no creemos que haya licitación para nuevas frecuencias de tercera generación antes de 2004 estamos seguros que la tecnología EDGE será la primera opción con la que los operadores TDMA comenzarán a brindar servicios de tercera generación para el año 2005.

Figura 7.1 Desarrollo que preveemos en México de las tecnologías tratadas en esta tesis



En la Tabla 7.1 describimos de manera puntual las conclusiones y recomendaciones comentadas en los párrafos anteriores

Tabla 7.1 Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones	Recomendaciones
Para tercera generación no habrá un solo estándar como el que se intentaba alcanzar con IMT-200	Para la buena aceptación de los servicios de 2.5G y 3G hay que educar al usuario en la transmisión de datos con su teléfono.
Los servicios ofrecidos y no la tecnología utilizada son los factores importantes para la aceptación de los nuevos equipos de 2.5G y 3G	Subsidiar el equipo y los servicios 2.5G por un corto plazo para impulsar el uso de los nuevos servicios ofrecidos.
La tecnología con más posibilidad de ser utilizada por un operador TDMA para ofrecer servicios de 3G será EDGE y ésta no se ofrecerá antes de 2005	

## Apéndice A

Durante el proceso de investigación para la elaboración de esta tesis, contamos con la cooperación de valiosas personas que nos brindaron algo del conocimiento que tienen de la industria móvil. A continuación presentamos las respuestas integras tal y como nos las otorgaron estas personas.

### **Preguntas realizadas a Patricia del Carmen Ramírez Valvidia de Relaciones Públicas de Telcel.**

**1. Si no me equivoco Telcel cuenta con espectro en las bandas de los 800 y 1900 MHz. La nueva red GSM/GPRS se implementó solo en la banda de 1900MHz?**

*Sí*

**2. Con que cobertura contara en un principio la red GSM/GPRS?**

*Al término de este 2002 tenemos proyectadas 42 ciudades, incluyendo las 3 principales zonas metropolitanas de DF, Guadalajara y Monterrey*

**3. Un siguiente paso (aunque no obligatorio) sería implementar EDGE, se tiene pensado hacerlo? y en su caso ya hay una fecha tentativa?**

*No existe una fecha tentativa, aunque desde hace un par de años hemos comunicado que seleccionaremos a Edge como una opción (tanto en TDMA como GSM) para evolucionar servicios. (anexamos boletín)*

**4. GPRS ofrece una gran flexibilidad en la forma de cobrar a los usuarios, ¿Se implementarán varias formas de cobro o se optará por la opción de ofrecer una tarifa plana mensual?**

*Buscaremos opciones que hagan sencillo y transparente para el usuario el cobro de los servicios de datos. El consumidor mexicano está muy compenetrado con la idea de la tarifa plana que puede ser usada en una primera fase.*

**5. Tener una nueva red GSM/GPRS implica trabajar con ambas redes (IS-136 y GSM) durante algún tiempo para después (a largo plazo probablemente) transferir todo el tráfico IS-136 a la nueva red. ¿Tienen un estimado de cuanto será ese tiempo?**

*Efectivamente, hemos decidido que ambas redes convivan por un tiempo que aún no ha sido determinado (como usted sabrá existen dos caminos según experiencias internacionales: a) Migrar la totalidad de la red, como lo hizo AT&T hace un año, con los costos que tiene; o b) Convivencia de redes hasta que naturalmente una decrezca y se transfiera el remanente como Mobinet en Australia hace unos años.*

*Comprenderá que esta es una proyección que sólo puede ser visualizada después de lanzado comercialmente el servicio (2do. semestre) y ver la velocidad de adopción en un mediano plazo.*

**6. Para que un usuario pueda hacer uso de ambas redes habrá teléfonos GAIT que probablemente sean más caros que el costo promedio de los teléfonos actuales, ofrecerán algún tipo de subsidio o algo similar?**

*Aquí es importante que los proveedores de equipos terminales están desarrollando rápidamente teléfonos en "dual", "triple" o "cuatri" band (worldphones) para que cada vez más usuarios puedan utilizar la misma terminal GSM en varias redes en varios países (por la situación de frecuencias). Sobre el otro aspecto, es claro que un usuario en México escogerá estar en una red o en otra con un teléfono TDMA o con uno GSM, por lo que no podemos evaluar los costos de la terminal que menciona.*

**7. La red GPRS ofrece mayores tasas de transmisión, pero el usuario si por algo se podría interesar en adquirir un nuevo teléfono será por los servicios. Con cuales servicios podrán contar los usuarios de la red GPRS de Telcel?, ¿cuentan con servicios basados en localización?**

*Tenemos la posibilidad de acceder a cualquier tipo de desarrollo en datos que será introducido según las diversas necesidades de mercado. No olvide que aún el segmento de datos es pequeño en comparación con el mercado de voz (se irá abriendo con servicios como SMS recientemente lanzado), y en México uno de los "drivers" importantes de compra es el look del teléfono, que en GSM se abre a una economía de escala impresionante de una amplia variedad de proveedores.*

**8. Por otro lado aún teniendo servicios probablemente atractivos, los usuarios en ocasiones tardan en adoptar las nuevas tecnologías, en el caso del servicio de mensajes cortos han tenido la aceptación esperada?**

*Sí, tenemos confianza que 2 vías (SMS) puede alcanzar una demanda como en países europeos y que por supuesto contribuya a una adopción más rápida de conceptos de datos. Por el momento el servicio ha alcanzado expectativas.*

## **Preguntas realizadas a Joakim Emnevik de Ericsson Mobility World México**

**1. Many TDMA operators have opted to replace their networks with GSM/GPRS. Due to the lack of spectrum the next step in the Americas will probably be the implementation of EDGE. When do you think EDGE will appear commercially?**

*EDGE aún no se ofrece abiertamente ya que faltan las terminales (teléfonos) que soporten EDGE y GPRS. En realidad EDGE técnicamente se conoce como EGPRS (Enhanced GPRS) pero por sus características está considerado como un estándar de 3G por la 3GPP. En México aún existe el debate con la Cofetel para designar los espectros de frecuencia para UMTS y probablemente eso no se arregle hasta dentro de un par de años. De igual manera el mercado en México aún está muy inmaduro en cuestión de uso de datos móviles conocido como Internet Móvil, así que estamos apenas entrando a la 2.5G con el próximo lanzamiento de GPRS y esperamos que esta tecnología estén en funcionamiento por lo menos 2 años antes de empezar a hablar de 3G en México.*

**2. Concerning phones, do you know if an EDGE phone from Ericsson will be commercially available soon?**

*Ericsson como tal ya no fabrica terminales, se creó un JV (Joint Venture) con Sony y se creó la compañía Sony Ericsson Mobile Communications ([www.sonyericsson.com](http://www.sonyericsson.com)) ellos son los encargados de fabricar de ahora en adelante los teléfonos siendo Ericsson Mobility World su interface para desarrolladores de software para los nuevos smart phones que estarán en el mercado a finales de año.*

*Actualmente no existen todavía teléfonos que soporte EDGE pero ya se están firmando acuerdos para la fabricación de dichos sistemas con diferentes fabricantes para crear un compromiso para el desarrollo de nuevas terminales con soporte EDGE.*

**3. In Europe, some operators are getting ready to deploy their UMTS networks. That makes me think that in Europe there will not be a big development of EDGE, is that true?**

*EDGE puede ser implementado junto con GPRS y WCDMA (UMTS), es cuestión del operador de que tan rápido quiere llegar a 3G. Por ejemplo, si lo quiere hacer de manera más rápida puede empezar con EDGE, ya que solo necesita una actualización en las radio bases y las BSCs, en algunas ciudades en lo que arregla e instala todo lo necesario para WCDMA. Al final va a poder ofrecer los tres diferentes servicios dependiendo la demanda de ellos, siendo los centros urbanos los que mayor ancho de banda y QoS demanden. Así un usuario podría estar haciendo "hand-overs" entres las tres diferentes tecnologías (GPRS, EDGE, WCDMA) dependiendo donde esté situado, claro está que aún falta el desarrollo de las terminales, pero en el futuro se planea tener terminales que soporten las tres diferentes tecnologías de conectividad. Obviamente que habrá usuarios que tengan solo una de ellas, dos o las tres, dependerá del uso que le de.*

**4. In a white paper from Ericsson named "Ericsson Seamless Network. The evolution of GSM and WCDMA into a seamless network" I read that it will be very important to have multimode GPRS/EDGE/WCDMA terminals in order to offer a transparent service to the user. In what date do you think those terminals will appear?**

*Terminales que soporten las tres tecnologías probablemente empiezen a aparecer a finales de la primera década del 2000, es decir 2009-2010. Todo dependerá de la evolución y demanda de los mercados.*

**5. While in Europe Short Message Services have existed for many years, in Mexico, Telcel have just recently launched it. Thus we could say that most mexican users (let us say more than 95%) use their phone only for voice services. Which proportion do you think data users will have within 2 years in Mexico?**

*Dentro de los próximos años se dará una gran promoción a mensajería, siendo SMS el detonador de dichos servicios. Actualmente nos encontramos en una etapa de aprendizaje, acostumbrando a los usuarios a usar su teléfono para más cosas que solo para hablar con él. Se esperan tener servicios de juegos, ringtones, icons y cualquier servicio que existe actualmente en Europa. Es cuestión de tiempo.*

---

## Bibliografia

- Rudi Bekkers. *Mobile Telecommunications , Standards, Regulation and Applications*. Artech House Publishers. 1997.
- Rappaport. *Wireless Communications, Principles and Practice*. Prentice Hall. 1996
- David J. Goodman. *Wireless Personal Communications Systems*. Addison-Wesley. 1997
- Lawrence Harte, Adrian Smith, Charles A. Jacobs. *IS-136 TDMA Technology, Economics and Services*. Artech House Publishers. 1998.
- Jerry D. Gibson. *The Mobile Communications Handbook*. IEEE. 1996
- Jochen Schiller. *Mobile Communications*. Addison-wesley. 2000
- Girish Patel, Steven Dennett. *The 3GPP and 3GPP2 Movements Toward an All-IP Mobile Network*. IEEE Personal Communications. Agosto 2000. pp62-64
- Phillip Ames, John Gabor. *The Evolution of Third-Generation Cellular Standards*. Intel Technology Journal. Q2 2000. pp 1-6
- White Paper. *Mobile Location Services*. Nokia. 2001
- White Paper. *Location Technologies for GSM, GPRS and WCDMA Networks*. SnapTrack. 2001
- Roger Kalden, Ingo Meirick and Michael Meyer. *Wireless Internet Access Based on GPRS*. IEEE Personal Communications. Abril 2000. pp 8-18
- Christian Bettstetter, Hans-Jörg Vögel, Jörg Eberspächer. *GSM Phase 2+ General Packet Radio Service: Architecture, Protocols and Air Interface*. IEEE Communications Surveys. 1999
- M Zeng, A. Annamalai, Vijay K. Bhargava. *Harmonization of Global Third-Generation Mobile Systems*. *IEEE Communications Magazine*. Diciembre 2000. pp 94-104
- George I. Zysman, Hank Menkes. *Wireless Mobile Communications at the Start of the 21st Century*. *IEEE Communications Magazine*. Enero 2001. pp 110-116.
- Hakan Granbohm, Joakim Wiklund. *General Packet Radio Service*. Ericsson Review No2 .pp 82-88 . 1999

- White Paper. *The TDMA operator path to GSM A successful transition to GSM and Evolution of TDMA*. Ericsson. 2001
- Chris Pearson. *The Power of TDMA-Based Technologies and the 3G Evolution*. UWCC.
- Richard Downes. *Adopting the Right Evolution Path to 3G Profitability: Critical Choices for Latin American TDMA Operators*. UWCC. 2001
- White Paper. *Opening a New Road to 3G Evolution, GSM in 800 MHz for TDMA and CDMA Migration*. Nokia. 2001
- The Shosteck Group. *GSM or CDMA: The Commercial and Technology Challenges for TDMA Operators*. 2001
- Anders Furuskär, Jonas Näslund, Hakan Olofsson. *EDGE - Enhanced Data Rates for GSM and TDMA/136 evolution*. Ericsson Review No 1. 1999. pp 28-37
- Christoffer Anderson. *GPRS and 3G Wireless Applications*. Wiley. 2001
- Clint Smith, Daniel Collins. *3G Wireless Networks*. McGraw-Hill Telecom. 2002

### Referencias en Internet:

- <http://www.ieee.org>
- <http://www.3gamericas.org>
- <http://www.3gpp.org>
- <http://www.cdg.org>
- <http://www.cellular-news.com>
- <http://forum.nokia.com/main.html>
- <ftp://ftp.3gpp.org/>
- <http://www.wirelessnewsfactor.com/perl/section/3gw/>
- <http://www.thefeature.com/index.jsp>
- <http://www.mobilecomms-technology.com/>
- <http://www.ericsson.com/mobilityworld/>
- <http://www.nokia.com>
- <http://www.attws.com/mobileinternet/>
- <http://www.cofetel.gob.mx>

- <http://www.itu.int/home/index.html>
- <http://www.etsi.org>
- <http://www.gsmworld.com/index.shtml>
- <http://www.nttdocomo.com/>

## **Lista de Acrónimos**

<b>3GPP</b>	Third Generation Partnership Project
<b>AMPS</b>	Advanced Mobile Phone Service
<b>ARIB</b>	Association of Radio Industries and Business
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode
<b>BSC</b>	Base Station Controller
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>CS</b>	Coding Scheme
<b>CWTS</b>	China Wireless Telecommunications Standard
<b>EDGE</b>	Enhanced Data rates for Global Evolution
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiple Access
<b>FOMA</b>	Freedom of Mobile Multimedia Access
<b>FSK</b>	Frequency Shift Keying
<b>GAIT</b>	GSM-ANSI Interoperability Team
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS Support Node
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications
<b>GTP</b>	GPRS Tunneling Protocol
<b>HDLC</b>	High level Data Link Control
<b>HLR</b>	Home Location Registry
<b>IMT</b>	International Mobile Communications
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>ISDN</b>	Integrated Services Digital Network
<b>ITU</b>	International Telecommunications Union
<b>MCS</b>	Modulation and Coding Scheme
<b>MSC</b>	Mobile Switching Center
<b>MSK</b>	Minimum Shift Keying
<b>NMT</b>	Nordic Mobile Telephone
<b>PDC</b>	Personal Digital Cellular
<b>PDP</b>	Packet Data Protocol
<b>PSK</b>	Phase Shift Keying
<b>PSTN</b>	Public Switched Telephone Network
<b>RNC</b>	Radio Network Controller
<b>SGSN</b>	Serving GPRS Support Node

<b>SIM</b>	Subscriber Identity Module
<b>SIR</b>	Signal-to-Interference Ratio
<b>TACS</b>	Total Access Communication System
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>TIA</b>	Telecommunications Industry Association
<b>UDP</b>	User Datagram Protocol
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>VLR</b>	Visitors Location Registry
<b>WCDMA</b>	Wideband Code Division Multiple Access

## Índice

### A

AMPS 22

### C

calidad de servicio 98  
Canales Lógicos 33, 42, 55  
Canales lógicos 49  
CDMA 18  
Célula 8  
Centro de Autenticación 31  
Centro de Conmutación Móvil 30  
Centro de Operación y Mantenimiento 31  
código de canalización 86  
código de combinación 86  
códigos de canalización 88  
Códigos de Combinación 90  
control de potencia 93  
Controladores de Estaciones Base 29

### E

EDGE 73  
espectro esparcido 47  
esquemas de codificación 66  
Estaciones Base 29  
Estaciones Móviles 29

### F

FDMA 16  
FOMA 106

### G

GPRS 60  
GSM 27

## **I**

Interfaz de Radio 41, 54  
IS-136 41  
IS-95 46

## **J**

Jerarquía de Tramas 34  
Jerarquía de Tramas 44

## **M**

Mensajería Multimedia 102  
mMode 111  
Modulación FSK 12  
Modulación MSK 14  
Modulación PSK 13  
Modulación PSK avanzada 15

## **N**

NMT 20  
nodo de soporte de compuerta 61  
nodo de soporte de servicios 61

## **P**

PDC 54

## **R**

Registro de Identidad de Equipo 31  
Registro de Usuario Visitante 30  
Registro de Usuarios Locales 30

## **T**

TACS 25  
tarjeta SIM 29  
TDMA 17  
Tono Supervisor de Audio 23  
Transferencia de llamada 10

**W**

WCDMA 83