

01170



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA

“Análisis dinámico de una red celular CDMA de 3^a
Generación ”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA
(OPCIÓN: COMUNICACIONES)
P R E S E N T A :
ROCÍO MENDOZA ROSALES

ASESOR: DR. VÍCTOR RANGEL LICEA



México, D. F.

Mayo de 2005

m-349107



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A Ana Cristina, fuente de inspiración y fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis padres Rafael y Martha, a mis hermanos Pilar, Rafael y Marisol por su apoyo constante a través de los años.

Agradecimientos

Al Dr. Víctor Rangel Licea, por su paciencia y dedicación en la elaboración de este trabajo.

Por todos su amistad, consejos, observaciones y paciencia: Dr. Mauricio Alberto Martínez.

Al M.I. José Luis Martínez, por sus consejos, así como por su amistad a lo largo de los años de escuela y trabajo.

Por su apoyo para la terminación de este trabajo al Dr. Abel Herrera Camacho.

A mis amigas por su apoyo, consejo y estímulo para completar esta etapa en mi vida Adriana Porta, Betzabe Paz, Flavia Villanueva, Lucero Ferioli, y Martha Doring.

A Iván Tapia por su amistad y cariño.

A todos mis amigos y compañeros de trabajo que comparten el reto de ser mejores ingenieros día a día: Jorge Castillo, Javier Ortiz, Fabricio Martínez, Mauricio Gutiérrez, David Ortiz, Ignacio Núñez, Pablo Ibáñez, Jaime Guarda y Jorge Ulises Martínez.

A la Facultad de Ingeniería y a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de crecer como persona y como profesionalista.

Rocio

ÍNDICE TEMÁTICO

LISTA DE FIGURAS	v
-------------------------	----------

LISTA DE TABLAS	vii
------------------------	------------

CAPÍTULO 1	1-1
-------------------	------------

INTRODUCCIÓN.	1-1
----------------------	------------

1.1 SISTEMAS CELULARES	1-1
-------------------------------	------------

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1-2
------------------------------------	------------

1.3 JUSTIFICACIÓN	1-3
--------------------------	------------

1.4 OBJETIVOS	1-3
----------------------	------------

1.5 CONTRIBUCIONES	1-4
---------------------------	------------

1.6 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	1-4
-------------------------------------	------------

CAPÍTULO 2	2-1
-------------------	------------

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES.	2-1
---	------------

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS CELULARES	2-2
--	------------

2.1.1 ORGANIZACIÓN DE CANALES LÓGICOS	2-2
---------------------------------------	-----

2.1.2 PROTOCOLOS	2-4
------------------	-----

2.2 SISTEMAS CELULARES DE 1ª GENERACIÓN	2-4
--	------------

2.2.1 SISTEMA AMPS, NAMPS Y TACS	2-6
----------------------------------	-----

2.3 SISTEMAS CELULARES DE 2ª GENERACIÓN	2-6
--	------------

2.3.1 TDMA	2-7
------------	-----

2.3.2 GSM	2-9
-----------	-----

2.3.3 CDMA	2-11
------------	------

2.3.4 LIMITACIONES EN LAS REDES DE 2ª GENERACIÓN.	2-13
---	------

2.3.5 ARQUITECTURA GENÉRICA DE UNA RED DE 2ª GENERACIÓN	2-13
---	------

2.3.6 SERVICIOS DE 2ª GENERACIÓN	2-16
----------------------------------	------

2.4 EVOLUCIÓN HACIA 3ª GENERACIÓN	2-17
--	-------------

2.5 SISTEMAS CELULARES DE 3ª GENERACIÓN	2-21
2.5.1 CDMA2000	2-22
2.5.2 GPRS-EDGE	2-23
2.5.3 UMTS	2-25
2.5.4 WiMAX Y EL ESTÁNDAR IEEE 802.16	2-26

CAPÍTULO 3 3-1

LA TECNOLOGÍA CELULAR CDMA. 3-1

3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	3-1
3.2 CDMA IS-95	3-2
3.2.1 SOFT HAND OFF	3-6
3.2.2 SOFTER HAND OFF	3-7
3.2.3 HARD HAND OFF	3-8
3.2.4 CONTROL DE POTENCIA	3-8
3.2.5 TRANSMISIONES DE VOCODER DE TASA VARIABLE	3-10
3.2.6. CANALES EN CDMA	3-13
3.3 J-STD-008	3-14
3.4 CAPACIDAD EN CDMA	3-15
3.5 3ª GENERACIÓN EN CDMA	3-16
3.6 1xRTT	3-16
3.6.1 TURBO CÓDIGOS	3-19
3.6.2 TIPOS DE CANALES EN 1xRTT	3-20
3.7 1xEV-DO	3-22
3.7.1 TRANSMISIÓN DE DATOS EN EV-DO Y 1xRTT	3-23
3.7.2 ARQUITECTURAS EN EV-DO	3-24
3.7.3 TASA ALTA DE TRANSMISIÓN EN CDMA-HDR	3-26

CAPÍTULO 4 4-1

NORMATIVIDAD. 4-1

4.1 NORMAS PARA REDES DE 3ª GENERACIÓN: IMT-2000	4-1
4.1.1 ANTECEDENTES DE LA IMT-2000	4-3
4.1.2 SISTEMAS 3G IMT-2000	4-5
4.2 NORMAS PARA REDES CDMA	4-7
4.2.1 ARQUITECTURA CDMA2000	4-8
4.2.2 CONVENCIÓN DE NOMENCLATURA DE CANALES	4-10
4.3 MODELO OSI Y LA ARQUITECTURA CDMA	4-12

CAPÍTULO 5 5-1

COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE CDMA 5-1

5.1 DATOS SOBRE LA INTERFAZ CDMA 5-1

5.1.1 SERVICIO DE CIRCUITOS DE DATOS SOBRE CDMA 5-1

5.1.2 SERVICIO DE PAQUETE DE DATOS SOBRE CDMA 5-4

5.1.3 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN DE DATOS EN LOS SISTEMAS CDMA2000 5-5

5.1.4 PROTOCOLO RLP 5-6

5.2 ANÁLISIS DE MOVILIDAD EN LAS REDES DE 3ª GENERACIÓN 5-8

5.2.1 MOVILIDAD EN VOZ 5-10

5.2.2 MOVILIDAD EN DATOS 5-11

5.3 ANÁLISIS DE TASA EFECTIVA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

"THROUGHPUT" DE LA RED 5-13

5.3.1 DESEMPEÑO DE TCP SOBRE EL ENLACE DE RADIO. 5-15

5.3.2 DESEMPEÑO DE RLP SOBRE EL ENLACE DE RADIO. 5-22

CAPÍTULO 6 6-1

CONCLUSIONES 6-1

REFERENCIAS R-1

LIBROS R-1

ARTÍCULOS R-1

DOCUMENTOS DE ESTÁNDARES R-2

TUTORIALES, MANUALES Y PRESENTACIONES R-2

REFERENCIAS ELÉCTRONICAS R-2

APÉNDICE A A-1

APÉNDICE B A-3

APÉNDICE C A-17

GLOSARIO A-25

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Comparación entre canales FDMA y TDMA.	2-5
Figura 2.2 Trama de canal en GSM.	2-10
Figura 2.3 Arquitectura Genérica de una red GSM.	2-11
Figura 2.4 Red de 2ª Generación.	2-14
Figura 2.5 Red de 2.5 Generación.	2-18
Figura 2.6 Posibles evoluciones de sistemas celulares de 2G a 3G.	2-20
Figura 2.7 Red CDMA2000.	2-22
Figura 2.8 Red GPRS-EDGE.	2-23
Figura 2.9 Red UMTS.	2-26
Figura 2.10 Arquitectura WIMAX.	2-27
Figura 3.1 Canal de CDMA y bandas de guarda.	3-3
Figura 3.2 Representación de los canales y códigos en el canal de envío.	3-4
Figura 3.3 Esparcimiento de la Señal de Secuencia Directa.	3-5
Figura 3.4 División del Espectro en sistemas AMPS y TDMA.	3-5
Figura 3.5 El espectro de CDMA y sus referencias en tiempo y frecuencia	3-6
Figura 3.6 Infraestructura necesaria para implantar un soft handoff.	3-7
Figura 3.7 Distribución Handoff.	3-8
Figura 3.8 Vocoder QCELP.	3-12
Figura 3.9 Turbo codificador de tasa 5.	3-19
Figura 3.10 Envío de datos en una red 1xRTT.	3-23
Figura 3.11 Entrega de datos en una red EV-DO con arquitectura central.	3-24
Figura 3.12 Arquitecturas de EVDO.	3-25
Figura 3.13 Temporización en una Ranura de Tiempo.	3-27
Figura 3.14 Transmisión de paquetes Multiranuras.	3-29
Figura 3.15 Tiempo en el Canal de Código Piloto.	3-30
Figura 4.1 Servicios reglamentados por la IMT-2000.	4-2
Figura 4.2 Distribución actual del espectro IMT-2000 identificado en WRC-2000.	4-5
Figura 4.3 Arquitectura de sistema cdma2000.	4-9
Figura 4.4 Modelo OSI y Arquitectura CDMA.	4-12
Figura 5.1 Capas de Protocolo para servicio de circuitos de datos.	5-2
Figura 5.2 Elementos de red que soportan el servicio de circuitos de datos en CDMA.	5-3
Figura 5.3 Configuración de la red de servicios de datos y los protocolos TCP/IP.	5-5
Figura 5.4 Flujo de Paquetes de datos en un sistema 1xRTT.	5-6
Figura 5.5 Procedimiento de retransmisión en el protocolo RLP.	5-8
Figura 5.6 Movilidad en la Red de Radio (RAN).	5-9
Figura 5.7 Movilidad en la Red de Circuitos (CS-CN).	5-10
Figura 5.8 Movilidad en la Red de Datos PS-CN.	5-12
Figura 5.9 Asignación de Ancho de Banda en el canal de envío.	5-14
Figura 5.10 Escenario montado para las mediciones.	5-15
Figura 5.11 Monitoreo de una aplicación FTP.	5-17
Figura 5.12 TCP Throughput para diferentes tamaños de ventanas 16,32 y 64.	5-18
Figura 5.13 Fragmentación de una carga útil de 1460 bytes.	5-19
Figura 5.14 Desempeño de una carga útil en TCP de tamaño 536.	5-20
Figura 5.15 Desempeño de una carga útil en TCP de tamaño 960.	5-21
Figura 5.16 Desempeño de una carga útil en TCP de tamaño 1460.	5-21
Figura 5.17 Encabezados y carga útil de información en una conexión 3G.	5-22
Figura 5.18. Carga útil en RLP.	5-24
Figura 5.19 Retransmisiones en RLP (N).	5-28

Figura A.1 Duplexaje por División de Tiempo.	A-1
Figura A.2 Duplexaje por División de Frecuencia.	A-2
Figura B.1 Representación de una señal transmitida de espectro esparcido.	A-5
Figura B.2 Diagrama de un registro de corrimiento lineal de m-etapas.	A-7
Figura B.3 Registro de corrimiento lineal con retroalimentación, basado en polinomio de primitivo 45_B .	A-8
Figura B.4 Función de autocorrelación de una secuencia pseudo-aleatoria del tiempo m-sequence o m-secuenciaria.	A-9
Figura B.5 Esquema básico de un transmisor de secuencia directa BFSK.	A-11
Figura B.6 Esquema básico de un receptor de secuencia directa BFSK.	A-12
Figura B.7 Diagrama de un sistema básico de saltos en frecuencia.	A-14
Figura B.8 Señal de espectro disperso con saltos lentos en frecuencia que presenta tres símbolos de modulación por cada salto en frecuencia.	A-15
Figura B.9 Sistema de saltos lentos, en el dominio de la frecuencia.	A-15
Figura B.10 Forma de onda de una señal de espectro esparcido de saltos rápidos.	A-16
Figura B.11 Sistema de espectro disperso con saltos rápidos, en el dominio de la frecuencia.	A-16
Figura C.1 Sistema de Posicionamiento Global.	A-18
Figura C.2. Constelación de Satélites GPS.	A-19
Figura C.3 Segmento de Control de Sistema GPS.	A-20
Figura C.4 Sistemas de Navegación con GPS.	A-21

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Evolución de los sistemas celulares.	2-1
Tabla 2.2 Características de AMPS.	2-5
Tabla 2.3 Características de las tecnologías de 2ª Generación.	2-7
Tabla 2.4 Principales estándares en GSM.	2-9
Tabla 2.5 Migración de 3ª Generación Fases I y II.	2-17
Tabla 2.6 Comparación de las nuevas tecnologías para 3G.	2-19
Tabla 2.7 Comparación entre datos teóricos y prácticos.	2-21
Tabla 3.1 Tipo de codificación para esquemas TDMA, GSM y CDMA.	3-10
Tabla 3.2 Canales físicos en CDMA.	3-13
Tabla 3.3 Asignación de Bandas de Frecuencia para Operadores de PCS en Estados Unidos.	3-14
Tabla 3.4 Capacidad relativa de CDMA con respecto a AMPS, TDMA y GSM.	3-15
Tabla 3.5 Radio Configuraciones para 1x y 3X.	3-17
Tabla 3.6 Canales presentes en sistemas IS-95 y 1xRTT.	3-20
Tabla 3.7 Parámetros de modulación en el enlace de envío de HDR.	3-28
Tabla 4.1 Organismos internacionales y sus propuestas.	4-4
Tabla 4.2. Convención de nomenclatura para Canales Lógicos.	4-11
Tabla 4.3 Nombres de los Canales Físicos.	4-11
Tabla 5.1 Tasas de transmisión para el Canal Suplementario.	5-14
Tabla 5.2 Rendimiento obtenido en mediciones reales.	5-18
Tabla 5.3 Variación de RLP en diferentes escenarios.	5-23
Tabla 5.4 Rendimiento Máximo en la capa de Aplicación.	5-24
Tabla 5.5 Rendimiento TCP integrado sobre diferentes intervalos de FER para varios valores de RLP NAK.	5-28
Tabla 5.6. Impacto de los valores de RLP en el rendimiento de TCP en mediciones de campo.	5-29
Tabla A.1 Servicios disponibles para modos FDD y TDD.	A-1

Capítulo 1

Introducción.

Las comunicaciones móviles es una de las áreas de la tecnología actual más dinámica, la cual ofrece perspectivas de ampliación, actualización y nuevos servicios. Actualmente las redes inalámbricas pueden utilizarse para proporcionar movilidad liberando al usuario de un enlace fijo, estas dependen de la aplicación y de la naturaleza del proveedor de servicios de telecomunicaciones que las implemente.

La red inalámbrica puede cubrir los beneficios de una red cableada con la adición de los beneficios de libertad de movilidad. Algunos sistemas que utilizan las redes inalámbricas son los siguientes: sistemas celulares, sistemas inalámbricos como extensión de redes fijas, sistemas inalámbricos de acceso fijo, sistemas inalámbricos de dispositivos portátiles.

“En lo que toca a este nuevo siglo, los Sistemas Personales de Comunicación (PCS), basados en la tecnología micro-celular, pueden ser un candidato a satisfacer los requerimientos individuales de comunicación de voz y datos. La asignación de 220 MHz de espectro en la banda de 1.85 a 2.2 GHz en los Estados Unidos establece el curso en esta dirección”[5] .

1.1 Sistemas Celulares

Los sistemas celulares tienen su origen en los sistemas de radio. La telefonía celular utiliza los principios básicos de los sistemas de radio, es decir son ondas electromagnéticas radiadas transmitidas o recibidas definidas en un rango de frecuencias.

El principal propósito de las ondas radiadas es el de enviar información a distancia sin necesidad de cables.

Dos descubrimientos importantes en la historia de la radio que permitieron su evolución, fueron: la representación matemática de las ondas electromagnéticas, en 1864 hecha por James Clerk Maxwell y el descubrimiento de Heinrich Hertz en 1877 quien demostró que la velocidad de las ondas de radio eran igual a la velocidad de la luz e inventó un aparato para generarlas.

En 1895 Gugliermo Marconi, convencido de que se podía enviar información al ser transmitida sobre ondas electromagnéticas, inventó un dispositivo que enviaba señales codificadas sobre distancias cortas.

En 1946, AT&T creó "Servicio Mejorado de Telefonía Móvil" (IMTS), el primer sistema de radio móvil que se conectó a la red telefónica pública (PSTN). IMTS consistía de un solo transmisor de alta potencia que servía a un área de cobertura de 50 millas de radio. Este sistema operó por primera vez en St. Louis Missouri, después se extendió a 25 ciudades.

En 1947, el nacimiento teórico de la tecnología celular ocurrió cuando ingenieros de AT&T concibieron el diseño del uso de ondas de aire más eficientemente, al desarrollar múltiples transmisores de baja potencia en un área metropolitana. Las llamadas eran pasadas de celda en celda (handed-off) de transmisor en transmisor como los suscriptores viajaban en sus vehículos.

La teoría del multi-transmisor, permitió a más usuarios acceder a la red móvil. Cuando mayor capacidad se requería, el área de servicio servida por un transmisor volvía a dividirse otra vez. Sin embargo, la tecnología que permitió soportar este paso de llamadas de transmisor a transmisor (hand-off) de manera efectiva no estuvo disponible sino hasta después de 20 años.

En 1977, la Comisión Federal de Comunicaciones FCC (*Federal Communication Commission*) aprobó dos licencias experimentales. En 1981, asignó 50 MHz de espectro en el rango de los 800 MHz. Para alentar la competencia, este espectro fue dividido en dos bandas de 25 MHz, una para cada sistema: una para la compañía de telefonía nueva y otra para la compañía de telefonía local.

De acuerdo con Young, "El concepto celular y la realización de pequeñas células con re-uso del espectro puede aumentar la capacidad de tráfico substancialmente, parece haberse materializado desde ahora, aunque esto ya se había sido enunciado por D. H. Ring de los Laboratorios Bell en un trabajo no publicado" [5].

La estructura de la red, con estaciones de base de cobertura limitada (células), que permite la reutilización de frecuencias entre células no adyacentes, exige una técnica compleja para mantener la comunicación al cambiar de célula o de red.

1.2 Definición del Problema

El desarrollo de las comunicaciones móviles es importante, ya que su puesta en marcha y utilización tiene una repercusión triple, técnica, económica e industrial. La necesidad creciente de proveer diversos servicios de comunicación, salud, educación, comercio, servicios gubernamentales y entretenimiento; ha impulsado la tecnología de las redes inalámbricas por que representan una inversión menor que las redes fijas.

Existen varias tecnologías de redes celulares de 2ª Generación entre ellas TDMA, GSM y CDMA. Todas presentan un esquema para evolucionar hacia 3ª Generación y así poder brindar más y mejores servicios de comunicación.

Este trabajo presenta un análisis sobre la evaluación de la tecnología CDMA que presenta una propuesta alterna para proporcionar servicios de 3ª Generación a una mejor velocidad de transmisión que GSM y haciendo uso eficiente del recurso más limitado en las redes inalámbricas: el espectro radioeléctrico.

1.3 Justificación

Las capacidades de los distintos servicios de voz y datos; están relacionados con el espectro disponible. Uno de los problemas que surgen es que el desarrollo de servicios se ve limitado por este. Los avances tecnológicos se orientan a conseguir una mayor eficacia espectral. Los países en los que la disponibilidad de espectro es escasa, optan por tecnologías más eficaces espectralmente, generalmente más avanzadas, mientras que los que no tengan esa presión optarán por sistemas más convencionales[6].

Aunque existen otras tecnologías en el mercado como GSM, CDMA ofrece una mejor tasa de transmisión de datos y mayor capacidad de manejo de llamadas de voz. Esto es mientras GSM, ofrece 171.6 kbps con GPRS; CDMA 1xRTT ofrece hasta 614.4 kbps¹.

Para poder realizar una evaluación y mejorar los servicios es importante conocer algunos métodos para el análisis de la eficiencia en el desempeño de la red. Así como los cuellos de botella que se presentan en el sistema; tal como es la interfaz de radio y el rendimiento en la transmisión de paquetes "*throughput*".

El presente trabajo mostrará un análisis sobre la capacidad y el desempeño real de una red de 3ª Generación bajo el esquema CDMA. Así como también los servicios que podrán brindarse a través de una red 3G.

1.4 Objetivos

El desarrollo del presente trabajo de tesis se enfoca en el análisis del desempeño de la transmisión de datos de una red de 3ª Generación bajo el esquema CDMA.

El estudio y análisis de la red de 3ra generación comprende los cambios que se presentan en una red de 2ª Generación para su evolución a 3ª Generación.

Esto incluye la incorporación de dispositivos para poder brindar nuevos servicios de voz y datos, con una mejor calidad y a una mejor tasa de transmisión.

¹ Datos Máximos Teóricos

En la presente tesis se presentan métricas de una red en servicio y se hace la evaluación con respecto al marco teórico de la tecnología CDMA. Además, se realiza el análisis y evaluación de la red celular en cuanto al desempeño de la eficiencia de transmisión de paquetes de datos.

1.5 Contribuciones

Para poder competir con otros servicios de redes telefónicas fijas y las redes de distribución por cable, es necesario tener servicios con buena calidad de voz y tasa de transmisión de datos alta velocidad

En el presente trabajo se hace el análisis de calidad de transmisión de datos de una forma práctica y se compara con las métricas teóricas que presenta la solución de CDMA para hacer más eficiente el uso del espectro en los sistemas celulares.

1.6 Estructura del Documento

En el segundo capítulo se presentan los sistemas celulares y sus características desde los sistemas de 1ª generación, los de 2ª generación hasta llegar finalmente a los sistemas de 3ª generación. Revisando las arquitecturas de las diferentes tecnologías TDMA, GSM y CDMA.

En el tercer capítulo, se hace una revisión de la tecnología CDMA y de la estructura de red así como de las especificaciones IS-95 A y B; también se incluyen las estructuras de red de 3ª generación 1xRTT y 1xEV-DO.

En el cuarto capítulo, se exponen las normas y estándares existentes para las tecnologías de 3ª Generación y se hace una revisión más detallada sobre los estándares para CDMA.

En el quinto capítulo se realiza el análisis del comportamiento del espectro radioeléctrico bajo el esquema de CDMA, y se hace un análisis de la eficiencia en la transmisión de datos de una red 1xRTT en funcionamiento en comparación con las simulaciones hechas para modelos de tecnología CDMA.

En el sexto capítulo se exponen las evaluaciones de los resultados obtenidos del análisis de la red de tercera generación bajo el esquema CDMA.

Capítulo 2

Evolución de los sistemas celulares.

Los sistemas celulares han tenido grandes avances desde su introducción en los años 1980. Esta evolución se ha dado en las tecnologías de 1ª generación, pasando de 2ª generación (comienzos de los años 1990) y eventualmente hasta las 3ra generación (comienzo del 2000). En la tabla 2.1 se muestra esta evolución.

AÑO	TECNOLOGÍAS INALÁBRICAS	CARACTERÍSTICAS
1980	1ª Generación	Servicios Celulares Basados en tecnologías Análogas. Comutación de Circuitos. Servicios para voz.
1990	2ª Generación	Introducción de Tecnologías Digitales. Comutación de Circuitos. Servicios para voz y datos a baja velocidad.
2000	3ª Generación	Diseñados para datos. Comutación de paquetes Servicios de voz y datos a alta velocidad.

Tabla 2.1 Evolución de los sistemas celulares.

Los sistemas de 1ª generación introdujeron el concepto de celdas o células². En estos sistemas se transmite la voz (análoga) y la información del usuario sobre la interfaz de radio, la voz nunca se digitaliza antes de transmitirse sobre el aire. Esta tecnología fue diseñada sólo para servicios de voz. Aunque se ofrecieron algunos servicios de datos, estos fueron poco prácticos y con muchos problemas. La red usaba conmutación de circuitos.

La motivación básica para migrar de 1G a 2G fue incrementar la capacidad del sistema. Las técnicas de radio son más eficientes: digitalizan y comprimen las señales de voz. Las redes 2G manejan conmutación de circuitos y están diseñadas sólo para voz. Aunque, se dispone de servicios de datos a baja velocidad (arriba de 14.4 kbps), los servicios de datos sobre circuitos conmutados son ineficientes para el usuario final.

En la evolución de 2G a 3G, los servicios de voz se siguen ofreciendo, pero la característica clave de los sistemas 3G es el servicios de datos a alta velocidad. Se pueden alcanzar velocidades de más de 2Mbps. Los datos utilizan conmutación de paquetes, haciendo los servicios de datos más eficientes y menos costosos. Esto abre la posibilidad de acceso a Internet a un costo efectivo, acceso a intranets corporativas y acceso a servicios de multimedia.

² En el presente documento los términos celda o célula se usan indistintamente.

2.1 Características de los sistemas celulares

Varias generaciones de sistemas celulares se han sido desarrollado desde la mitad de los 1970s. Todos ellos tienen características comunes y están definidos por la forma de generar el enlace o el canal entre la unidad del subscriptor y la infraestructura[3].

En el caso de los primeros sistemas analógicos, se utiliza Acceso Múltiple por División de Frecuencia FDMA (*Frequency Division Access*), donde una frecuencia es asignada a un usuario en particular y entonces emplea modulación por frecuencia como esquema de modulación para el tráfico de voz. Los sistemas tales como Telefonía Móvil Nórdica NMT (*Nordic Mobile Telefon*), Sistema de Telefonía Móvil Avanzado AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) y Servicio de Comunicación de Acceso Total TACS (*Total Access Communication Service*) utilizaban esta tecnología.

El Acceso Múltiple por División de Tiempo TDMA (*Time Division Multiple Access*) se refiere a todos aquellos sistemas que en un canal asignan una frecuencia y un acceso por tiempo a un usuario en particular (o grupo de usuarios). El tiempo de acceso es subdividido en intervalos los cuales se asignan a cada usuario. Este puede transmitir y recibir únicamente en esos intervalos de tiempo; así un canal está formado por una frecuencia y un tiempo coordinados. Ejemplos de sistemas TDMA, incluyen al Sistema Global Móvil GSM (*Global System Mobile*); el sistema Celular Personal Digital PDC (*Personal Digital Cellular*); y US-TDMA también conocido como NADC (*North American Digital Cellular*). La modulación usada para tráfico de voz era conmutación de fase PSK (*Phase Shift Keying*).

El Acceso Múltiple por División de Código CDMA (*Code Division Multiple Access*) se refiere a aquellos sistemas que tienen una secuencia de modulación esparcida directa DS-SS (*Direct Spread, Code Division Multiple Access*), la cual forma canales por asignación de códigos a los usuarios. Un gran número de usuarios pueden transmitir simultáneamente una sola frecuencia compartida y recibir otra frecuencia compartida.

La capacidad del sistema puede ser incrementada utilizando un número de frecuencias pares, cada frecuencia sirve a múltiples usuarios. Así el sistema emplea ambos FDMA y CDMA. La especificación IS-95 A [TIA/EIA Interim Standard 95-A] y su derivación J-STD-008, son los únicos sistemas DS-SS implementados para celulares comerciales y aplicaciones PCS actualmente.

2.1.1 Organización de Canales Lógicos

En todos los sistemas celulares existe la necesidad de infraestructura y estaciones móviles para las comunicaciones punto a punto o multipunto. Tales comunicaciones toman lugar sobre los canales lógicos que pueden compartir la propiedad con otros canales lógicos entre los canales físicos (o pueden ser asignados exclusivamente a un canal físico). Un canal físico se define como una combinación de la portadora de RF, en un tiempo coordinado y/o código usado.

Los canales lógicos se definen aproximadamente en:

Canal de Tráfico: este tipo de canal es bi-direccionales en enlaces punto a punto donde un usuario móvil intercambia cualquiera de los dos servicios voz o datos con la infraestructura.

Canal MAHO³ (Mobile Assistant Hand Off) –beacon-: este canal se asigna específicamente para proporcionar información ambiental para las estaciones móviles e identificar las celdas vecinas o adyacentes que sería candidatos potenciales para un hand-off. Las celdas vecinas están identificadas en cada frecuencia o por un patrón específico de código o bit en el canal físico.

Canal de Sincronía: existe para proporcionar un tiempo al sistema para las estaciones móviles, tiempo de trama, los medios para la corrección de frecuencia o a veces los tres al mismo tiempo.

Canal de Voceo: transmite los mensajes de voceo para alertar a las estaciones móviles individuales para las llamadas entrantes o transmite información para una estación móvil.

Canales de Acceso: son enlaces de subida que las estaciones móviles usan para acceso inicial a la infraestructura de la célula o el registro de su presencia en el sistema.

Canales de Control: pueden ser punto a punto o enlaces punto-multipunto y comunican cierta información específica a la estación móvil o una clase de estaciones móviles. Las recomendaciones GSM describen canales de ambas clases usando los términos Canal con Retardo Asociado al Canal de Control SACCH (*Slow Associated Control Channel*), o el Canal Rápido Asociado al Canal de Control FACCH (*Fast Associated Control Channel*) y el Canal Único Dedicado a Control SDCCH (*Stand Alone Dedicated Control Channel*). Algunos de estos términos han sido adoptados en Japón y en los sistemas US-TDMA.

Canales "Overhead" son canales de los cuales las estaciones móviles obtienen información acerca de los sistemas y parámetros usados de acuerdo con el ambiente de RF. Pueden incluir la identidad del sistema, la clase y la asignación de acceso, además de los canales de voceo y donde el acceso al sistema es permitido o inhibido (control "overhead"). Los parámetros de RF pueden incluir "hand-off" y control de potencia, listas de vecinos, celdas adyacentes e información para análisis en modo de no ocupación o "idle".

Canales de Acceso Garantizado: son canales en los cuales las estaciones móviles obtienen canales de tráfico (o cualquier otro canal de control), información de asignación, como también reconocimiento de registro.

³ "Hand off asistido por el móvil (MAHO) es una técnica donde la decisión de realizar las mediciones del enlace de bajada es hecho en la estación móvil. Típicamente, las estaciones móviles reportan la potencia de la señal o el cociente de señal ruido SNR (Signal Noise Ratio) para utilizar el equipo de la infraestructura celular para ayudar en la determinación de la detección de "hand-off" y la selección de objetivo.

2.1.2 Protocolos

Los sistemas digitales de comunicación en cuanto a los protocolos de comunicaciones que llevan sobre la trayectoria de radio se dividen en niveles o capas (L1, L2, L3) en línea desde los primeras tres capas del pila de protocolos OSI.

L1 se refiere a la capa física o las características de RF recepción o transmisión, el cual incluye el esquema de modulación por ejemplo, modulación por cambio de frecuencia FSK (*Frecuencia Shift Keying*) o Modulación por cambio de fase PSK (*Phase Shift Keying*); e intercalado (*interleaving*)¹.

L2 se refiere al mensaje de control de transacción sobre el canal físico. Es más comúnmente referido como a un protocolo de mensajes e incluye los procedimientos de detección de error.

L3 se refiere a los mensajes de usuario enviados entre la estación móvil y el equipo de infraestructura que resulta en una llamada de control (procesamiento de llamadas), manejo de radio enlace por ejemplo registro, control global de estación móvil.

2.2 Sistemas celulares de 1ª Generación

La primera problemática surgida era la falta de definición de estándares de sistemas; por ello cada fabricante crea su propio sistema con normativa propia, fundamentalmente en Europa.

El primer sistema desarrollado y puesto en servicio fue basado en la normativa NMT-450 Teléfono Móvil Nórdico (*Nordic Mobile Telefon*) desarrollado en los países nórdicos de Europa. Posteriormente, se especificó el sistema AMPS Sistema Avanzado de Telefonía Móvil (*Advanced Mobile Phone System*) en los Estados Unidos de América en la banda de 800 MHz.

Más tarde fue desarrollado en Japón el sistema NTT (*Nippon Telegraph and Telephone*) y posteriormente TACS (*Total Access Communications System*) Sistema de Acceso Total de Comunicaciones, desarrollado para Europa en la banda de 900 MHz y otro NMT 900 basado en su predecesor NMT-450.

La tecnología FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) Acceso Múltiple por División de Acceso se usa en el estándar Norteamericano AMPS así como en otros estándares análogos, incluyendo TACS y NMT.

¹ Intercalado es una técnica de transmisión usada para reducir el impacto del fenómeno de error por ráfaga no inducida por el proceso de desvanecimiento rápido. Típicamente, los códigos de corrección de errores son completamente poderosos en el trato de casos de mínima pérdida de datos causados por efectos de desvanecimientos de corta duración y la corrupción de datos es minimizada. La recuperación de datos (en el receptor final) después de la detección-corrección de errores sigue el proceso de des-intercalar en el cual la información en banda base es puesta de regreso en su orden original.

El Servicio Avanzado de Telefonía Móvil fue la primera tecnología implementada para telefonía celular en el año de 1983 y fue el estándar más utilizado en el mundo. En AMPS, cada vez que un usuario necesita hacer o recibir una llamada, se asigna un canal. Entonces sólo un número limitado de suscriptores pueden usar su teléfono a la vez. Con el re-uso de frecuencia, la sectorización utilizando transmisores de baja potencia, el número de suscriptores y el área de cobertura se incrementa dramáticamente.

Algunas características de AMPS se muestran en la tabla 2.2.

Características de AMPS	
Frecuencia	825-845 MHz; móvil - estación base 870-890 MHz; estación base - móvil
Ancho de Canal	30 kHz
Número de Canales	416

Tabla 2.2 Características de AMPS.

Pero a pesar de estas mejoras, no existió la capacidad suficiente para satisfacer la demanda en crecimiento en la mitad de los años 80. Los fabricantes se inclinaron hacia otras tecnologías para solucionar los problemas de capacidad. Estas tecnologías fueron: Acceso por División de Código CDMA (*Code Division Multiple Access*) y Acceso por División de Tiempo TDMA (*Time Division Multiple Access*).

A diferencia de FDMA, la cual transmite o recibe solamente una señal en cada canal, TDMA también llamada Digital AMPS (D-AMPS), transmite o recibe información en ranuras de tiempo y puede acomodar más de un usuario en cada canal. Un ejemplo de un canal de FDMA y TDMA/TDD, es mostrado en la figura 2.1.

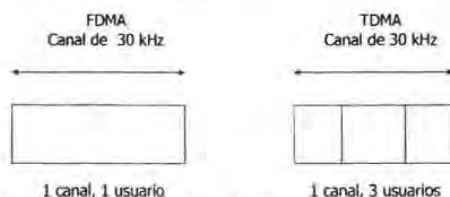


Figura 2.1 Comparación entre canales FDMA y TDMA.

Esta técnica permite múltiples usuarios que comparten el mismo tiempo en cada canal de RF y efectivamente triplica la capacidad sobre la tecnología AMPS. Otra ventaja sobre el sistema análogo incluye: más tiempo de vida en la batería, menos bloqueo de llamadas, transmisiones privadas y una plataforma de servicios para datos.

Mientras los sistemas análogos llevaban la mayor cantidad del tráfico celular en el mundo a finales del siglo pasado, estos han empezado a desaparecer en las naciones más desarrolladas dando paso a los sistemas digitales con sus servicios adicionales y mejorando la capacidad.

2.2.1 Sistema AMPS, NAMPS y TACS

AMPS fue desarrollado por los Laboratorios Bell en los años 1970 como reemplazo para el Servicio Mejorado de Telefonía Móvil (IMTS). Este presentaba deficiencia en cuanto a capacidad. En las últimas décadas del siglo pasado, AT&T y Motorola realizaron pruebas de AMPS en la ciudad de Chicago y Washington D. C. que eran áreas propicias para poner a prueba el concepto.

El desarrollo inicial de AMPS, utilizaba 666 canales de 30 kHz de ancho de banda. Aquellos canales fueron divididos en una banda A (no cableada) y una banda B (cableada), y la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) garantizaba dos licencias (una en cada banda) en cada mercado para asegurar la competencia entre los proveedores de servicio. Entre cada banda de canales, 21 canales fueron reservados para señalización la cual proporcionaba la información de "overhead", voiceo e instrucciones para acceso garantizado.

Algunas variaciones de AMPS fueron desarrolladas en el Reino Unido (TACS) y Japón (JTACS). Estas fueron versiones de frecuencias conmutadas y diferentes anchos de banda, al igual que NMT, utilizaba un tono de enlace de continuidad conocido como un todo de supervisión de continuidad (SAT), que también servía en la detección de la interferencia de co-canal. AMPS también utilizaba ráfagas de 10 kHz de tono (conocido como tono de señalización) para algunos propósitos de enlace de señalización.

En cuanto a AMPS de Ancho de Banda Angosta NAMPS (Narrowband AMPS) tomaba cada 30 kHz y los dividía en 3 canales de 10 kHz. Como resultado se tenía un incremento en la capacidad de sistema sin la inconveniencia de la división de celdas y todo lo que implicaba [3]. NAMPS es compatible con los sistemas AMPS, ya que el canal de control de 30 kHz era todavía usado y las estaciones móviles podían construirse para manejar ambos estándares.

Para mantener los requerimientos de uso del espectro de 10 kHz, se empleo un nuevo esquema de señalización sub-audible. Una cadena de 200 bps de datos continua se envía entre la estación base y la estación móvil. El usuario no escucha la señalización porque su frecuencia reside por debajo de la porción del espectro audible.

2.3 Sistemas celulares de 2ª Generación

Estos sistemas se caracterizan por implantar sistemas digitales, para la transmisión digital de envío de voz o datos utilizando alguna forma de PSK en lugar de FM. La voz o información se muestrea en tasas regulares y se segmenta en paquetes o tramas de voz. La información entonces puede ser codificada con un detector de código e intercalado antes de pasar por el modulador PSK. Los mensajes de control son enviados a la estación móvil a través de un método conocido como "robo de tramas" o "*frame stealing*", el cual ocurre cuando los contenidos de un mensaje de control parcialmente o enteramente reemplaza la información enviada.

Existen tres tecnologías principales: TDMA, GSM y CDMA que han sido desarrolladas para redes inalámbricas de 2ª Generación.

El Acceso Múltiple por División de Tiempo o TDMA, utiliza canales de frecuencia de banda angosta que son divididos en ranuras de tiempo. La interfaz IS-136 utiliza TDMA y también trabaja con las normas de red IS-41.

El sistema Global para Comunicaciones Móviles o GSM, utiliza también TDMA. GSM está definido por la ETSI, el Comité de Normas Europeas para las tecnologías de telecomunicaciones. A diferencia IS-95 e IS-136, GSM proporciona una solución en la interfaz de aire y también provee la solución de red, llamada GSM-MAP.

CDMA o Acceso Múltiple por División de Código utiliza tecnología digital sobre la transmisión de aire. El usuario se identifica con una secuencia o código de dispersión. CDMA se utiliza en el estándar IS-95 de la TTA/EIA. La interfaz IS-95 trabaja con el estándar IS-41 de redes. La tabla 2.3 muestra un resumen de estas tecnologías de 2ª Generación.

Normas para la interfaz de Aire	Ancho de Banda de la Interfaz de Aire	Red	Servicios de Datos
IS-95 CDMA	1.25 MHz	IS-41 Define la interfaz entre los elementos de la red: MSC, el HLR, VLR, etc.	SMS Conmutación de circuitos para datos a velocidad de más 14.4 kbps
IS-136 TDMA	30 kHz	IS-41 Define la interfaz entre los elementos de la red: MSC, el HLR, VLR, etc.	SMS Conmutación de circuitos para datos a una velocidad de 9.6 kbps.
GSM	200 kHz	GSM- MAP ⁵	SMS Conmutación de Circuitos para Datos una velocidad de 9.6 kbps.

Tabla 2.3 Características de las tecnologías de 2ª Generación.

2.3.1 TDMA

El sistema TDMA ha sido operado desde 1992, con base en el estándar IS-54, tal como fue especificado por la Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones TTA en 1990. Este estándar requiere la digitalización, la compresión y la transmisión de señales de voz en ráfagas regulares a través de ranuras de tiempo.

⁵ GSM-MAP fue creado por el ETSI (Instituto de Normas Europeas de Telecomunicaciones), para habilitar el "roaming" de los suscriptores en toda Europa y otras partes del mundo. Este mecanismo de señalización está basado en el Sistema de Señalización No. 7 (SS7) y proporciona los mecanismos necesarios para las funciones de la red inalámbrica tales como registro, movilidad y provisión de servicios.

Para aumentar la penetración de TDMA, se creó el Foro para el Desarrollo de TDMA en la primera mitad de 1993 con el objetivo de acelerar la evolución y el desarrollo de las capacidades. La evolución de TDMA IS-136, fue desarrollada para mejorar las capacidades de los celulares analógicos, e incluir nuevas características digitales, expandir movilidad, a bajo costo y cobertura mundial.

IS-136 proporcionaba una fácil evolución de los servicios analógicos a digitales. La primera versión IS-136 (revisión 0) incluía: un canal de control digital, modo durmiente, datos por conmutación de circuitos sobre canales digitales y servicio de mensajería corta. En 1996, la revisión, A; incorpora funcionalidades, incluyendo activación sobre el aire, Identificador de llamadas y un canal de acceso prioritario. La revisión B, soporta servicios de difusión de servicios de mensaje corto, servicio de envío de voz, paquetes de datos y tonos de marcado.

TDMA utiliza dos tipos de duplexaje⁶, utilizando técnicas en dominio y frecuencia TDD (Time Division Duplex) y (Frequency Division Duplex) FDD, explicadas en el Apéndice A. TDMA/FDD es la técnica elegida para proporcionar servicios de comunicación inalámbrica.

El objetivo de TDMA fue obtener tres canales en cada canal analógico que reemplazó. Cada trama es dividida en seis ranuras de tiempo, que contiene dos tipos de canal: Canal de Tráfico y Canal de Control. El primero es usado para llevar tráfico de voz y datos (este puede ser análogo como en AMPS o digital como en IS-54 y IS-136). El segundo se usa para la comunicación entre la estación base y las terminales móviles y viceversa, algunos tipos de canal de control son el canal de voiceo y el de sincronía. Al transmitir en ranuras de tiempo, las ráfagas cortas son más robustas que las señales análogas y pueden proporcionar una mejor calidad de voz.

La revisión B de IS-136, proporciona datos por conmutación de paquetes en un canal digital. Esta característica es conveniente para voiceo, difusión, envío de mensajes, punto de venta, telemetría, correo electrónico etc. Junto con estos beneficios de IS-36, se combinan con CDPD (*Cellular Digital Packet Data*) con calidad digital, capacidad y confiabilidad.

CDPD es un método para enviar información en paquetes a tasas de transmisión de alta velocidad sobre redes de voz celulares tales como AMPS o TDMA.

Puede soportar usuarios múltiples sobre un simple canal y permitir a los operadores facturarlos en base a paquetes. Minimiza los retardos de tiempo porque el establecimiento de llamada no es requerido para el servicio de paquetes de datos.

⁶ Duplexaje es la capacidad de que los sistemas convencionales soporten llamadas simultáneas o conversaciones en dos sentidos

2.3.2 GSM

El sistema Global para Comunicaciones Móviles GSM (*Global System for Mobile Communications*) surgió durante los primeros años de 1980 cuando Europa experimentó una rápida expansión de sistemas celulares análogos. Naciones como Francia, Alemania, Gran Bretaña y Escandinavia habían desarrollado estándares y equipo únicos. Situación que presentó incompatibilidad para cuando un suscriptor se encontraba como visitante en otro país "roaming". La apertura de fronteras entre estos países hizo necesario contar con un sistema celular estandarizado que no fuera afectado por las fronteras nacionales.

En 1982, la Conferencia Europea de Correos y Telégrafos (CEPT) formó una alianza llamada Grupo Especial Móvil (GSM). El propósito fue estudiar y especificar los requerimientos para un estándar técnico común para ser adoptado por países participantes. El nuevo estándar tenía que alcanzar los siguientes criterios:

- a) Mejor calidad de voz
- b) Bajo costos de terminales y servicios
- c) Soportar el "roaming" internacional
- d) Habilidad para soportar terminales portátiles
- e) Soportar un rango de nuevos servicios y facilidades
- f) Eficiencia Espectral y
- g) Compatibilidad con la Red Digital de Servicios Integrados ISDN (*Integrated Service Data Network*).

La tecnología que fue elegida para alcanzar todos estos requerimientos fue TDMA. Los desarrolladores de GSM confiaron en las tecnologías de compresión y procesamiento de señales para alcanzar estos requerimientos y permitir la continuidad del sistema. El servicio comercial empezó a mitad de 1991.

Las redes GSM incluyendo DCS 1800 (*Digital Cell System*) y PCS 1900 son operados en 80 países alrededor del mundo. GSM es un estándar de señalización que ha sido adoptado para trabajar con diferentes frecuencias. Principalmente dos estándares los cuales son DCS 1800, el cual opera a 1800 MHz [ETS-300-927] y PCS 1900 [ETS-300-927], el cual opera en la banda de 1900 MHz.

A continuación se presenta la tabla 2.4 con las características de los estándares mencionados.

	GSM900	DCS 1800	PCS 1900
Implementado	En todo el mundo	En todo el mundo	Norte América
Asignación de Banda	25 MHz	75 MHz	75 MHz
Banda de Frecuencia	890 - 915 MHz 935 - 960 MHz	1710 - 1785 MHz 1805 - 1880 MHz	1850 - 1950 MHz

Tabla 2.4 Principales estándares en GSM.

GSM se diseña como un estándar pan-Europeo con espectro común, cada portadora es de 200 kHz; las transmisiones de voz y datos son encriptadas; consumo bajo de potencia que hace que la batería de los móviles tenga una mayor duración; compatibilidad con ISDN para servicios suplementarios; proporciona servicios de baja velocidad.

Las redes GSM operan con un ancho de banda de 25 MHz: que se divide en 125 canales (124 canales y uno de control), y cada canal tiene un ancho de banda de 200 kHz. Estos canales son divididos en ocho ranuras de tiempo, como se muestra en la figura 2.2; cada una de estas ranuras de tiempo representan un canal de voz. GSM transmite voz digitalizada en pequeñas ráfagas, cada ráfaga es de la longitud de la ranura de tiempo.

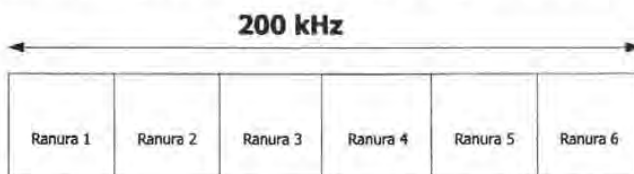


Figura 2. 2 Trama de canal en GSM.

El método usado para digitalización de la voz es llamado codificador lineal predecible, por excitación de pulso RPE-LPC. Esto se traduce en el sistema, utilizando la información de las muestras de voz anteriores para predecir la muestra actual. El resultado final proporciona una tasa de bit total de 13 kbps.

Con sus 200 kHz de ancho de banda y la implementación de saltos de frecuencia, puede decirse que GSM es un sistema de espectro esparcido [3]. Además de la reducción de efectos de interferencia, por salto de frecuencias de la pseudo-aleatoriedad, también se proporciona protección adicional contra los efectos de desvanecimiento de frecuencia selectiva. Al igual que CDMA, el intervalo de tiempo de símbolo en la interfaz de aire para GSM es mucho más pequeño que el tiempo de retardo del eco.

GSM resuelve el problema insertando una secuencia de entrenamiento, o un patrón a priori, en cada ráfaga TDMA. El receptor final entonces puede usar esa secuencia para correlacionar contra y estimar la respuesta impulso del canal. El conocimiento de la respuesta impulso entonces puede ser usado para intentar ecualizar el canal (filtrar) y eliminar los efectos de distorsión.

La figura 2.3 muestra la arquitectura genérica de una red GSM la cual se divide en tres componentes principales: la estación móvil MS (*Mobile Station*), la cual es la terminal utilizada por el suscriptor; el subsistema de estación base BSS (*Base Station Subsystem*) el cual controla el radio enlace con el MS, consiste de la BSC (*Base Station Controller*) y las BTS (*Base Transceiver Station*); y el subsistema de red NSS (*Network Switching Subsystem*), el cual realiza el control de conmutación de las llamadas entre la unidad móvil y los usuarios de red fija o de otras redes móviles, así como también administra la movilidad de la red.

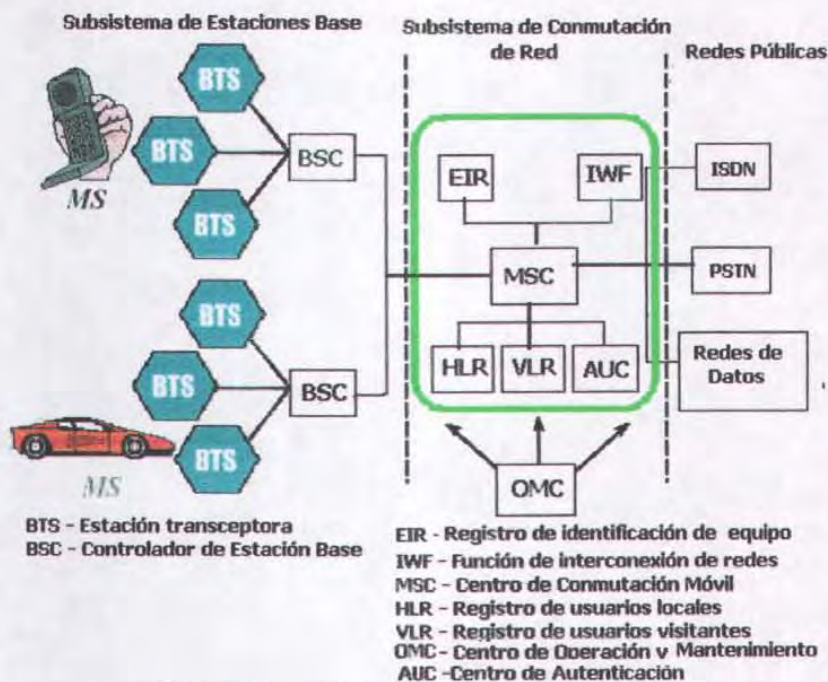


Figura 2.3 Arquitectura Genérica de una red GSM.

2.3.3 CDMA

Acceso Múltiple por División de Código es una técnica de acceso múltiple para aplicación en redes celulares. Originalmente fue desarrollada en la Segunda Guerra Mundial para las comunicaciones militares. Qualcomm, comercializó CDMA como la tecnología celular del futuro. A comienzos de los 1990's, Qualcomm, hizo CDMA disponible a la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones Celulares (CTIA) como un estándar alternativo para las comunicaciones digitales en Estados Unidos. La primera implementación comercial fue realizada en Hong Kong y Corea.

La especificación IS-95 permite al usuario un modo dual para operar en AMPS o en modo CDMA. Lo que permitió a los operadores en Estados Unidos una cierta flexibilidad para desarrollar este tipo de sistemas. Debido a que los usuarios de IS-95 A podían usar la misma asignación del espectro de AMPS, los operadores podían utilizar el espectro existente para implantar el servicio CDMA. IS-95 A usaba relativamente un ancho de banda mayor, de 1.2288⁷ MHz por canal de RF. Este canal es usado por una sola celda, con un patrón de re-uso de una celda a través del sistema celular.

⁷ 1.2288 es el ancho de banda mínimo necesario para mandar el canal CDMA.

En el enlace de subida, es decir del móvil a la estación base (forward link), la información del usuario en banda base a 9.6 kbps está cubierto por un código único para cada suscriptor y entonces es disperso por un código a tasa de ancho de banda de 1.2288 Mcps el cual es usado para identificación del equipo de la estación base. De esta manera existen 128 chips de banda ancha por cada bit en banda base

A diferencia de los sistemas TDMA, donde la capacidad es el número de canales FDMA multiplicados por el número de ranuras de tiempo, la capacidad de CDMA es función de la distribución de suscriptores en el sistema y de sus puntos de operación respectivos de recepción mediante la expresión (E_b/N_0).

El código de ruido pseudoaleatorio (PN) es el código común esparcido y utilizado por todas las estaciones base. Cada estación base es equipada con su propio índice de compensación de PN.

Las fases o el tiempo de comienzo de los códigos PN relativos al tiempo de GPS (*Global Position System*), son usadas para definir un índice en unidades de 64 chips. Así mientras los sistemas pueden remover el requerimiento de plan de frecuencias, necesitan realizar un plan de código.

En CDMA todos los canales de enlace de bajada (de la estación base al móvil) en las portadoras de RF de la estación base son matemáticamente ortogonales entre sí, esto se logra con la modulación de códigos de Walsh⁶ para cada canal. Así, el enlace de subida de CDMA puede ser aproximado como una sucesión de pasos de modulación y codificación.

En el enlace de subida, los Códigos Ortogonales de Walsh son usados en un esquema de modulación sextuagésima-cuarta. La información codificada en banda base es usada para seleccionar uno de los 64 códigos de Walsh. El resultado es una cadena de bits que entonces es cubierta por un código largo de la unidad móvil de suscriptor esparcida por un código (2^{15}) PN de cero "offset".

Debido a que el enlace de bajada no usa ningún canal piloto para la recuperación de fase, los 64 símbolos de Walsh son detectados en paralelo en el receptor final usando una matriz de transformada rápida Hadamard FHT (*Fast Hadamard Transformed*). La FHT produce una métrica de energía para los 64 símbolos posibles. El símbolo asociado con la métrica de más alta energía es declarado como el símbolo con las más alta probabilidad de ser transmitido[3].

En el capítulo 3 se hace un estudio más amplio del sistema junto con sus evoluciones para 3G y algunas aplicaciones.

⁶ Los códigos de Walsh son un conjunto de códigos que tienen la propiedad de tener un producto cruz igual a 0.

2.3.4 Limitaciones en las redes de 2ª Generación.

Ancho de Banda Limitado

Los sistemas de 2ª Generación típicamente soportan datos de **9.6 – 14.4 kbps**. La mayoría de las tecnologías usan canales de radio que estaban diseñados para soportar voz. Esto se traduce en tasas de datos a baja velocidad. IS-136 TDMA usa canales de 30 kHz para ser compartidos entre tres usuarios.

En GSM, un canal de 200 kHz es compartido por 8 usuarios. Estas opciones limitan las tasas de datos máximas soportadas en un solo canal. CDMA utiliza un canal de ancho de banda de 1.25 MHz y las opciones proporcionadas permite una tasa teórica de datos máxima de 115.2 kbps aunque 14.4 kbps es la tasa máxima soportada en la mayoría de las redes.

Capacidades limitadas de visitante o "roaming"

Las tecnologías de interfaz de aire en las redes de 2ª Generación no son compatibles unas con otras. Los móviles que son capaces de soportar múltiples tecnologías digitales son pocos (tales como teléfonos GSM e IS-36). Sin embargo, existen móviles que son capaces de tomar una tecnología digital y una análoga, estos son llamados teléfonos de modo dual. Estos son requeridos para proporcionar compatibilidad con los sistemas más antiguos de 1ª Generación.

Soporte Limitado para Paquetes de datos

Las comunicaciones de datos son típicamente intermitentes y de naturaleza de ráfagas. Si se utilizan circuitos conmutados para soportar los servicios de datos, esto resulta en un uso ineficiente de los recursos de radio y de la red. La conmutación de paquetes es necesaria para proporcionar un uso eficiente de los recursos para datos.

Servicios Multimedia no disponibles

Los servicios multimedia requieren flujos de información coincidentes para la entrega de paquetes de voz, video y datos. Los sistemas existentes no soportan los protocolos necesarios para los servicios multimedia. Para un soporte eficiente de servicios son necesarios los protocolos de reserva de recursos, ubicación de canales múltiple y control de mecanismos de calidad de servicio o (QoS).

2.3.5 Arquitectura Genérica de una Red de 2ª Generación

A continuación se describen los elementos de una red de 2ª Generación, mostrados en la figura 2.4.

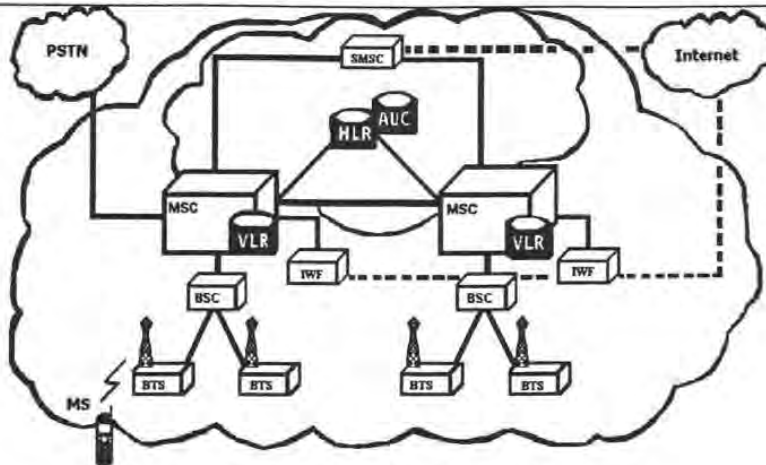


Figura 2.4 Red de 2ª Generación.

Estación Móvil o MS (Mobile Station)

La Estación Móvil o (MS) es un término genérico para el dispositivo final de usuario. Algunas son sencillas y proveen solo servicios de voz, otras como los teléfonos inteligentes, tienen programas de aplicaciones para ingreso a Internet. Una estación móvil puede soportar una conexión externa a una computadora, tal como una portátil o un asistente personal digital (PDA), para permitir el acceso a los servicios de datos de las redes inalámbricas.

Estación Base de Transmisión-Recepción BTS⁹ (Base Station Transceiver)

La estación móvil se comunica directamente con la estación base transceptora (BTS) a través de enlaces de radio. Esta BTS es la "parte inalámbrica" de la red. Cada una representa el área geográfica, conocida como área de cobertura o celda, la cual representa el "tamaño" de la celda. Esta relacionada con el equipo que existe en el sitio, este se encuentra en la base de la torre de la antena. Realiza la transmisión y la recepción de las señales de radio para comunicarse con los móviles.

Controlador de Estaciones Base o BSC (Base Station Controller)

Las BTS se conectan hacia el BSC o Controlador de Estaciones Base, a través de enlaces de microondas o a través de enlaces cableados (fibra óptica, enlaces dedicados). Estas conexiones se hacen con T1's o E1's y son comúnmente llamadas "*backhaul*". La BSC es un elemento de conmutación que proporciona la inteligencia relacionada a la señal de radio del sistema. Esto incluye el manejo de los recursos de radio, controla la asignación o liberación de los canales de tráfico en las BTS.

⁹ Existen varios términos para referirse a las BTS. Estación base, sitio de celda, celda o sector. Sin embargo existen algunas diferencias generalmente referidas a las áreas geográficas (la celda) o el equipo que sirve dentro de la celda.

Activa los rangos para el disparo de "hand offs" para asignación o liberación de recursos. Las BTS y la BSC combinadas proporcionan la funcionalidad de radio de las redes móviles inalámbricas.

Centro de Conmutación Móvil MSC (Mobile Switch Center)

El MSC es el concentrador central de la red inalámbrica. Coordina el establecimiento de llamadas. También puede coordinar otras actividades como los "hand offs". En esencia es el responsable de la funcionalidad de la red y de la conmutación del sistema inalámbrico. Establece las conexiones de voz y datos desde la red telefónica pública conmutada o PSTN. Por esto se le denomina "conmutador" o "switch".

Además, puede realizar otras tareas como la recolección de información de facturación y estadísticas de llamadas. También puede conectar múltiples BSC's y sirve como interfaz con muchos otros componentes externos para completar o establecer llamadas, registrar o realizar "handoffs".

Función de Interconexión de Redes IWF (Inter-Working Function)

IWF es un dispositivo que habilita las comunicaciones de la conmutación de circuitos de datos en las redes de 2da Generación. Es una puerta o "gateway" entre los mundos inalámbricos o de datos. Los suscriptores que requieren hacer una marcación a un conjunto de módems en la oficina o al proveedor de servicio de Internet necesitan tener un módem en el lado de su conexión. Ya que los canales digitales de radio no están diseñados para llevar tonos de módems; los módems para los usuarios están contenidos en el IWF. Cuando un suscriptor comienza una llamada de datos, un módem en el IWF es utilizado para la llamada y este módem marca hacia el destino deseado.

Registro de Ubicación de Origen HLR (Home Location Register)

El Registro de Ubicación de Origen HLR es una base de datos que contiene una copia maestra de los registros de los suscriptores. El HLR reside en el MSC. La información en el HLR incluye los privilegios de llamada, estado de la cuenta, y la ubicación actual de el suscriptor. El HLR da seguimiento al móvil a nivel del MSC. Un HLR contiene un registro para cada suscriptor que vive en su área de servicio, a pesar de su localización. Cada suscriptor tiene exactamente una entrada en cualquier HLR.

Registro de Ubicación de Visitantes VLR (Visitor Location Register)

El Registro de Ubicación de Visitantes VLR es una base de datos que contiene una copia de los registros de los suscriptores de todos los suscriptores activos en un área particular de cobertura. En cualquier momento dado un VLR puede contener muchos registros de los suscriptores y sólo algunos para los visitantes o "roamers" cuyo registro de origen esta en otra área y otros suscriptores no están en su área.

La copia del registro de suscriptores permite a las llamadas salientes sean autorizadas y procesadas sin la necesidad de interacción con el HLR (*Home Location Register*). El VLR es normalmente desarrollado en el mismo equipo como el MSC. El VLR hace un seguimiento del móvil a nivel celda (o entre un grupo de celdas).

Centro de Autenticación

La Autenticación es un conjunto de procedimientos utilizados para validar una estación móvil. Estos procedimientos protegen la red de un acceso no autorizado. El Centro de Autenticación (AC o AuC) es una base relativamente estática que contiene la información de autenticación de los usuarios. También realiza la autenticación de los algoritmos del móvil. Muchas veces, la funcionalidad del AC es implementada como parte del HLR.

Centro de Servicio de Mensajes Cortos (SMSC) Short Message Service Center

El Centro de Servicio de Mensajes Cortos (SMSC) es un centro de procesamiento que guarda y re-envía mensajes cortos del suscriptor. A través del Servicio de Mensajes Cortos (SMS) se puede enviar y recibir mensajes cortos. Es una interfaz del MSC y el HLR para entregar mensajes cortos.

2.3.6 Servicios de 2ª Generación

Servicios de Mensajes Cortos (SMS)

Es un servicio inalámbrico que permite la transmisión de mensajes alfanuméricos. Los mensajes viajan entre los suscriptores móviles y los sistemas externos tales como el sistemas de correo electrónico, sistemas de correo de voz y voceo (paging). El mensaje es enviado al SMSC. El cual está conectado a la red móvil. El SMSC trabaja junto con el HLR para entregar el mensaje al apropiado MSC, el cual entrega a la estación móvil del suscriptor.

Conmutación de circuitos para datos

Ésta usa la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN) para acceder a Internet, usando un acceso por marcación. Esta conmutación de circuitos para datos a menudo es referida como datos digitales asíncronos o "*AsynData*". Un suscriptor de servicios de "*AsynData*", conecta su computadora portátil a su teléfono y marca el número de acceso a su Proveedor de Servicio de Internet (ISP's). La red móvil de acceso inalámbrico establece los recursos apropiados tales como el canal de radio y el módem para la Función de *Internetworking* (IWF). Una vez que la conexión se establece hacia el ISP, el tráfico de datos fluye entre Internet y la computadora. Los servicios de conmutación de circuitos para datos típicamente tiene una tasa de datos de 9.6 kbps a 14.4 kbps.

2.4 Evolución hacia 3ª Generación

Existe la necesidad de superar los problemas y limitaciones de las redes de 2ª Generación, como solución a estos se pensó en 3G. El término Tercera Generación de Sistemas Móviles Inalámbricos o 3G se usa para definir una gama de sistemas y normas para la siguiente generación de sistemas móviles terrestres y satelitales. Estas normas son definidas por la ITU bajo las especificaciones IMT-2000. En el capítulo 4 se hace una referencia más profunda a este estándar.

La principal razón para los sistemas móviles de 3ª Generación viene del incremento en la demanda de servicios de datos a alta velocidad para acceso inalámbrico a Internet, también de servicios avanzados de voz, video y otros servicios multimedia. Otros factores como la convergencia entre las comunicaciones fijas, inalámbricas: terrestres y satelitales para proporcionar un conjunto de servicios uniformes conduce al desarrollo de sistemas 3G.

Algunos mercados piden por tasas de datos a alta velocidad, aunque los sistemas 3G están todavía en desarrollo. En otros mercados los proveedores de servicio no están seguros de la demanda para estas tasas y quizá no estén seguros en invertir para desarrollar todas las capacidades de una red 3G.

Para cubrir estas necesidades existen soluciones 2.5G disponibles. Estas proporcionan un soporte para paquetes de datos, tasas de velocidad media y bajo costo de evolución a partir de 2G, como una alternativa para saltar directamente a 3G.

Para GSM, las soluciones 2.5G incluyen el Servicio General de Paquetes por Radio (GPRS) y la Tecnología de Evolución Global para Manejo de Tasas de Datos (EDGE). Para CDMA la primera fase, llamada 1x o 1xRTT (Tecnología de Radio Transmisión), puede alcanzar una tasa máxima de 614.4 kbps más alta que GPRS/EDGE, pero no los 2Mbps requeridos para una verdadera Tecnología 3G.

Las tecnologías 3G pueden alcanzar estos requerimientos, que se desarrollará en dos fases la Fase I involucra operaciones de alta velocidad de paquetes de datos, soporta conmutación de circuitos para voz y datos. A través de una red de conmutación de circuitos. La Fase II: involucra puramente operaciones de IP, que llevan voz sobre IP. En la tabla 2.5 se muestra un resumen de estas fases de evolución de las redes 2G.

2.5 Generation	Tasa de Datos a velocidad media. Conmutación de paquetes de datos
3ª Generación Fase I	Tasa de Datos a alta velocidad. Conmutación de paquetes de datos. Voz a través de circuitos conmutados.
3ª Generación Fase II	Tasa de Datos a alta velocidad. Conmutación de paquetes de datos

Tabla 2.5 Migración de 3ª Generación Fases I y II.

Podemos observar la figura 2.5 la arquitectura de redes 2.5. Estas son similares en arquitectura a 2G. Los mayores cambios involucran nueva terminología y componentes para soportar conmutación de paquetes para datos. La idea clave de esta arquitectura es la estricta separación entre el acceso por radio y los servicios de red. Sin embargo, debido a la compatibilidad con las redes 2G, esta separación no es estricta.

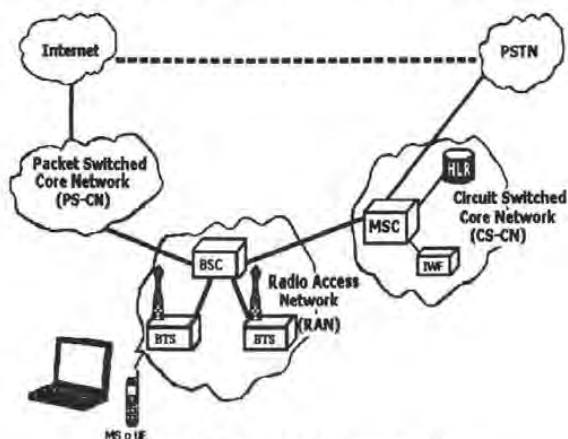


Figura 2.5 Red de 2.5 Generación.

El equipo de usuario (UE) corresponde a la estación móvil (MS) en la arquitectura 2G. Ésta es la terminal de usuario. Proporciona acceso a la red inalámbrica; aplicaciones de usuario e interfaces apropiadas para usuario (tales como aplicaciones de voz y claves de marcación, fax, y acceso a Internet, etc.); la interfaz para conectar otras terminales para el UE/MS. Puede proporcionar una interfaz para conectar la computadora portátil para permitir acceso a Internet.

La red de acceso por radio (RAN) es la red de componentes que proporcionan el acceso a los UE/MS. En 2G, esto corresponde a la BSC y BTS. El RAN brinda acceso por radio, canales a los UE; permite a los usuarios moverse por ejemplo realizar handoffs y handover; autentica y proporciona seguridad junto con el núcleo de la red; calidad de Servicio (QoS) sobre los radio-canales. Otras funciones de radio como control de potencia, manejo de recursos de radio y otros.

El núcleo de red (CN) es la red de componentes que proporcionan acceso a los usuarios, así como servicios como correo de voz, Internet, y facturación. Existen dos tipos de núcleos de red: el núcleo de red de circuitos conmutados (CS-CN) que proporciona servicios de circuitos e interconecta con otras redes tal como la PSTN. Y el núcleo de red de paquetes conmutados (PS-CN) proporciona servicios a través tecnologías de conmutación de paquetes e interconecta con otras redes de conmutación de circuitos tales como Internet.

En 2G, las normas IS-95 se refieren a las siguientes revisiones: IS-95-A, IS95-B y J-STD-008, el cual soporta servicios de voz y servicios de circuitos para datos.

La evolución CDMA2000 está diseñada para permitir una actualización gradual de los sistemas IS-95. El primer paso en la evolución es el sistema 1xRTT. Tal como los sistemas IS-95, 1xRTT utiliza un canal de 1.25MHz. De esta forma 1xRTT e IS-95 puedan ser ofrecidos en el mismo espectro.

1xRTT ofrece tasas del orden de 600 kbps e incrementa la capacidad de voz y proporciona soporte para servicios de paquetes de datos. Esto es requerido para soportar un gran número de usuarios de datos. Aunque 1xRTT está diseñado para proporcionar 600 kbps, las tasas de datos típicas están en el rango de 80 kbps a 100 kbps. Los proveedores de servicios pueden habilitar sistemas IS-95 a 1xRTT con un mínimo de equipo (hardware) y actualización de programas (software).

Después de 1xRTT, los operadores de servicios pueden ir hacia sistemas 3xRTT o 1xEV-DO. Cada uno de estos sistemas ofrece tasas de datos mayores de 2Mbps. El desarrollo de estos sistemas dependerá de la demanda de servicios que requieren tasas altas de datos, tales como video de alta calidad y video conferencia. Los sistemas 3xRTT pueden ofrecer ambos servicios de voz y datos en tres canales de 1.25 MHz. Los sistemas 1xEV-DO requieren un canal de 1.25 MHz y soportan servicios de paquetes solamente.

El sistema 1xEV-DO es la solución espectralmente más eficiente para los servicios de paquetes de datos. Los sistemas 1xRTT y 1xEV-DO operan de forma separada en ancho de banda de 1.25 MHz.

Como la industria ha adoptado CDMA200, la tendencia general es hacia 1xEV-DO, mientras que 3xRTT está siendo demorada. La solución 1xEV tiene 2 trayectorias: 1xEV-DO o solamente datos (no soporta servicios de voz), y 1xEV-DV o "datos-voz" (soporta ambos servicios). Las capacidades de las diferentes opciones de CDMA2000 son mostradas en la tabla 2.6. IS-95 se incluye para su comparación, en la tabla se muestra la máxima tasa de datos que la tecnología proporciona. En la práctica, las redes ofrecerán menos velocidad.

Tecnología	Tasa de Datos Máxima	Tasa de Datos Práctica	Ancho de Banda Espectral	Servicios
IS-95 A/B	115.2 kbps	14.4 –64 kbps	1.25 MHz	Servicios de voz y datos sobre circuitos conmutados
1xRTT	614.4 kbps	80 - 100 kbps	1.25 MHz	Voz, datos en circuitos conmutados y conmutación de paquetes para datos.
3xRTT	2 Mbps	Información no disponible	3.75 MHz	Voz, circuitos conmutados, conmutación de paquetes para datos y servicios de multimedia.
1xEV-DO	2.48 Mbps	600kbps–1 Mbps	1.25 MHz	Servicios de paquetes de datos y multimedia.

Tabla 2.6 Comparación de las nuevas tecnologías para 3G.

Otra tecnología de 3G es Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal, más comúnmente referido como UMTS.

A diferencia de otras tecnologías, uno de los objetivos de UMTS es extender la capacidad a los móviles actuales, a las tecnologías inalámbricas y satelitales. Estos proveerán de capacidad de datos y un amplio rango de servicios. UMTS ofrece servicios de datos e información avanzados. Un escenario para la evolución es mostrado en la figura 2.6.

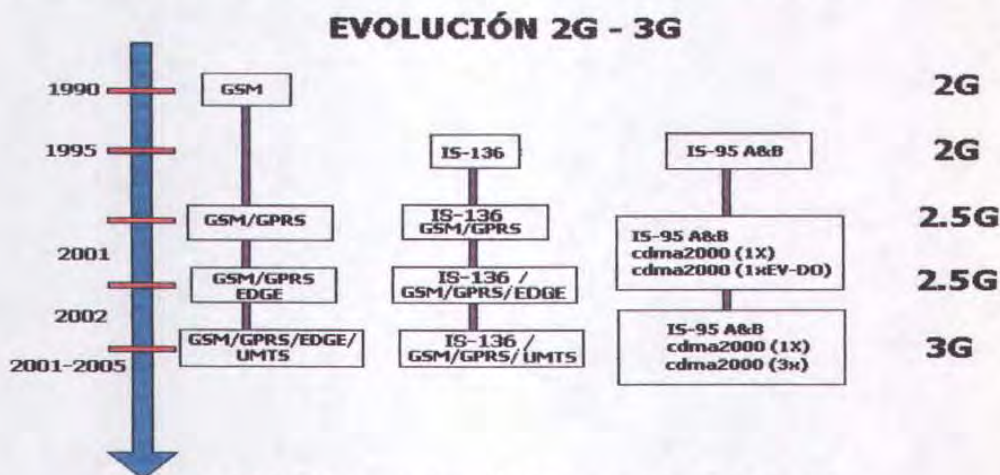


Figura 2.6 Posibles evoluciones de sistemas celulares de 2G a 3G.

UMTS se considera la tecnología que dominará las redes de 3G. Los operadores de redes, GSM e IS-136 TDMA, esperan evolucionarlas hacia redes de tipo UMTS.

Sin embargo, existe un paso intermedio en las redes de 2.5 G. Los operadores GSM agregarán GPRS a sus redes proporcionando servicios de datos.

La solución GPRS/EDGE (el rango 100 - 150 kbps) no puede proporcionar tasas arriba de 384 kbps. Si los servicios ofrecidos requieren tasas más allá de 384 kbps, UMTS¹⁰ es la solución. UMTS y GSM/GPRS/EDGE usan el mismo núcleo de red.

Un gran número de operadores de TDMA ha considerado algunas variaciones de la trayectoria de evolución. Esencialmente, la evolución de las redes IS-136 tomando una evolución por separado implementando primero GSM/GPRS y eventualmente redes UMTS.

Las capacidades y las tasas de datos soportadas por GPRS/EDGE son mostradas en la tabla 2.7. Las tasas que las tecnologías proporcionan son diferentes en las redes en operación.

¹⁰ UMTS es comúnmente referido como W-CDMA (CDMA de banda ancha Wideband CDMA). Sobre el aire, se usa una tecnología CDMA sobre un radio canal de banda ancha de 5MHz, lo cual es diferente de CDMA2000 que usa canales de 1.25 MHz.

Tecnología	Tasa de Datos Máxima	Tasa de Datos Práctica	Ancho de Banda Espectral	Servicios
GSM	57.6 kbps	9.6 – 14.4 kbps	200 kHz	Servicios de voz y datos sobre circuitos conmutados
IS-136	14.4 kbps	19 kbps con tecnología CDPD	30 kHz	Servicios de voz y datos sobre circuitos conmutados.
GPRS	171.6 kbps	10 – 56 kbps	200 kHz	Voz, datos en circuitos conmutados y conmutación de paquetes para datos
EDGE	473.6 kbps	45 – 90 kbps	200 kHz	Servicios de Paquetes de datos
UMTS	2 Mbps	100 – 200 kbps	5 MHz	Voz, circuitos conmutados, conmutación de paquetes para datos y servicios de multimedia.

Tabla 2.7 Comparación entre datos teóricos y prácticos.

2.5 Sistemas celulares de 3ª Generación

Las limitaciones de los sistemas 2G fueron los factores que proporcionaron el estímulo para crear los requerimientos y características de los sistemas 3G.

Las aplicaciones futuras demandan diferentes tipos de tasas de datos, muchas de estas necesitan más de 64 kbps, además de soporte para voz. Al igual que las redes cableadas, las redes inalámbricas móviles necesitan proporcionar una conexión permanente. Así el usuario puede enviar y recibir información en cualquier momento, sin necesidad de volver a establecer conexiones con el servicio que está utilizando.

Otra característica clave de 3G es la habilidad de bajar video bajo demanda, y sostener una llamada de voz, es decir tienen la habilidad de manejar servicios múltiples simultáneamente.

Estas características, además de datos asimétricos, ancho de banda en demanda y conexión permanente necesitan ser manejadas eficientemente en los sistemas 3G.

En las redes 3G la separación entre redes de radio y de núcleo desaparecen. Esto permite la evolución independiente de las redes de radio y núcleo y desarrolla las últimas tecnologías disponibles. Una interfaz común entre las redes de radio y de núcleo ayudan a crear un lenguaje universal para diferentes redes para comunicarse unos con otros y facilitar la interoperabilidad del sistema.

2.5.1 CDMA2000

Inicialmente se observa como CDMA2000, GPRS/EDGE y UMTS pueden encajar en una arquitectura genérica.

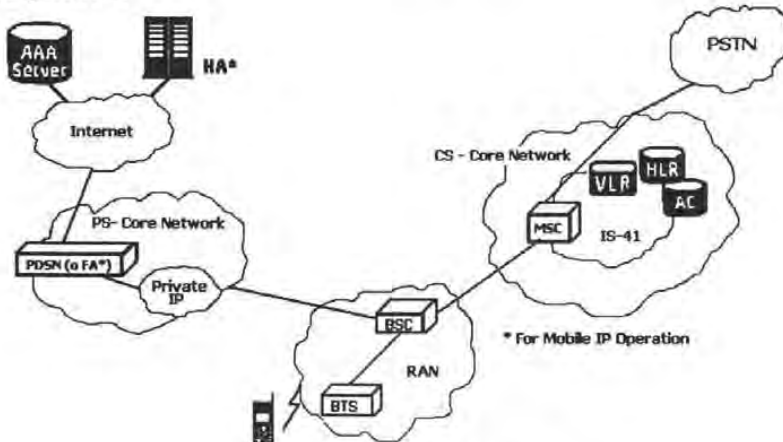


Figura 2.7 Red CDMA2000.

En la figura 2.7 se muestra la arquitectura para los sistemas CDMA2000. La BSC o controlador de estaciones base y las estaciones base BTS proveen la función de RAN. El Centro de Conmutación Móvil (MSC), el Registro de Visitantes (VLR), el Registro de usuarios (HLR) y el centro de autenticación (AC) provee la función CS-CN del modelo funcional. Sus nombres son idénticos a sus contrapartes en 2G y sus funciones son virtualmente las mismas.

La parte de red PS-CN CDMA2000 proporciona conectividad a Internet. Es el nuevo componente de la arquitectura que agrega la dimensión de conmutación por paquetes por el lado de la red. El Nodo de Servicio de Paquetes (PDSN) es el elemento primario del PS-CN que proporciona la interfaz y dirige los paquetes por las rutas de Internet hacia la RAN y viceversa. Puede utilizar el protocolo IP móvil para proporcionar dentro del núcleo de red móvil para los servicios de paquetes de datos. Las entidades de IP móvil tales como el Agente de Origen (HA) y el Agente Externo (FA) se incluyen también en el PS-CN. El servidor AAA proporciona Autenticación, Autorización y Funciones de Cuentas para el PS-CN.

La arquitectura de circuitos conmutados en CDMA2000 es la misma que en IS-95. Los mismos componentes de la arquitectura se utilizan para las llamadas de circuitos conmutados de datos. El MSC proporciona conectividad hacia las redes de circuitos conmutados tal como la PSTN. El MSC envía el tráfico del usuario hacia el IWF y este usa un módem para está llamada, igual que un módem de conexión por marcación en casa. Así un circuito de llamada de datos es igual a una conexión por marcación hacia Internet.

Las redes CDMA2000 soportan dos opciones de IP movilidad para un paquete de datos:

- 1) IP Sencilla
- 2) IP Móvil

Cuando el móvil se mueve de un PDSN a otro PDSN, las conexiones de la aplicación o servicio existente se pierden y el usuario tiene que reestablecer esas conexiones. Por ejemplo, si el usuario está en la mitad de la descarga de una página web, tendrá que volver a bajar la página. La IP móvil permite movimiento de un área de cobertura PDSN a otra sin reestablecer la sesión de paquetes de datos. El Agente Origen (HA) y el Agente Externo (FA) habilitan esta funcionalidad. Las normas para IP móvil del IETF son utilizadas para proporcionar movilidad de sesión para los paquetes de datos.

2.5.2 GPRS-EDGE

La arquitectura GPRS, es la solución 2.5G que provee un servicio de paquetes de datos a velocidad media para redes inalámbrica móviles. Se muestra en la figura 2.8.

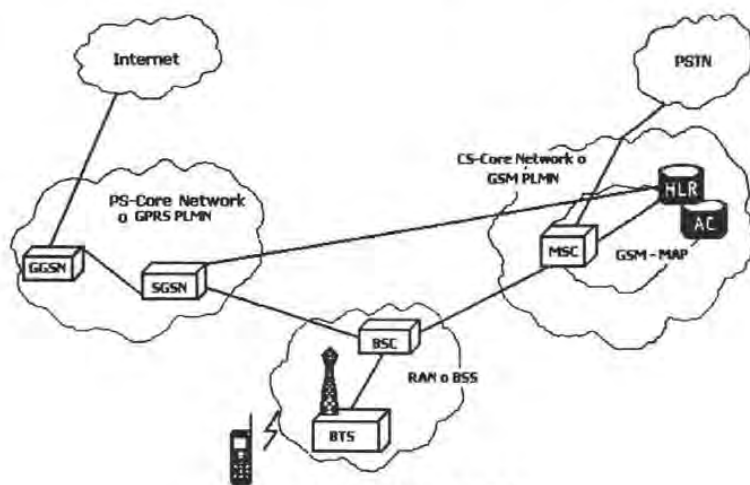


Figura 2.8 Red GPRS-EDGE.

EDGE o Evolución Global de Manejo de Tasas de datos también coexiste en GPRS ya que sólo maneja la tecnología de transmisión de radio. CS-CN es nombrada GSM-PLM o Red Pública Terrestre-Móvil GSM, y el PS-CN es el "GPRS PLM". El Término PLM (Public Land Movil) se refiere a las redes del proveedor de servicio.

Ambas redes GPRS y EDGE utilizan versiones modificadas de las normas de los sistemas de 2ª Generación de GSM de los Subsistemas de Base de Datos (BSS).

El BSS (consiste de la BSC y BTS) puede pensarse como "RAN" de la arquitectura. La capacidad GPRS puede adicionarse a un BSS de 2G con sólo un cambio de programas "software" en la BTS y en el BSC y mínimos cambios de equipo o "hardware" en el BSC. Un soporte para EDGE requiere más cambios debido a los nuevos esquemas de modulación.

Una adición en la BSS es que tiene interfaz con un nodo de red, el nodo de Soporte de Servicio GRPS o SGSN. El SGSN es un nodo nuevo en la red introducido en el GPRS PLMN (GPRS Public Land Movil Network) para soportar GPRS.

El SGSN Provee un punto de adición para los móviles GPRS. Las estaciones móviles acceden a la red GPRS a través de la SGSN. Un enlace lógico se establece entre la SGSN (vía la BSC) y el MS una vez que la estación móvil MS se conecta al sistema. Es responsable de transportar y entregar los paquetes de la estación móvil MS. Para realizar esta función debe hacer un seguimiento de la ubicación actual de cada estación móvil que se conecta al sistema. Este concepto es análogo al VLR. Varias BSS pueden ser conectadas al SGSN para proporcionar servicios de paquetes.

La puerta o "*gateway*" del nodo de soporte de GPRS o GGSN, se encuentra en el GPRS PLM, sirve entre GPRS PLMN y la IP o Redes de Paquetes de X.25 (PDN) para soportar los servicios. Asigna la ruta de datos desde la red de paquetes de datos hacia el MS y viceversa.

Pueden existir varios GGSNs y SGSNs con el PLMN. Un GGSN se puede conectar a varias redes externas de paquetes de datos. La interconexión entre el GGSN y el SGSN es un "*backbone*" GPRS basado en IP. Cuando se requiere el GGSN puede hacer interfaz con el HLR para obtener la información de ubicación del móvil.

La funcionalidad de SGSN y GGSN es posible proporcionarlas en un solo nodo físico. Para habilitar la entrega del tráfico de paquetes en el móvil, algunos parámetros se establecen entre el móvil, el SGSN y el GGSN. Una vez que estos parámetros son establecidos, los paquetes fluyen desde la estación móvil hacia la BSC, se envían primero sobre la interfaz de aire y la BSC envía estos, junto con los paquetes de tráfico hacia el SGSN.

El SGSN utiliza la tabla de asignación de rutas para reconocer cual GGSN debe llevar los paquetes. Este empaqueta la información y agrega un encabezado y los envía hacia el GGSN. Cuando el GGSN los recibe, éste los desempaqueta y los envía hacia Internet. Los paquetes son entonces enviados hacia su destino como cualquier otro paquete IP. El hecho de ser originado en una red inalámbrica es transparente a Internet.

El servidor dirige el paquete hacia el móvil utilizando direcciones IP móviles. Éstas pueden ser asignadas dinámicamente y el servidor debe conocer la dirección antes de enviar el paquete. El paquete es asignado en una ruta desde el servidor hasta el GGSN basado en la dirección destino de las Direcciones IP en el paquete.

El GGSN es la entidad que contiene el conjunto de direcciones IP y todos los paquetes destinados a esas direcciones son dirigidos hacia el GGSN. Cuando el GGSN recibe los paquetes, consulta su tabla de asignación de rutas y se da cuenta de que móvil está utilizando la dirección IP que esta siendo atendida en ese momento por un particular SGSN. El SGSN da seguimiento a todos los móviles en su área de cobertura y conoce donde se localiza la estación móvil (por ejemplo, entre la celda o el grupo de celdas). Entonces envía el paquete hacia el móvil a través de la BSS.

Cuando un móvil se mueve a otra celda que esta servida por un mismo SGSN, el enlace lógico se mantiene. Cuando el móvil se mueve a una nueva celda con un diferente SGSN, se debe establecer un nuevo enlace. Los paquetes son guardados en el viejo SGSN y enviados hacia el nuevo SGSN y el GGSN.

2.5.3 UMTS

La diferencia clave es la red de acceso de radio o RAN. La RAN para UMTS es llamada UTRAN o Red de Acceso de Radio Terrestre para UMTS. Consiste de dos nuevos componentes, el "Nodo B" (análogo a la BTS) y el "RNC" o Controlador de la Red de Radio (análogo a la BSC). Aunque la UTRAN es similar a la RAN de 2G, sus funciones son diferentes, ya que esta es capaz de manejar servicios de conmutación de circuitos y de paquetes.

El CS-CN (*circuit-switched core network*) o núcleo de la red de circuitos conmutados es soportado por una GSM PLMN evolucionado. Esto es virtualmente idéntico al CS-CN de las redes GPRS, excepto por la adición a la interfaz hacia la nueva UTRAN. El PS-CN (*packet-switched core network*) o núcleo de red de paquetes conmutados es soportada por un SGSN evolucionados de la arquitectura del GPRS (3G SGSN).

Al igual que en GPRS, el HLR es compartido entre el CS-CN y el PS-CN. El HLR mantiene una base común de suscriptores para ambos dominios. Y también mantiene información separada para ambos dominios.

Hay que considerar que la figura 2.9 muestra una arquitectura UMTS Fase I, donde están separadas las redes de paquetes de datos y de redes de núcleo de circuito. En la Fase II, redes IP-Total, las funciones de conmutación de circuitos para voz estarán reemplazadas por soluciones IP tal como SIP, o Protocolo de Iniciación de Sesión.

La entrega de tráfico en la arquitectura UMTS sobre la PS-CN es similar a los escenarios de entrega de GPRS. La red de radio UTRAN es simplemente un punto de acceso y provee accesos para ambos servicios (circuitos y paquetes). El servicio en estas redes puede ser parte de la red o puede ser proporcionado por una Red de servicios Independientes (SN). Un ejemplo, es el comercio electrónico o funciones de correo electrónico.

En la figura 2.9 podemos ver que el usuario tiene comunicaciones simultáneas con los núcleos de redes de conmutación y de paquetes.

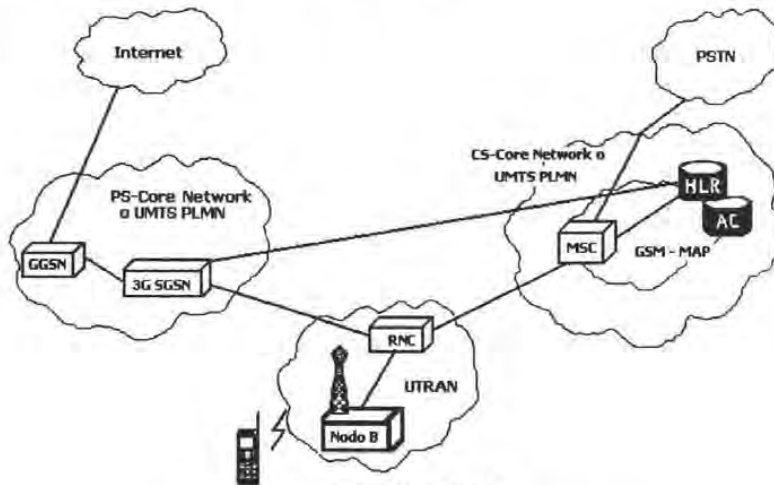


Figura 2.9 Red UMTS.

En redes CDMA2000, la información de servicios móviles inalámbricos se mantiene en el HLR, mientras la información de cuentas de Internet se mantiene en el servidor AAA. En redes GPRS y UMTS toda la información se almacena en el HLR. Sin embargo, a pesar del lugar donde se almacena la información los usuarios son capaces de acceder a su cuenta de Internet de cualquier parte.

2.5.4 WiMAX y el estándar IEEE 802.16

El término WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es sinónimo de la interfaz de aire de el IEEE 802.16 Red de Área Metropolitana Inalámbrica (WMAN). En su estándar original de 802.16, las aplicaciones consideradas en las bandas permitidas en los rangos de frecuencia de 10 a 66 GHz.

En las siguientes enmiendas se ha extendido para cubrir aplicaciones, permitidas y no permitidas en el rango de frecuencia de 11 GHz, que no están en línea de vista NLOS (*non-line of sight*).

WiMAX llena el vacío entre las redes de acceso local LAN's inalámbricas y las redes de acceso de área amplia al proporcionar una alternativa costo-efectiva de acceso inalámbrico fijo al convencional DSL de línea fija y esta tecnología puede proporcionar una solución de acceso con servicios banda ancha en donde no llegan el DSL y el cable.

La evolución de IEEE 806.16 se extenderá a los estándares incluyendo las aplicaciones móviles al habilitar el acceso de banda ancha directamente a los dispositivos WI-MAX desde teléfonos inteligentes y asistentes digitales personales (PDAs) a las computadoras portátiles. La Red de Acceso Metropolitano Inalámbrica que se basa en el estándar WiMAX, se configura como una red celular tradicional con estaciones base localizadas estratégicamente utilizando una arquitectura punto-multipunto para entregar servicios sobre un radio de varios kilómetros dependiendo de la frecuencia, transmitiendo la potencia de la señal y recibiendo la sensibilidad.

En áreas donde exista alta densidad de población el rango de capacidad será limitado antes que el rango de limitación debido a la cantidad de espectro. El rango y la capacidad NLOS hacen de esta tecnología igualmente atractiva y costo-atractiva en muchos tipos de escenarios.

Esta tecnología fue originalmente diseñada como un medio para proporcionar el acceso inalámbrico para la "última milla" en las redes de área metropolitana con el desempeño y servicios comparables o mejores que el tradicional DSL o el cable o líneas dedicadas T1/E1. La arquitectura se muestra en la figura 2.10

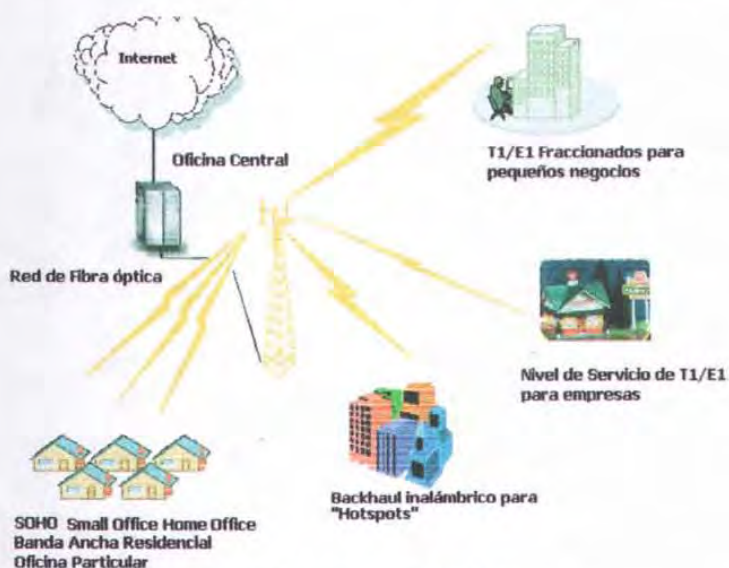


Figura 2.10 Arquitectura WiMAX.

Capítulo 3

La Tecnología Celular CDMA.

3.1 Antecedentes históricos

El acceso múltiple por división de código CDMA es una forma de las comunicaciones de espectro esparcido¹¹. La tecnología de espectro esparcido se remonta a los años 1940's. Las primeras aplicaciones de esta tecnología fueron hechas en los sistemas militares de comunicaciones donde se probó inmunidad de interferencias con otras señales. Este fue un principio importante en la milicia, ya que las señales crean interferencia deliberadamente para interferir las comunicaciones de los enemigos.

Durante los años 1970 y 1980's creció el interés en las aplicaciones comerciales para comunicaciones de espectro esparcido. En los Estados Unidos, la Comisión Federal de Comunicaciones FCC estimuló el desarrollo de productos, al aprobar las transmisiones de espectro esparcido en bandas que no tenían licencia.

Esta política llevó al desarrollo de varias redes locales inalámbricas y redes telefónicas inalámbricas de espectro esparcido. Desde 1980 Qualcomm ha operado sistemas satelitales de comunicación de espectro esparcido para manejo de flotas de vehículos comerciales, denominado OMNITRACS. Utilizando este sistema cada vehículo reporta periódicamente su localización a una central. El gerente de la flota puede intercambiar mensajes de texto con los conductores.

Una de las primeras propuestas para la aplicación de espectro esparcido a los sistemas celulares apareció a finales de los 1970's. En respuesta ante una demanda mundial acelerada de las comunicaciones móviles y personales portátiles, la tecnología digital de espectro esparcido alcanzó una mejor eficiencia de ancho de banda para la asignación en espectro de comunicaciones inalámbricas, y sirve a una gran población brindando acceso a múltiples usuarios mucho más que la tecnología análoga o digital [9]. Estas propuestas estimularon el trabajo teórico, el cual reveló algunas fortalezas y debilidades de este tipo de acceso en las aplicaciones celulares.

Sin embargo, no hubo desarrollos prácticos hasta finales de los 1980's y principios de los 1990's, cuando Qualcomm propuso un sistema CDMA y demostró en Pacific Telesis, con un terminal prototipo y una estación base que operaba en la banda de frecuencia de 800 MHz para AMPS (*Analog Mobile Phone System*).

¹¹ En el Apéndice B se amplía la información de este tipo de sistemas.

Qualcomm continuó trabajando para mejorar este sistema y demostrar con equipo experimental en una gran variedad de escenarios. Esto llevó, en Julio de 1993 a la adopción del sistema de Qualcomm como Norma Interina 95, por la Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones TIA (*Telecommunication Industry Association*) que actualmente se conoce como el estándar IS-95.

Al igual que NA-TDMA (*North American-Time Division Multiple Access*), la meta más importante de diseño es la alta eficiencia en el espectro. Las primeras proyecciones de Qualcomm sugerían que CDMA podía producir un mejoramiento 20:1 en la capacidad relativa a AMPS. Estas proyecciones fueron basadas en condiciones ideales.

CDMA es la principal tecnología de re-uso de frecuencia debido al hecho de que todos los usuarios, los que se comunican entre un vecindario, un área metropolitana, ocupan una misma asignación de frecuencia en el espectro. Además de incrementar la eficiencia en el uso del espectro, también elimina la tarea de planear para diferente asignación de frecuencias para usuarios vecinos o celdas.

Una variedad de otros cálculos toma en cuenta las limitaciones de los ambientes prácticos, sugieren incrementos de capacidad del orden 5:1 o 10:1 con respecto a AMPS. Basados en estas estimaciones, así como en consideraciones económicas y operacionales, varias empresas operadoras estadounidenses adoptaron CDMA para un modo dual de operación. Algunos de estos sistemas empezaron su operación comercial en 1996. Así en 1997 había dos diferentes sistemas digitales de modo dual en operación en los Estados Unidos, con la industria dividida entre sistemas CDMA basados en IS-95 y NA-TDMA.

Los sistemas celulares CDMA existen también en Hong Kong y Corea del Sur. Aunque también han sido adoptados por varias compañías por servicios telefónicos móviles en la banda de 1900 PCS. Aunque IS-95 y NA-TDMA consideran el objetivo de alta capacidad. Ellos adoptan la misma aproximación para las metas de privacidad y seguridad en la red. Así IS-95 incorpora un sistema de autenticación criptográfico.

3.2 CDMA IS-95

El acceso múltiple por división de código es una técnica para aplicaciones en las redes celulares. Teóricamente, CDMA ofrece ventajas significativas sobre las tecnologías análogas y digitales. Mientras FDMA y TDMA utilizan barreras tales como la frecuencia y el tiempo para separar usuarios, CDMA combina varios usuarios en el mismo canal en un solo tiempo.

Tradicionalmente los sistemas FDMA dividen el ancho de banda en pequeños canales de 30 kHz cada uno, con un usuario asignado en cada canal. Este método presenta limitaciones obvias debido a que solamente puede ser dividido un número límite de veces.

Similarmente, TDMA divide el ancho de banda en canales de 30 kHz, pero con un paso que además divide cada canal en seis ranuras de tiempo. A cada usuario es asignado a dos ranuras de tiempo en las cuales puede transmitir sus señales. Este método ofrece un incremento triplicado en capacidad sobre los sistemas FDMA pero aún con límites en la capacidad.

CDMA es visto como una evolución natural, futura y como solución a los problemas de frecuencia. Los sistemas CDMA permiten a todas las señales (canales de código) combinarse e interferir (de manera controlada) una con otra en el mismo canal CDMA. La clave para obtener estas transmisiones es la codificación de señales. Cada canal codificado esta codificado de manera tal que posea un cierto código de transmisión (firma) que puede sobrevivir cuando las transmisiones son mezcladas. El código de transmisión puede ser reconocido por el receptor y el mensaje puede ser descifrado.

Los sistemas CDMA dividen el espectro en canales de 1.25 MHz o portadoras, cada una soporta estos múltiples códigos de canal, los cuales comparten simultáneamente el ancho de banda de 1.25 MHz. El canal CDMA es un canal duplex hecho de dos bandas anchas de 1.25 MHz de espectro Electromagnético, uno llamado canal de envío (de la estación base al móvil) y el otro canal de reversa (de la estación móvil a la estación base). En los sistemas de 800 MHz estos canales están separados por bandas de guarda de 45 MHz y en los sistemas PCS están separados por bandas de guarda de 80 MHz.

Como se muestra en la figura 3.1

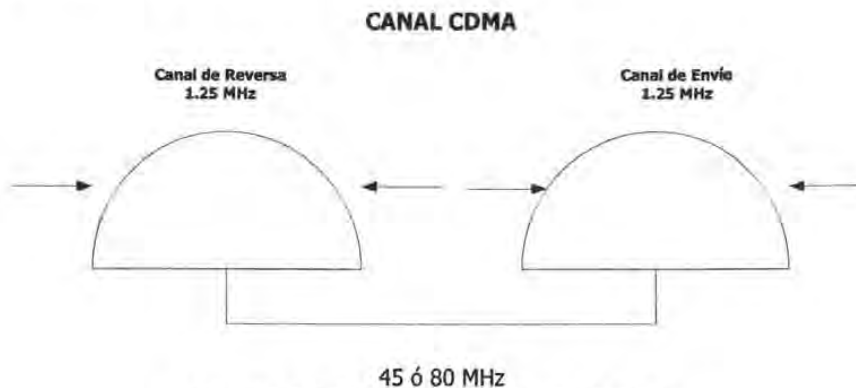


Figura 3.1 Canal de CDMA y bandas de guarda.

Un canal de código CDMA es una cadena individual de unos y ceros contenidos en cada canal de CDMA sea de envío o de reversa. Cada código está caracterizado por un código matemático. Los canales de código en el enlace de envío son: piloto, sincronía, voiceo y de tráfico. Los canales de código en el enlace de reversa son: canales de acceso y de tráfico de reversa.

El código de transmisión es único para cada usuario, permitiendo que cada llamada sea distinguida de las demás llamadas que son simultáneamente transmitidas y dispersas sobre el mismo espectro. En la figura 3.2. se muestra un ejemplo de canal de envío, se pueden observar los códigos de "Walsh" y secuencias de pseudo ruido PN (*pseudo noise*).

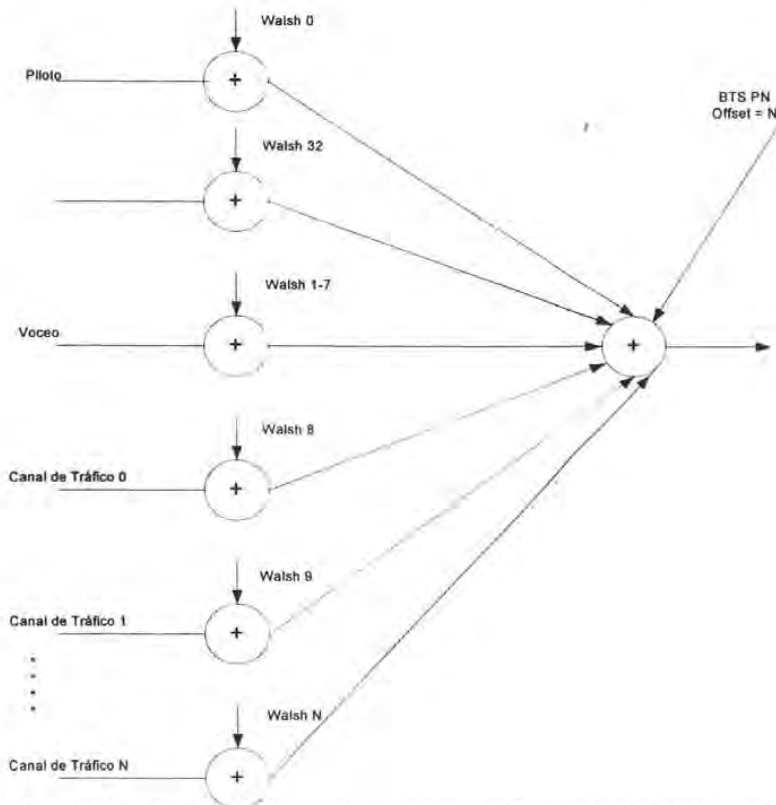


Figura 3.2. Representación de los canales y códigos en el canal de envío.

CDMA es implementado utilizando modulación de espectro esparcido, en el cual la señal es deliberadamente esparcida sobre un ancho de banda mucho mayor al requerido.

Las dos formas más comunes de división de código son por espectro esparcido son: por salto de frecuencia FS-SS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) y espectro esparcido por secuencia directa DS-SS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) en el Apéndice B se hace una referencia a ambas técnicas.

La técnica DS-SS no modifica la información transmitida; únicamente representa la información en una forma diferente.

Una señal de datos es deliberadamente "esparcida" sobre un ancho de banda más grande que el ancho de banda mínimo requerido como se muestra en la figura 3.3. Para decodificar esta señal, la secuencia correcta (secuencia PN y código de Walsh) en el cual la señal fue esparcida debe utilizarse una máscara para recibir la información.

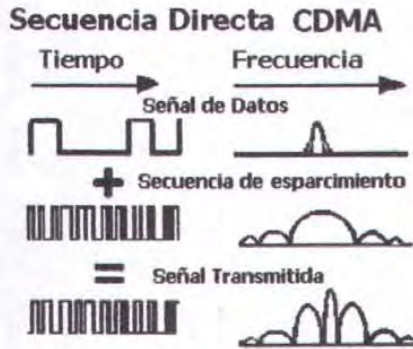


Figura 3.3 Esparcimiento de la Señal de Secuencia Directa.

A cada usuario se le asigna un código único (señal de esparcimiento), el cual actúa como una portadora. Antes de que cada señal de datos sea transmitida, se adiciona a la señal de esparcimiento. El resultado es una señal de transmisión que no se reensambla de la señal original en ninguna forma. Por lo tanto, la única manera para descifrar la señal es conocer el código único (la señal de esparcimiento).

Otro beneficio de la técnica DS-SS es que el nivel de potencia requerido para una comunicación exitosa es significativamente menor que otros sistemas tales como FDMA o TDMA. La única diferencia entre una señal esparcida y una señal no esparcida es que ocupan diferentes cantidades de espectro.

En las tecnologías AMPS (FDMA) y TDMA, el espectro es dividido por tiempo y frecuencia, resultando capacidades de limitación finita. Como se muestra en la figura 3.4.

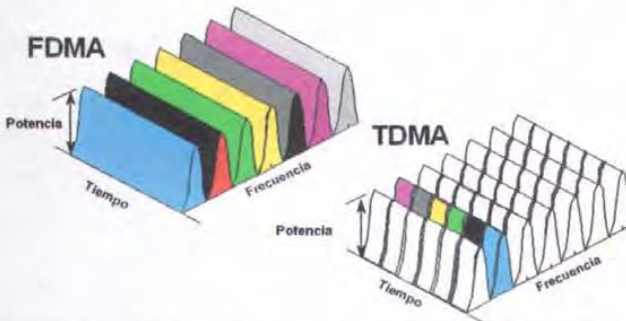


Figura 3.4 División del Espectro en sistemas AMPS y TDMA.

Por otro lado, CDMA proporciona una limitación de capacidad "suave" al permitir a los usuarios compartir recursos en tiempo y frecuencia. Con el mismo espectro ocupado por todos los usuarios, y como única diferencia entre estos: el uso de un código digital.

Esto se muestra en la figura 3.5. Debido a que la calidad de señal es inversamente proporcional al número de usuarios, la capacidad del sistema es finalmente decidida por la interferencia y por los parámetros del usuario tales como el control de potencia manejado.

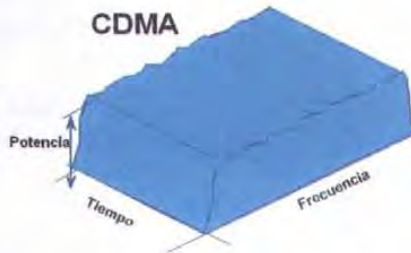


Figura 3.5 El espectro de CDMA y sus referencias en tiempo y frecuencia.

La especificación IS-95 A permite un modo dual de los móviles que pueden operar en AMPS o en CDMA. A diferencia de los sistemas TDMA, los sistemas IS-95 A usan un ancho de banda relativamente más grande de 1.2288¹² MHz por canal de RF. IS-95 A ofrece varias capacidades y características que deben mencionarse. A continuación se da una breve descripción de cada una de ellas.

3.2.1 Soft hand off

El acto de transferir el soporte de un móvil a una estación base a otra es llamado "*hand-off*". El "*hand-off*" ocurre cuando una llamada tiene que ser manejada de una celda a otra al seguir la trayectoria del móvil. En el tradicional "*hand off*" o "*hard hand off*", la conexión entre la celda actual se rompe y la conexión hacia la nueva celda es hecha. Esto se conoce como un "rompimiento antes de hacer" un *hand off*.

Como las celdas en CDMA usan la misma frecuencia, es posible hacer la conexión desde la celda próxima antes de dejar la celda actual. Esto se conoce como "hacer antes de romper" o "*soft hand off*". El *soft hand off* requiere menos potencia, la cual reduce e incrementa la capacidad.

La estación móvil está construida con múltiples elementos demoduladores que permite servicio desde varias celdas o sectores. La unidad del suscriptor es capaz de combinar a tasa máxima de señales en el enlace de envío (*forward*).

¹² El ancho de banda de canal es 1.25 MHz.

En el canal de reversa, las estaciones base reciben la transmisión de unidad de suscriptor y envían los resultados codificados a la función de selector¹³.

El *soft hand off* implica ciertas limitaciones en el diseño de la infraestructura porque los requerimientos de la unidad de suscriptor sea conectada a cualquier de las celdas adyacentes. Así los vendedores de infraestructura deben planear equipo adicional de cambio (de circuito o paquetes) entre las BTS y las BSC. Esto es completamente diferente de los sistemas TDMA, en los cuales los enlaces entre BTS y BSC no necesitan ser cambiados. IS-95 A requiere que el tiempo de las tramas de enlace de envío sean sincronizadas por la señal del Sistema de Posicionamiento Global GPS (*Global Positioning System*) ver Apéndice C.

Así, los enlaces entre la BTS y la BSC deben ser re-sincronizados en cada operación de *soft hand off* debido a la variación de distancias entre BTSs y la estación de control BSC. La Figura 3.6 representa el equipo de infraestructura configurado para implementar el *soft hand off*.

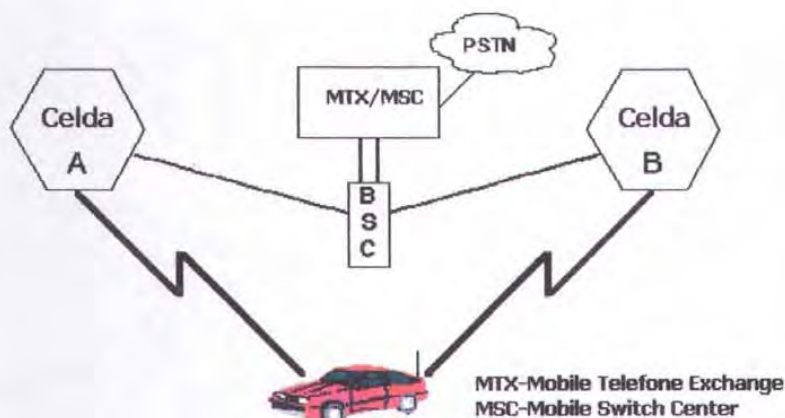


Figura 3.6 Infraestructura necesaria para implantar un *soft hand off*.

3.2.2 Softer hand off

Es similar al *soft hand off*, mejor dicho es un caso especial de este, con la excepción que el *softer hand off*, es un *hand off* que toma lugar entre dos sectores de un mismo sitio. La ventaja básica de el *softer hand off* es el ahorro de equipo de tráfico de canal. El MSC está informado de este cambio pero no participa. Todas las actividades son manejadas por la BTS.

¹³ Cada BTS individualmente intenta decodificar la trama como también realizar la estimación de la tasa de transmisión de ésta. Toda la información, incluyendo mediciones de error, es usada por la función de selector que considera un enlace de reversa de un gran número de enlaces de BTS en el *softer hand off* el cual será usado para asignación de vocoder y un enlace de transmisión eventual para la transmisión hacia la red telefónica pública PSTN.

Como puede verse en la figura 3.7 Las comunicaciones son mantenidas a través de dos sectores hasta que la transición de la estación móvil se ha completado. Cada canal de tráfico CDMA puede generar al menos dos enlaces de envío y recepción desde al menos cuatro antenas. Lo que significa que las señales recibidas de ambos sectores pueden ser combinadas para una mejor calidad.

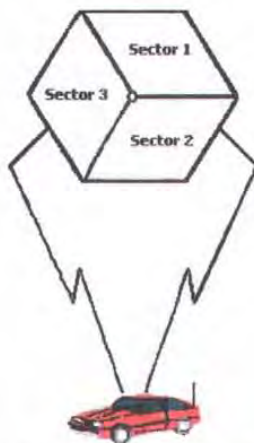


Figura 3.7 Distribución Hand off.

3.2.3 Hard hand off

Al igual que los sistemas TDMA, CDMA es también un sistema FDMA. Por lo tanto, el *hand off* entre portadoras de CDMA es posible. Además debido a que IS-95 tiene capacidad dual, el *hand off* a AMPS es también posible. Cuando los suscriptores ya no tienen más cobertura CDMA disponible realizan un *hand-down* a AMPS el cual siempre esta disponible.

3.2.4 Control de potencia

La interferencia crea un límite práctico en la capacidad de los sistemas CDMA. En CDMA, cada usuario es una fuente de ruido en un canal compartido. A más alto nivel de potencia en cada usuario que transmite, más ruido, y por lo tanto se presenta interferencia en cada canal compartido. Así el interés, es mantener los niveles de potencia lo más bajo posible en cada estación móvil y en cada estación base que transmite.

Debido a que CDMA es un sistema limitado por la interferencia, el control de potencia es un elemento crucial en proporcionar la máxima capacidad posible en el sistema. Por lo tanto, el objetivo del control de potencia es mantener cada unidad de suscriptor en el nivel de potencia mínimo necesario para asegurar una calidad de servicio aceptable. Las unidades móviles que transmiten potencia excesiva incrementan la interferencia con otros usuarios.

A través del control de potencia preciso de las unidades móviles, se alcanzan los siguientes beneficios:

- Se maximiza la capacidad del sistema y
- Se incrementa la vida de la batería

Existen varias técnicas de control de potencia

1. **Control de Potencia en el canal de reversa de lazo abierto.** Realizado solamente por la estación móvil, esta operación está basada en los parámetros de acceso proporcionados por la estación base a la estación móvil y la potencia media de entrada (de todas las fuentes) para el canal de 1.25 MHz, los cuales son medidos en la estación móvil. Esta técnica es usada para compensar los cambios repentinos en la potencia media de entrada en la estación móvil y proporciona un mecanismo para ajustar el desvanecimiento lento de la señal de RF[4].
2. **Control de Potencia en el canal de reversa de lazo cerrado.** Esta operación es realizada para compensar la pérdida de trayectoria asimétrica (por ejemplo: desvanecimiento de Rayleigh y Multitrayectoria). La estación base monitorea periódicamente (800 veces en un segundo) la potencia de la señal recibida de la unidad móvil. Con base en un nivel de potencia óptimo (punto de establecimiento), la estación base puede enviar comandos hacia el móvil para incrementar o disminuir el nivel de potencia que se transmite para alcanzar el punto de establecimiento.
3. **Control de Potencia en el canal de reversa de lazo externo.** Esta técnica es una mejora al de los estándares IS-95 y J-STD-008. Este método permite a la estación base controlar el nivel de potencia de salida del nivel de Tasa de Error de Trama (FER) para el canal de tráfico de reversa. El objetivo de este control de potencia es mantener el FER en cada canal de tráfico de reversa en un nivel predefinido típicamente 1%.
4. **Control de Potencia en el canal de Envío.** Esta operación es realizada por la BTS para ajustar la potencia de envío hacia cualquier requerimiento específico de los usuarios móviles. El control de potencia del enlace de envío también reduce periódicamente la potencia transmitida a cada suscriptor. La decisión de alcanzar la potencia se base en dos indicadores: La medición de la calidad de la trama periódica enviada desde la unidad móvil y las respuestas de unidad específica. Al supervisar el FER, la unidad móvil puede enviar una petición a la estación base para incrementar el nivel de potencia de transmisión cuando verifica e incrementa la tasa de error. Este método de control de potencia es aplicado en un patrón cíclico para asegurar que cada unidad móvil recibe una potencia óptima.

Los sistemas CDMA también utilizan el control de potencia para intentar solucionar el problema de lejos-cerca¹⁴. El control de potencia de enlace de reversa en los sistemas IS-95 A ocurren a los 800 Hz con incrementos de 1 dB.

Ese control de alta velocidad simultáneamente reduce la potencia de transmisión y mantiene la potencia de recepción de la celda en un mínimo. Lo que incrementa la vida de la batería mientras maximiza la capacidad del sistema de enlace de reversa. En los sistemas FDMA y TDMA, los objetivos son minimizar la potencia de transmisión de las unidades y limitar la interferencia de co-canal.

Debido a que los suscriptores de DS-CDMA comparten el mismo ancho de banda, estos objetivos son particularmente críticos. Las unidades de suscriptores tienen al menos un rango de control de potencia dinámico de 73 dB [3].

3.2.5 Transmisiones de vocoder de tasa variable

La voz transmitida se codifica, para representar la información con el menor número de bits posible, con poca o nula redundancia[9]. El tipo de codificación depende de cada tecnología, la tabla 3.1 muestra el tipo de codificación que emplean las tecnologías más importantes.

Tecnología	Tipo de Codificación	Tasa [kbps]
TDMA	VCELP	7.95
GSM	RPE-LTP	13
CDMA	QCELP	8-13

Tabla 3.1 Tipo de codificación para esquemas TDMA, GSM y CDMA.

En las comunicaciones, la capacidad de cualquier canal para transmitir es limitada. El volumen de información a transmitir determina el tiempo necesario para completar la tarea.

Además se debe tener en cuenta, el tamaño de la información que se desea almacenar. Por esto, se emplea la compresión que nos ayuda a reducir el tamaño efectivo de un archivo. A estos métodos o algoritmos de compresión y descompresión se les llama codecs.

Existen diversos tipos de codecs entre ellos podemos mencionar a los vocoders, que son codificadores para voz. Un vocoder es un codificador paramétrico, es decir transmite los coeficientes o parámetros que pertenecen a la señal digitalizada y codificada.

La reproducción tiende a ser sintética y de tasas de transferencia reducida. Existen tres tipos de vocoders:

¹⁴ Este problema se presenta cuando dos móviles M1 y M2 a la misma distancia de la BTS, transmiten a la misma potencia. Asumiendo que tienen el mismo impacto de propagación, los niveles de potencia recibidos en la BTS son iguales $Pr_1=Pr_2$. Entonces, si Pr_1 es la potencia del usuario M1 y es la señal requerida por la BTS, la señal Pr_2 representa la interferencia entonces cuando se establece la relación portadora - interferencia es igual a la unidad ($C/I=Pr_1/Pr_2=1$).

- **Vocoders de forma de onda:** Son empleados para altas tasas de transferencia de datos y proporcionan muy buena calidad de voz. La codificación de forma de onda significa que las variaciones en la amplitud de la señal analógica son descritas por valores numéricos que se transmiten como pulsos. Este tipo de vocoder es utilizado en técnicas tales como, modulación por código de pulsos PCM y modulación por amplitud de pulso PAM.
- **Vocoders de fuente:** Son paramétricos y buscan la función que origina la curva de voz. Estos manejan tasas de transferencia muy bajas, pero tienden a producir voz con sonidos sintéticos.
- **Vocoders Híbridos:** Son combinaciones de las características de los dos anteriores, los cuales proporcionan una buena calidad de voz a tasas de transferencia medianas. Envía parámetros de la característica de la voz, como valores obtenidos de la forma de onda. Son empleados en los sistemas actuales de comunicaciones móviles ya que ejerce un compromiso satisfactorio entre las tasas de transferencia y la calidad de voz.

IS-95 A soporta tasas de vocoder variable de cuatro pasos. La variación en la tasa de transmisión es activa todo el tiempo y da como resultado decrementos promedio de la potencia de salida para la estación móvil y los equipos BTS. Debido a que ninguna indicación es dada por la unidad de transmisión hacia la unidad de recepción de un cambio en la tasa de voz, son requeridos algoritmos de determinación de tasa en la parte receptora.

La codificación toma ventaja del hecho que la mayoría de las conversaciones consisten de un 40 a 50% de tiempo muerto u ocioso. Esto hace posible la compresión de los canales de voz y envío inteligente de información, incrementando la capacidad y disminuyendo la potencia requerida.

Los vocoders ocupados en CDMA son implementados utilizando procesadores digitales de señales DSP¹⁵ (*Digital Signaling Processors*), CDMA utiliza un Predictor Lineal de Excitación de Código Qualcomm QCELP (*Qualcomm Code Excited Lineal Predictor*), este algoritmo decodifica a una tasa variable, debido a que cuenta con umbral adaptable, de rangos que van desde los 13 kbps hasta 1 kbps (con promedio de 4 kbps), este sistema toma ventaja de las pausas naturales al hablar.

QCELP es un codec híbrido el cual combina el acoplamiento de forma de onda y los parámetros de señal de voz. El vocoder QCELP se muestra en la figura 3.5

¹⁵ Los DSP son microprocesadores diseñados específicamente para señales de gran velocidad tales como la codificación de voz, señalización de generación de tono y detección, además de síntesis de voz.

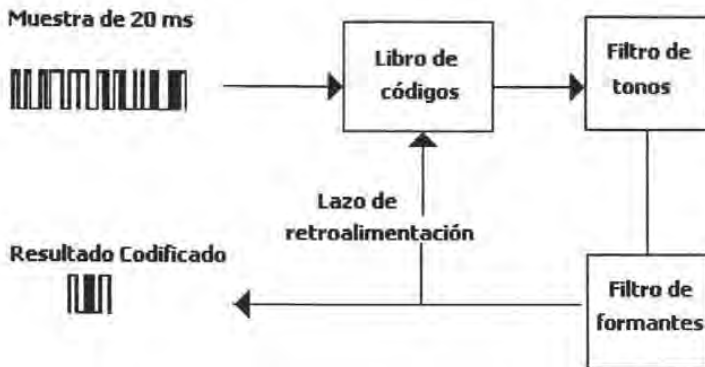


Figura 3.8 Vocoder QCELP.

Las funciones del vocoder se listan a continuación:

- **El libro de códigos:** guarda segmentos de la forma de onda arbitrarias (un tipo de galería de piezas vocales) en forma digital. Dentro del rango de 20 ms de tiempo de muestra, el vocoder a través de una aproximación con base en las muestras previas, aproxima tan cerca como es posible una representación de código de la señal muestreada.
- **El filtro de tonos:** puede ser pensado como el modelo de un tren de pulsos periódicos que viene de las cuerdas vocales durante el proceso del habla.
- **El filtro de formantes:** modela las características del tracto vocal. Este posee frecuencias resonantes cercanas a las frecuencias resonantes de la señal original de voz causada por el filtro de tracto.

En el enlace de envío, la potencia se reduce a tasas bajas de vocoder con la repetición de símbolo usada para preservar el proceso de ganancia. En el enlace de reversa, los sistemas operan en un modo similar a los sistemas TDMA, donde la transmisión toma lugar únicamente en ciertas ranuras o subgrupos de control de potencia. Lo que verdaderamente es similar al modo de transmisión discontinua (DTX) en los sistemas TDMA y FDMA, con la excepción que otras tasas son adicionadas.

La tasa más baja de transmisión en el enlace de reversa es pseudo-aleatorio (una función de datos y código largo de usuario) y previene transmisiones correlacionadas de unidades de suscriptor creando picos de potencia en las BTS. Las transmisiones de tasa variable además elevan la capacidad del sistema y reducen los requerimientos de potencia.

3.2.6. Canales en CDMA

En los sistemas CDMA, existen dos radio enlaces, cada enlace de radio tiene canales lógicos multiplexados. Los canales en el enlace de envío consisten de canal de piloto, canal de sincronía, canal de voceo (paging) y varios canales de tráfico. Los canales se muestran en la tabla 3.2

Enlace de Envío	Enlace de Reversa
Canal Piloto	
Canal de Sincronía	
Canal de Voceo	Canal de Acceso
Canal de Tráfico	Canal de Tráfico

Tabla 3.2 Canales físicos en CDMA.

Un ejemplo de un canal de envío consiste de 64 canales de código disponibles para su uso. Estos 64 canales comprenden el canal de piloto, el canal de sincronía, siete canales de voceo y se puede tener hasta 55 canales de envío de tráfico.

- Canal Piloto:** es una señal directa de espectro disperso no modulada, transmitida constantemente por la estación base. Monitorea el canal piloto al adquirir el tiempo del canal de envío CDMA y proporciona una referencia de fase para demodulación coherente. El código de canal número cero se asigna al canal piloto (W_0). Cada estación base se diferencia por un encabezado de las secuencias cortas de PN que es repetida 75 veces cada dos segundos .
- Canal de Sincronía:** se usa para proporcionar parámetros esenciales al sistema. Se le asigna el código de canal número 32 (W_{32}), el cual transporta el mensaje de sincronía a la estación móvil. Es una señal de espectro esparcido, decodificada, intercalada, esparcida y modulada que utiliza la estación base durante la etapa de adquisición, establecimiento de tiempo al sistema. Re-sincroniza la estación móvil al final de cada llamada. La tasa de transmisión es de 1200 bps.
- Canal de Voceo:** al igual que la señal de sincronía, es una señal de espectro esparcido, decodificada, intercalada, esparcida y modulada usada para la transmisión del control de información y localización de una estación base a una estación móvil. Los canales de voceo son asignados a los canales de código del uno al siete en secuencia (W_1 - W_7).
- Canal de Tráfico:** Transmite tráfico y señalización de un usuario desde la estación base a una estación móvil específica durante una llamada. El número máximo de canales de tráfico es de 63^{16} menos el número de canales de sincronía y voceo operando en el canal de envío CDMA.

¹⁶ Dependiendo del número de canales de "overhead" que se requieran (piloto, sincronía y voceo). El número máximo de canales de tráfico en el enlace de envío es de 63.

El canal de reversa está compuesto de canales de acceso y canales de tráfico de reversa. La información transmitida se agrupa en tramas de 20 ms. La información transmitida es decodificada de manera convolucional para una corrección aleatoria de errores, intercalada en bloques para protección de errores de ráfaga, moduladas por 64 códigos de *Walsh*, formados de 64 chips largos y esparcidos por una secuencia directa de un código largo de periodo $2^{42} - 1$ chips, antes de ser transmitido [10].

- **Canal de Acceso:** la estación móvil lo usa para iniciar la comunicación con la BTS y responder al mensaje del canal de voceo, 32 canales de acceso son soportados por un canal de voceo. Cada canal de acceso es asociado con un canal de voceo. La tasa de transmisión de bits es de 4800 bps.
- **Canal de Tráfico:** lleva tráfico de voz de la estación móvil a la radio base y la información de control de potencia de la estación móvil. Responde y hace peticiones hacia la BTS, soporta operaciones de tasa variable máxima de 9600 kbps para vocoders de 8 kbps y 14.4 kbps para 13 kbps vocoders.

La información transmitida en ambos canales de envío o de reversa en CDMA son agrupados en tramas¹⁷ de 20 milisegundos[10]. Para los canales de acceso, voceo y de tráfico (envío o reversa) una trama es de 20 ms de longitud. En el caso del canal de sincronía, una trama tiene 26.666 ms de longitud. El indicador de calidad en la trama es un código de redundancia cíclica CRC que realiza dos funciones: la primera, determinar la tasa de transmisión de la trama; la segunda es determinar si contiene un error .

3.3 J-STD-008

El sistema J-STD-008 es una variante de IS-95 A que fue diseñado para beneficio de la comunidad Norteamericana de PCS. Usa el mismo ancho de banda que el sistema IS-95 con un vocoder de 13 kbps en lugar de 9.6 kbps. Existen seis "bloques" de asignación de frecuencia en la banda de los 1.9 GHz, como se muestra en la tabla 3.3. Debido a que la tasa de vocoder es más alta, la ganancia de proceso para estos sistemas será menor y entonces resultara en una capacidad menor. Sin embargo, los operadores de PCS construyen su negocio alrededor de la calidad de voz y de las características.

Designación de Bloque	Frecuencia de transmisión	Banda Base (MHz)
A	1850-1865	1930-1945
D	1865-1870	1945-1950
B	1870-1885	1950-1965
E	1885-1890	1965-1970
F	1890-1895	1970-1975
C	1895-1910	1975-1990

Tabla 3.3 Asignación de Bandas de Frecuencia para Operadores de PCS en Estados Unidos.

¹⁷ El término trama se define como el intervalo básico de tiempo en el sistema.

3.4 Capacidad en CDMA

Los cálculos de capacidad para los sistemas FDMA y TDMA son bien conocidos, en contraste con los cálculos de capacidad de los sistemas DS-SS que son un aspecto controversial debido al requerimiento de señal a ruido (E_b/N_0) por suscriptor.

Ésta es una variable aleatoria, que es una función de otras variables aleatorias (por ejemplo la velocidad del vehículo, la distribución de los suscriptores el perfil de retardo). Por consiguiente la cantidad de potencia de transmisión y el nivel de ruido son aleatorias y no producen fácilmente un análisis determinístico.

Los vendedores de infraestructura CDMA¹⁸, deben proveer algoritmos de "bloqueo suave" y algoritmos de recursos de potencia de RF que simultáneamente optimizan la capacidad del sistema y la calidad. CDMA ha probado su habilidad de ofrecer una capacidad de 8 a 20 veces¹⁹ más que AMPS. Como se puede ver en la tabla 3.4.

	AMPS	IS-54 TDMA	GSM	IS-95 A 8 kbps	IS-95 A 13 kbps
Ancho de Banda ²⁰	12.5 MHz	12.5 MHz	12.5 MHz	12.5 MHz	12.5 MHz
Reuso de Frecuencia	N = 7	N = 7	N ²¹ = 4	N = 1	N = 1
Ancho de Banda de Portadora	0.03 MHz	0.03 MHz	0.2 MHz	1.25 MHz	1.25 MHz
Portadoras por Ancho de Banda	12.5/.03=416	12.5/.03=416	12.5/0.2=62.5	12.5/1.25=10	12.5/1.25=10
Portadoras por Celdas	416/7=59	416/7=59	62.5/4=15	10/1=10	10/1=10
Canales de voz por portadora	1	3	8	20	15
Sectores por Celda	3	3	3	3	3
Portadoras por sector	59/3= 19.6	59/3=19.6	15/3=5	10	10
Llamadas de Voz por sector	1 X 19 =19	3 X 19 = 57	8X5= 40	20 X 10=200	15X10=150
Llamadas de Voz por celda	19 X 3= 57	57 X 3 = 171	40X3=120	200X3=600	150X3=450
Capacidad	1X	3X	8X	10X	8X

Tabla 3.4 Capacidad relativa de CDMA con respecto a AMPS, TDMA y GSM.

¹⁸ Algunos productores son Motorola, Lucent Technologies (AT&T, Network System) y Northern Telecom (con Qualcomm) producen equipo de infraestructura.

¹⁹ Este número puede variar dependiendo de las condiciones del sistema, pero se han reportado casos de hasta 20 estaciones móviles por portadora.

²⁰ Aunque el ancho de banda asignado es 25 MHz, al utilizar señales digitales, este se ve reducido a la mitad.

²¹ Para GSM este valor puede variar desde 4 hasta 1, dependiendo de la tecnología implementada

Teóricamente, la capacidad máxima de este sistema está limitado al número máximo de códigos disponibles, pero realmente, la capacidad está directamente relacionado con la cantidad de interferencia que está presente en los sistemas CDMA. Cualquier variable que ayude a reducir la interferencia puede hacer que se incremente la capacidad del sistema.

Los sistemas CDMA al usar una tasa variable de vocoder, por ejemplo puede disminuir la tasa de transmisión para reducir interferencia cuando hay poca actividad de voz. Esto incrementa la capacidad del sistema, al eliminar la mayoría de señales de ocupado, caída de llamadas y problemas de llamadas cruzadas que son resultado de un sistema sobreocupado.

3.5 3ª Generación en CDMA

La tecnología para 3G y los sistemas inalámbricos en CDMA han evolucionado rápidamente en los últimos años. Recientemente, el objetivo de los desarrollos tecnológicos ha cambiado, se ha enfocado a habilitar los servicios de sistemas de paquetes de datos a gran velocidad con alta eficiencia en lugar de mejorar los sistemas que proporcionan el servicio de voz tradicional y servicios de circuitos conmutados.

Algunas características como datos asimétricos, ancho de banda en demanda y conexión permanente necesitan ser manejados eficientemente en los sistemas 3G. Este tipo de redes necesitan utilizar eficientemente y manejar los recursos para los diferentes tipos de aplicaciones con características variadas.

A nivel de red existen dos opciones de evolución de IS-95, soportadas por la especificación CDMA 2000: 1x y 3x, la primera implica que la interfaz de aire maneje solo un radio canal de 1.25 MHz de ancho de banda, la segunda 3x maneja tres canales de 1.25 MHz. Uno de los requerimientos clave de los sistemas CDMA 2000 es la compatibilidad con su predecesor IS-95. Esto significa que los móviles de las redes IS-95 trabajan en las redes CDMA 2000.

3.6 1xRTT

El uso de la tecnología CDMA en los sistemas celulares comenzó con el desarrollo del estándar IS-95 el cual ha ido evolucionando para proporcionar mejores servicios de voz y aplicaciones a otras bandas de frecuencia IS-95 A, y proporcionar datos a una tasa mayor bajo el estándar IS-95 B con el cual se pueden alcanzar velocidades superiores a 115.2 kbps.

Para mejorar la capacidad de servicio de voz y datos y proporcionar tasas a una mayor velocidad de transmisión para servicios de circuitos de datos y paquetes, la TIA desarrolló el estándar IS-2000 (también conocido por CDMA2000) para alcanzar los requerimientos de 3G establecidos por la Unión Internacional de Comunicaciones ITU.

CDMA2000 es el primer sistema de comunicación móvil que ofrece comunicaciones de datos de banda ancha en un canal móvil inalámbrico. Además también proporciona servicios a una tasa de datos alta en el enlace de envío y el rendimiento máximo de transmisión de datos es de 384 kbps [S1]. Conforme el concepto de Internet Inalámbrico gradualmente se vuelve realidad, se origina la necesidad para un sistema de alta velocidad eficiente [J1].

La tasa de datos soportada en 1xRTT depende de la configuración de radio RC. Esta configuración de radio es un formato de canal definido por la tasa de transmisión, características de la modulación, codificación de código y soporte de tasa de dispersión.

En la tabla 3.5 se muestran las configuraciones de radio, en los enlaces de envío y de reversa para sistemas 1x y 3x junto con las tasas de dispersión utilizadas.

Tasa de dispersión	Config. Radio	Enlace de Envío	Tasas de Datos	Config. Radio	Enlace de Reversa	Tasas de Datos
1X 1.2288 MCPS	RC1	Requerido. IS-95B Compatible No CDMA2000	9600 variable	RC1	Requerido. IS-95B Compatible No CDMA2000	9600 variable
	RC2	Compatible con IS-95B RS2 No CDMA2000	14400 variable	RC2	Compatible con IS-95B RS2 No CDMA2000	14400 variable
	RC3	½ tasa convolucional o Turbo Códigos, tasa básica 9600	9600 153600	RC3	½ tasa conv o Turbo códigos, 9600 ½ tasa conv o Turbo códigos, 9600	9600 153600 307200
	RC4	½ tasa convolucional o Turbo Códigos, tasa básica 9600	9600 307200			
	RC5	¼ tasa convolucional o Turbo Códigos, tasa básica 14400	14400 230400	RC4	¼ rate convolucional o Turbo Coding, base rate 14400	14400 230400
SR3 3.6864 MCPS	RC6	1/6 rate convolucional o Turbo códigos, tasa básica 9600	9600 307200	RC5	Requerido. ¼ o 1/3 convolucional o Turbo códigos, tasa básica 9600	9600 307200 614400
	RC7	Requerido. 1/3 tasa convolucional o Turbo códigos, tasa básica 9600	9600 614400			
3X 1.2288 MCPS	RC8	¼ o 1/3 tasa convolucional o Turbo códigos, tasa básica 9600	14400 460800	RC6	¼ o ½ convolucional or Turbo código	14400 460800 1036800
	RC9	½ o 1/3 tasa convolucional o Turbo códigos, tasa básica 14400	14400 1036800			

Tabla 3.5 Radio Configuraciones para 1x y 3X.

Las mayores mejoras al sistema de IS-95 a IS-2000 incluyen:

1. Control rápido de potencia en el canal de envío, el cual mejora la capacidad del enlace de envío en el ambiente móvil.
2. Cambio en la modulación del enlace de envío para permitir duplicar la capacidad así como los canales de código.
3. La corrección de errores es fortalecida incluyendo la adición de turbo códigos.
4. En enlace de reversa se adiciona un auxiliar coherente de piloto, el cual da como resultado un requerimiento menor del total de la relación E_b/N_0 .

5. Un canal de voceo rápido (quick paging) se agrega para permitir ahorro de potencia de batería en la estación móvil en cuando se encuentra sin proceso de llamada y así incrementar su tiempo de espera.
6. Un sistema cuyo ancho de banda se triplica (utilizando una aproximación de múltiples portadoras en el enlace de envío y una aproximación en el enlace de reversa).
7. Algunos mecanismos para envío de datos a velocidades más altas de transmisión son proporcionados en ambos enlaces de envío y de reversa (arriba de 307.2 kbps para 1X y 1.0368 Mbps para 3X).
8. Canales adicionales (canales de control en los enlaces de envío y de reversa) son implementados para facilitar la asignación y liberación de los canales de tasas altas (canales suplementarios) para reducir la carga adicional en los servicios que proporcionan servicios de datos.

El cociente E_b/N_0 representa la energía por bit por antena entre el ruido total más la razón de interferencia para el canal de tráfico. La diversidad, la codificación, el intercalado y las ganancias de control de potencia están incluidas en la relación E_b/N_0 .

Algunos factores que afectan esta relación son: la velocidad del móvil, las características de desvanecimiento de canal, es decir las multitrayectorias. El desvanecimiento de Rayleigh (valor alto en la relación E_b/N_0) representa el peor caso y el ruido aditivo blanco gaussiano AWGN representa el mejor caso (valor bajo en la relación E_b/N_0). La propagación multitrayectoria mejora desempeño del enlace a través del principio de diversidad.

Los sistemas 1xRTT implementan esquemas de control rápido de potencia en ambos enlaces, el cual proporciona 800 actualizaciones por segundo con un paso nominal de 0.5 dB. Esto mejora la capacidad reduciendo el efecto de desvanecimiento rápido (Rayleigh).

La detección coherente es parte de los sistemas 1xRTT en el enlace de reversa. Una señal piloto con un código diferente de PN es transmitida por la estación móvil, la cual es usada entonces por la estación base para proporcionar un estimado del canal y así facilitar la implementación de la detección coherente.

Un combinador de máximo cociente MRC (*Maximal Ratio Combiner*) es usado para combinar los componentes de una estación base de servicio incluyendo aquellos *en soft-hand off*. El MRC coherente es la forma óptima de combinación y presenta una mejora en el desempeño sobre los esquemas no coherentes.

Un ejemplo de esquemas no coherentes de la misma ganancia y de selección de diversidad, se encuentra implementado en IS-95. Algunos estudios de simulación han mostrado que gracias a la detección coherente se obtiene una mejora de 2.5 dB aproximadamente en el desempeño de E_b/N_0 comparado con los sistemas IS-95[NT1].

3.6.1 Turbo Códigos

Los estándares de 1xRTT permiten el uso de Turbo Códigos para servicios de datos con tasas mayores de 19.2 kbps. Esto se aplica a los canales suplementarios debido a que llevan más bits que los canales fundamentales. Los turbo códigos son muy efectivos en aplicaciones con tasas de bit erróneo B.E.R (*Bit Error Rate*) pequeñas y proporcionan una ganancia mayor sobre los códigos convolucionales con tasas equivalentes en los mismos ambientes. Además de presentar mayor efectividad cuando la diversidad multirayectoria está disponible en el receptor *RAKE*.

La ganancia es mayor a velocidades bajas del móvil y más pequeñas a velocidades moderadas. También la ganancia de los turbo códigos aumenta cuando la tasa de datos tiene un incremento. La mejora en el desempeño del cociente E_b/N_0 es resultado del intercalado pseudo-aleatoria hecho en el codificador.

En CDMA, los bits son protegidos de errores de transmisión, primero codificándolos en símbolos antes de ser transmitidos. Después en la recepción, los procesos de decodificación son altamente tolerantes a símbolos erróneos y bits de valores correctos pueden ser recuperados a pesar de los errores en los símbolos.

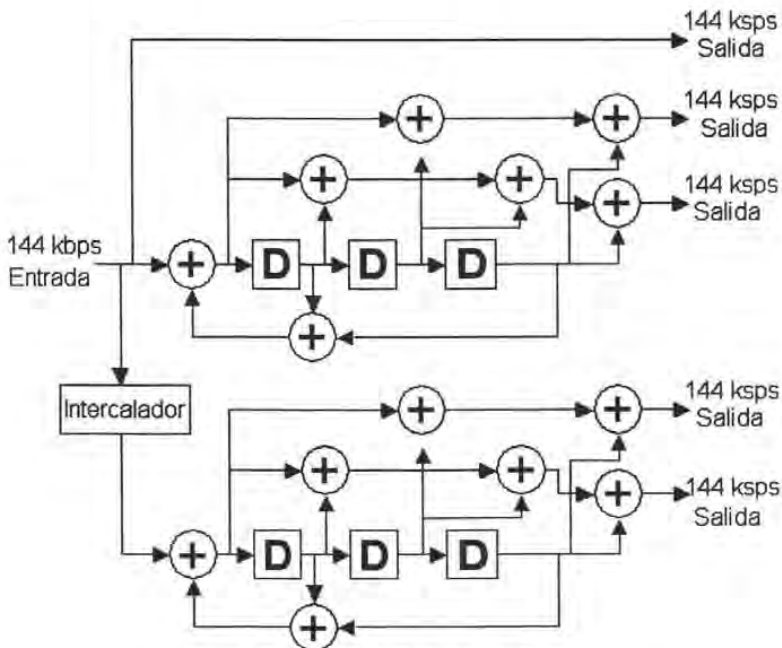


Figura 3.9 Turbo codificador de tasa 5.

Existen varios métodos de codificación, las aplicaciones de CDMA para voz siempre utilizan codificadores convolucionales, CDMA introduce también turbo codificación. La voz es una aplicación en tiempo real y las tramas no pueden ser retransmitidas. Las aplicaciones de datos son menos susceptibles a las tramas perdidas ya que el principal objetivo es que el rendimiento y la retransmisión de pocas tramas no disminuyan el rendimiento de la red significativamente.

Los turbo codificadores son una clase de CODEC con alto rendimiento y eficiencia, pero un poco menos inmunes a los errores que los codificadores convolucionales. El diseño de estos aun es experimental, no existen algoritmos óptimos conocidos [NT-1]. En la figura 3.9 se muestra la estructura general de un turbo codificador IS-2000 de tasa 5.

- En un turbo codificador de tasa 5, como el de la figura 3.9 se producen cinco cadenas de salida, de la cadena original más otras cuatro usando una combinación de retroalimentación de registros de corrimiento y técnicas de intercalado de bits.
- La perforación reduce la tasa de salida a 3 veces la original.
- Este turbo código tiene un mejor desempeño aproximadamente 0.5 dB que un codificador convolucional de la misma tasa.

3.6.2 Tipos de Canales en 1xRTT

En los sistemas 1xRTT existen dos tipos de radio enlaces: de envío y de reversa. Cada radio enlace tiene canales lógicos multiplexados en CDMA. En la tabla 3.6 se muestra los canales existentes en IS-95 y 1xRTT. De aquí se puede observar que se adicionan canales lógicos en 1xRTT.

	Enlace de Envío	Enlace de Reversa
IS-95	Canal Piloto	
	Canal de Sincronía	
	Canal de Voceo	Canal de Acceso
	Canal de Tráfico	Canal de Tráfico
	Canal de Código Suplementario (F-SCCH)	Canal de Código Suplementario (R-SCCH)
1xRTT	Canal Fundamental (F-FCH)	Canal Fundamental (R-FCH)
	Canal Suplementario (F-SCH)	Canal Suplementario (R-SCH)
	Canal de Control Dedicado (F-DCCH)	Canal de Control Dedicado (R-DCCH)
	Canal de Control Común (F-DCCH)	Canal de Control Común (R-DCCH)
	Canal de Voceo Rápido (F-QPCH)	Canal Piloto de Reversa (R-PICH)
	Canal Piloto de Diversidad Transmitida (F-DCCH)	Canal de Acceso Mejorado (R-EACH)

Tabla 3.6 Canales presentes en sistemas IS-95 y 1xRTT.

El canal de tráfico (IS-95) es usado para envío y recepción de la información de la estación móvil. En 1xRTT este canal es multiplexado en los canales fundamental y suplementario.

El canal fundamental (FCH) siempre existe cuando se establece la conexión entre la estación móvil y la estación base. El ancho de banda de este canal es de 9.6 kbps por enlace ya sea de envío o de reversa.

El canal F-SCH puede ser asignado a una estación móvil, soporta códigos de Walsh de longitudes variables de 4 a 128 dependiendo de la tasa de datos y la tasa de chips. Un R-SCH es usado para paquetes de datos de alta velocidad. El canal suplementario no se habilita inmediatamente después de que la conexión entre la estación base y la estación móvil se establece. La estación base asigna este canal dinámicamente con base en los parámetros: el número de estaciones móviles que pertenecen a la estación base y la cantidad de tráfico de cada estación móvil.

Ya que los canales FCH y SCH son multiplexados en CDMA, ambos pueden ser usados al mismo tiempo. Por lo tanto la estación móvil no considera la diferencia entre un FCH y un SCH, y parece que el ancho de banda de uno de los radio enlaces cambia dinámicamente[S2]. Comúnmente en los sistemas 1x, se utiliza solamente un FCH para la transferencia de datos inmediatamente después de que la conexión entre la estación base y la estación móvil se establece. Si la cantidad de datos a transferir aumenta entonces ambos canales FCH y SCH se utilizan.

La diferencia entre el F-SCH y el R-SCH es el código de Walsh que tienen como base para su esparcimiento. F-SCH soporta longitudes de 4 a 128 chips. R-SCH utiliza códigos de Walsh de 4 chips, el acoplamiento de tasa es hecho por repetición de codificación, además del intercalado de símbolos. La asignación de secuencia de los códigos de Walsh son predeterminados y comunes a todas las estaciones móviles, las cuales utilizan códigos PN largos.

El canal de voceo rápido F-QPCH proporciona un monitoreo eficiente del canal de voceo realizado por el móvil, así extiende la vida de la batería al mejorar el voceo por ranuras de tiempo. Esto se logra cuando el móvil monitorea el QPCH para determinar si existe un voceo en el canal en su ranura mediante un indicador de un bit, si no detecta este bit (bandera), entonces el móvil vuelve a su estado durmiente, si detecta al bit entonces el móvil monitorea la ranura apropiada y decodifica el mensaje de voceo. Sin QPCH el móvil debe monitorear regularmente la ranura de canal de voceo y decodificar varios campos para determinar el canal de voceo, esto afecta la vida de la batería.

El canal Piloto de reversa R-PICH permite a la estación base una detección coherente ya que el móvil transmite un patrón bien conocido (piloto), la estación móvil puede transmitir a baja potencia, reduciendo la interferencia con los otros. Los sistemas CDMA usan el canal de piloto para la estimación de potencia de este canal y así determina la cobertura del sistema. La potencia alta de la señal piloto mejora el desempeño del sistema, mediante una buena estimación del canal. No obstante la potencia alta es capaz de disminuir la capacidad porque consume la potencia transmitida en el enlace de envío.

3.7 1xEV-DO

El incremento de las redes telefónicas celulares es un campo donde se espera desarrollar el transporte de paquetes de datos. Esto ha forzado a las normas celulares a evolucionar para poder acomodar el tráfico de datos de manera más sencilla.

El sistema CDMA IS-95 sirve a los usuarios a una tasa máxima de datos de 14.4 kbps. La evolución de este estándar lleva a IS-2000, el cual permite tasa pico de 307.2 kbps en un ancho de banda de 1.25 MHz. A pesar de este incremento este estándar requiere el establecimiento y liberación de los enlaces de alta velocidad para la capa 3 de señalización, el cual resulta en un uso ineficiente del espectro disponible.

La norma de interfaz de aire que se conoce como EV-DO fue estandarizada como la norma TIA-EIA IS-856. EV-DO es una versión modificada de la interfaz de aire pionera de Qualcomm, conocida como CDMA de Tasa Alta HDR (*High Data Rate*)[P1].

El espectro de radio frecuencias es el mismo que para IS-95 e IS-2000, el cual incluye cambios substanciales para hacer más eficiente el tráfico de datos del usuario. Estos cambios incluyen modulación de alto orden para permitir un máximo de tasa de datos de 2.4 Mbps, y la eliminación de soft handoff, el cual permite programación en tiempo en la estación base en lugar del controlador de estaciones base.

Algunas de las características de esta tecnología son:

- Solamente datos (no existen circuitos conmutados de voz).
- Enlace de reversa multiplexado por división de Tiempo, un usuario a la vez.
- No existe enlace de reversa para *soft hand off*.
- Información de canal de retroalimentación rápida, indicando la tasa máxima soportable en el enlace de envío (*forward link*). Por ejemplo, control rápido de tasa de enlace de reversa.
- Soporta modulaciones de 8-PSK y 16-QAM en el enlace de reversa para soportar picos de las tasas de datos en el enlace de reversa.

A diferencia de las tecnologías de acceso de radio de circuitos conmutados 1xEV-DO es realmente una interfaz de aire de paquetes conmutados[P1]. Cada móvil conectado a la red transmite información específica de la tasa de datos máxima soportada en el canal de enlace de reversa. También informa a la red que estaciones base están cercanas para transmitir la información.

La estación base encola los datos para todos los usuarios conectados y transmite la información a la tasa de datos requerida, en el tiempo mas adecuado para cada móvil. Esto permite ganancia de diversidad para múltiples usuarios, la ventaja de la habilidad de transmitir a un usuario cuando sea más eficiente hacerlo.

3.7.1 Transmisión de Datos en EV-DO y 1xRTT

La manera en la cual los datos son entregados en el enlace de reversa en el caso de 1xEV-DO, es diferente a la tecnología de conmutación de circuitos en 1xRTT. La figura 3.10 muestra una representación de cómo los datos son entregados en una red 1xRTT.

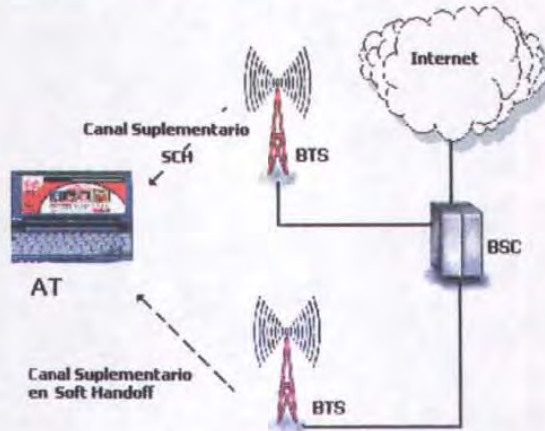


Figura 3.10 Envío de datos en una red 1xRTT.

Las etapas involucradas en la entrega de la información en el móvil sobre los canales de alta velocidad (canales suplementarios SCH, 19.2 kbps y más altos) son las siguientes:

1. La ráfaga de datos arriba en la estación controladora de estaciones base (BSC) desde Internet.
2. El controlador de estaciones base encola las estaciones base para revisar la disponibilidad del canal suplementario.
3. Las estaciones base guardan los códigos de Walsh y responden al controlador de estaciones base.
4. El controlador de estaciones base envía mensajes a la terminal dando información de ráfaga del canal SCH.
5. La terminal recibe un mensaje de reconocimiento desde el controlador de estaciones base.
6. Los datos son transmitidos.

Existen dos grandes problemas con la entrega de datos en la arquitectura 1xRTT: grandes retardos (cientos de milisegundos) para establecer los recursos, si el enlace tiene un desvanecimiento durante las ráfagas del canal suplementario SCH, las estaciones base deben incrementar la potencia.

En contraste con los mecanismos de 1xRTT, la figura 3.11 muestra la forma en la cual los datos son entregados a través de la red 1xEV-DO. Los pasos involucrados son como siguen:

- 1) Las ráfagas llegan en la BSC desde Internet.
- 2) Los paquetes son enviados hacia las BTS en servicio.
- 3) Las BTS escuchan los comandos del Control de tasa de enlace de subida DRC (Data Rate Control) desde la terminal.
- 4) Las BTS asignan tiempos para las transmisiones de paquetes de datos hacia la terminal de acuerdo a las ranuras disponibles.
- 5) AT escucha cada ranura de su preámbulo. Cuando esta ranura es detectada, la terminal reconoce su paquete.

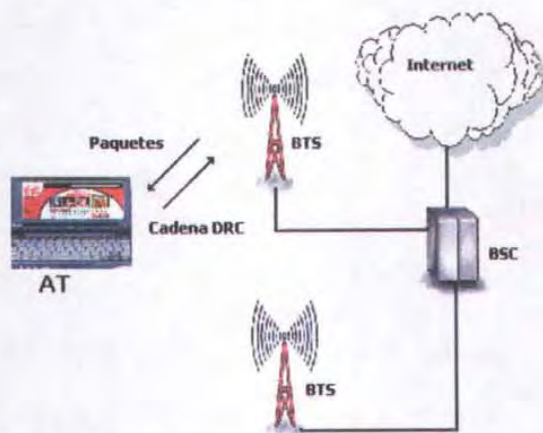


Figura 3.11 Entrega de datos en una red EV-DO con arquitectura central.

Los beneficios de la arquitectura 1xEV-DO son los siguientes:

1. Casi no hay retardos en la asignación de canales compartidos.
2. Existe una rápida retroalimentación desde el equipo terminal sobre la condición de canal permitiendo a la BTS encolar los datos hasta los canales que están bien antes de la transmisión de los paquetes.

3.7.2 Arquitecturas en EV-DO

Existen dos tipos de arquitecturas en EV-DO:

- Arquitectura Centralizada
- Arquitectura Distribuida

El flujo de paquetes de datos, en los enlaces de envío y reversa sobre los enlaces de dos puntos de acceso se muestran en la figura 3.12 para ambas arquitecturas.

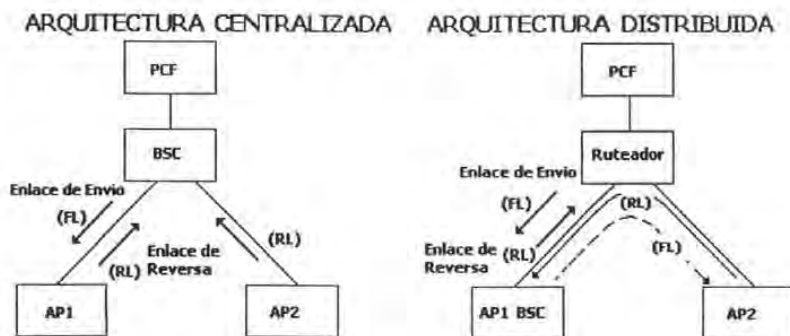


Figura 3.12 Arquitecturas de EVDO.

La Función de Control de Paquetes (PCF) es la interfaz entre la red de acceso de radio y el nodo de servicio de paquetes de datos, el cual es en turno la interfaz hacia la Internet. El Controlador de la Estación Base (BSC) contiene máquinas de estado a nivel de sesión y otro a nivel de conexión y selección de enlace de subida mezclando las tramas de tráfico. Los puntos de Acceso (AP) conectados cada uno directamente hacia la BSC o a través de un ruteador dependen del tipo de arquitectura.

El ancho de banda requerido para ambas aplicaciones varía de acuerdo al tipo de arquitecturas. En la opción centralizada los paquetes de datos en el enlace de envío son enviados desde la BSC hacia el mejor sector de servicio disponible, dado que no existe *soft hand off* en el enlace de envío, un paquete de enlace necesita solamente un salto en el *backhaul* antes de ser enviado por la interfaz de aire.

Para el enlace de reversa, el cual permite típicamente el *soft hand off*, la terminal de acceso (AT *Access Terminal*) estará en *soft hand off* con un número promedio de Puntos de Acceso (AP *Access Point*).

En el caso de la opción de arquitectura distribuida, los paquetes de datos en el enlace de envío son transmitidos hacia el punto de acceso AP asegurado²² (*Access Point*), que conserva el nivel de la conexión de la máquina de estados para el usuario que va a ser servido, sin embargo la terminal de acceso AT puede realizar una petición de datos de cualquier sector que este en *soft hand off*.

Por lo tanto, si la terminal de acceso hace una petición de información de un sector que no está contenido en el punto de acceso asegurado, el paquete debe ser enviado hacia atrás sobre el *backhaul* de reversa para un ruteador de paquetes en un punto centralizado y entonces sobre el *backhaul* en la dirección del enlace de envío, hacia el punto de acceso de servicio.

²² El punto de acceso asegurado es el punto de acceso con mayor probabilidad para brindar acceso al servicio.

A diferencia de la arquitectura centralizada los paquetes en el enlace de envío pueden requerir ancho de banda del *backhaul* en los enlaces de envío y de reversa. Similarmente, los enlaces de paquetes de reversa pueden requerir ambos recursos del *backhaul* de envío y reversa.

Los paquetes de enlace de reversa en una arquitectura distribuida son reenviados de cada punto de acceso AP en *soft hand off* con la terminal de acceso hacia el punto de acceso seguro, donde la función de Selector (SF) implementa la diversidad de selección combinando las tramas de las capas físicas decodificadas. Una vez que el paquete es recibido, se reenvía hacia la función de control de paquetes PCF en la dirección de reversa sobre el *backhaul*.

En ambas arquitecturas el *backhaul* requerido en la dirección de envío es más grande que en la dirección de reversa. Ya que el *backhaul* es típicamente diseñado simétricamente, simplemente se considera la dirección requerida del *backhaul* en dirección de envío.

3.7.3 Tasa Alta de Transmisión en CDMA-HDR

Un sistema CDMA de alta tasa de transmisión HDR (*High Data Rate*) es propuesto para alcanzar el acceso inalámbrico al sistema de la red de datos. Ya que el patrón de tráfico de Internet demanda un mayor rendimiento (*throughput*) en el enlace de envío que en el enlace de reversa, el esfuerzo de investigación se ha enfocado en mejorar el enlace de envío. El diseño del enlace de reversa es el mismo que en el IS-2000 y debe tener aproximadamente el mismo desempeño.

El diseño del sistema CDMA HDR mejora el rendimiento del sistema utilizando una estimación de retroalimentación del canal, diversidad dual en la antena receptora y un algoritmo de temporización que toma ventaja de la diversidad multiusuario. El enlace de envío de los sistemas CDMA HDR consiste de un canal sencillo dedicado de datos que es dividido en ranuras de tiempo de 1.67 milisegundos.

La tasa de esparcimiento de la señal es de 1.2288 Mcps para los sistemas IS-95 e IS-2000. La red de acceso transmite una señal piloto, información de control y datos de usuario sobre el canal de multiplexación en tiempo TDM.

El tiempo entre cada ranura es mostrado en la figura 3.13. Dos ráfagas de pilotos son insertadas en cada ranura de tiempo y un auxiliar de sincronización, la estimación y demodulación coherente de la relación portadora-interferencia C/I.



Figura 3.13 Temporización en una Ranura de Tiempo.

La red de acceso transmite siempre a toda potencia excepto cuando no hay información para ser enviada; programa en tiempo la transmisión de los usuarios activos a un tiempo. Un preámbulo²³ es transmitido antes en cada paquete de datos para identificar la terminal de acceso a la cual va dirigido. Con base en las mediciones del cociente C/I desde la señal recibida en cada ranura de tiempo, la terminal de acceso determina la tasa de datos que puede ser soportada en el enlace de envío en la condición de canal así como también el mejor sector de servicio.

El cociente portadora interferencia C/I y la tasa de datos puede relacionarse como sigue:

$$\frac{C}{I} \times \frac{W}{R} = \frac{E_b}{(I_0 + N_0)} \tag{3.1}$$

Donde W es el ancho de banda esparcido y R es la tasa de datos. De esta forma, asignando el valor requerido de un $E_b/(I_0+N_0)$ para una combinación particular de la modulación y del esquema de codificación:

$$R = \frac{C/I}{[E_b/(I_0 + N_0)]} \times W \tag{3.2}$$

La selección real de la tasa de datos que toma en cuenta la variación potencial del canal sobre el tiempo dejando suficiente espacio, y es sujeto al número finito de tasas de datos que son definidos.

La información a una tasa de datos soportable y el mejor sector de servicio es enviado a la red de acceso en cada ranura de tiempo del canal de control de tasa DRC (Data Rate Control).

²³ El preámbulo se define en los estándares para la interfaz A-13. Donde son descritos los mensajes y procedimientos entre el acceso a la red y las conexión entre las terminales de acceso. El procedimiento para la interfaz A13 es un flujo de mensaje de intercambio MS/AT y la información del PDSN entre la red de acceso. Los procedimientos de cómo la red de acceso descubre el objetivo es realizada individualmente por el fabricante del equipo.

Los rangos de tasa soportados van desde 38.4 kbps a 2.4576 Mbps como se muestra en la tabla 3.7. El esquema de modulación (QPSK, 8PSK o 16 QAM) varía dependiendo de la tasa de datos.

Se utiliza el mismo turbo código como en IS-2000 para corrección de errores. La tasa primaria de código es 1/5, 1/3 ó 2/3. La tasa efectiva de código, después de la repetición de secuencia varía dependiendo de la tasa de datos. Cuando se transmite la información a una terminal de acceso, la red de acceso utiliza la tasa de datos y el mejor sector especificado por la terminal de acceso. No existe soft hand off en el enlace de envío pero si en el enlace de reversa como en IS-95 e IS-2000.

El paquete de datos del enlace de envío puede ocupar desde una hasta 16 ranuras de tiempo. La transmisión de paquetes de multiranuras es entrelazado de forma tal que existe tres ranuras de tiempo entre dos ranuras adyacentes de un paquete en el enlace de envío.

Tasa de Datos (kbps)	No. De Ranuras por paquetes	Modulación	Tasa de código
2457.6	1	16QAM	2/3
1228.8	2	16QAM	1/3
1843.2	1	8PSK	1/3
921.6	2	8PSK	1/3
1228.8	1	QPSK	2/3
614.4	2	QPSK	1/3
409.6	3	QPSK	1/3
307.2	4	QPSK	1/3
614.4	1	QPSK	1/5
307.2	2	QPSK	1/5
153.6	4	QPSK	1/5
76.8	8	QPSK	1/5
38.4	16	QPSK	1/5

Tabla 3.7 Parámetros de modulación en el enlace de envío de HDR

Un esquema híbrido ARQ²⁴ (H-ARQ) es usado para permitir la terminación temprana de un transmisión multipaquete, tan pronto como el paquete es recibido exitosamente (por ejemplo: el Código de Corrección Cíclico Redundante CRC verifica después de la codificación).

Para cada ranura de tiempo de un paquete, la terminal de acceso envía un bit de reconocimiento ACK o un NAK a la red de acceso. Si un ACK es recibido, la red de acceso para de transmitir el resto de las ranuras de tiempo para esos paquetes. En otro caso, la transmisión continuará hasta todas las ranuras de tiempo de los paquetes sean transmitidas. Un ejemplo de paquetes de multitransmisión son mostradas en la figura 3.14.

²⁴ La combinación de los métodos generales de control de errores en las comunicaciones de enlaces FEC (Forward Error Correction) sobre un esquema de repetición automática ARQ (Automatic Repeat Request) son conocidos como ARQ híbrido o H-ARQ.

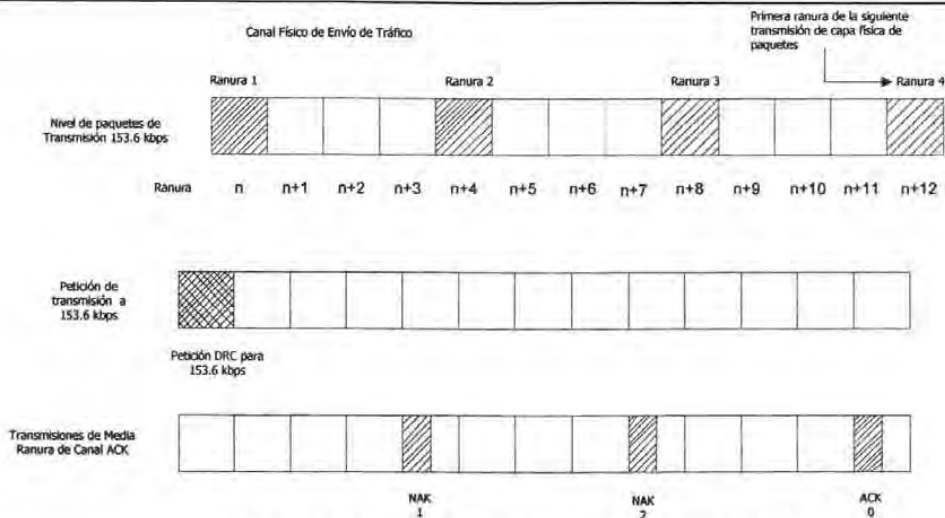


Figura 3.14 Transmisión de paquetes Multiranuras.

El esquema ARQ híbrido mejora la capacidad del enlace de envío, las ranuras de tiempo no utilizadas pueden ser usadas para transmitir otros paquetes de datos gracias a la terminación temprana. La terminación temprana de un paquete recibido exitosamente da como resultado una mayor tasa efectiva de datos.

Por ejemplo: un paquete de datos transmitido a 153.6 kbps ocupa más de cuatro ranuras de tiempo. Si la decodificación es exitosa después de recibir la tercera ranura, la tasa efectiva es de 204.8 kbps. La resolución de la tasa de datos es así mejorada, resultando un rendimiento más alto en el sistema. Vale la pena hacer notar que para una resolución más fina en la tasa de datos es alcanzada sin el requerimiento ésta, en las mediciones y predicciones de C/I.

En los casos de movilidad, se requiere mayor espacio para encabezado para las predicciones de C/I para lograr acomodar la variación rápida en condición de canal. El esquema híbrido ARQ para de transmitir tan pronto como la suficiente energía de señal es recibida, de esta forma elimina la pérdida de rendimiento debido al espacio para encabezado en la predicción de C/I.

El enlace de reversa consiste de un canal de código piloto, un canal de código de reconocimiento ACK (para envío de bit de ACK o NACK en el esquema de ARQ híbrido) y un canal de código de datos. El canal de control de tasa de datos DRC (Data Rate Control) es perforado dentro del canal de código de piloto en cada una de las ranuras de tiempo de 1.67 milisegundos. Los símbolos DRC de 4 bits son codificados con un código bi-ortogonal. Un canal con indicación de tasa de reversa RRI (Reverse Rate Indication) es también perforado dentro del canal de código piloto en cada ranura de tiempo. El tiempo en el canal de código Piloto se muestra en la figura 3.15.

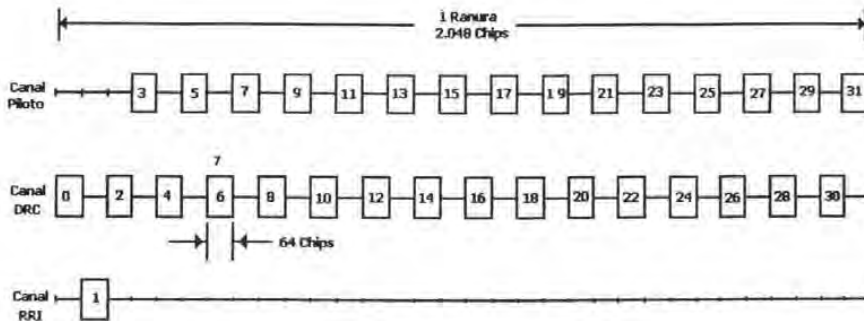


Figura 3.15 Tiempo en el Canal de Código Piloto.

La trama de enlace de reversa tiene una duración de 26.67 milisegundos y puede ser transmitida a una tasa de datos de 9.6, 19.2, 38.4, 76.8 o 153.6 kbps. La terminal de acceso usa el canal RRI para indicar explícitamente la tasa de datos en la cual la trama es transmitida. El símbolo de RRI de 3 bits es codificado con un código ortogonal y repetido para la duración de la trama correspondiente.

El canal de código es modulado en BPSK. Los turbo códigos son usados para correcciones de error en IS-2000. La tasa de código primaria es de $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$. La modulación utilizada para dispersar la señal de CDMA-HDR es QPSK en el enlace de reversa.

Capítulo 4

Normatividad.

Diariamente las organizaciones oficiales y los consorcios de fabricantes generan estándares con el fin de optimizar la vida diaria. La normatividad o estandarización evita las arquitecturas cerradas, los monopolios y los esquemas propietarios.

Los estándares son la esencia de la interconexión de redes de comunicaciones, también son la base de los productos y típicamente estos marcan la diferencia entre la comunicación y la incompatibilidad.

Con el propósito de buscar una estructura y un método de funcionamiento que permitieran conocer los problemas planteados por las tecnologías de comunicación así como también las demandas de los usuarios, en 1865 se funda la Unión Internacional de Telegrafía (ITU). La cual fue la primera organización intergubernamental e internacional. Este fue el primer esfuerzo para estandarizar la comunicaciones en varios países.

Años más tarde en 1884, en Estados Unidos se funda la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), organismo encargado hoy en día de la promulgación de estándares para redes de comunicaciones. En 1906 se funda la IEC (International Electrotechnical Comisión), organismo que define y promulga estándares para ingeniería eléctrica y electrónica. En 1918 se funda la ANSI (American National Standards Institute), otro organismo importante en la estandarización estadounidense y mundial.

En 1932, al fusionarse dos entidades de la antigua ITU, se crea la Unión Internacional de Telecomunicaciones, entidad que hoy en día se encarga de promulgar y adoptar estándares de telecomunicaciones. En 1947, pasada la segunda guerra mundial, se funda la ISO (International Organization for Standarization) entidad que engloba en un ámbito más amplio estándares de varias áreas del conocimiento.

4.1 Normas para redes de 3ª Generación: IMT-2000

IMT-2000 (Internacional Mobile Telecommunications 2000) es un estándar de la ITU definido por un grupo de recomendaciones de la serie M, F, G y Q. Agrupa una familia de sistemas con capacidades y servicios 3G cuya puesta en servicio en la Unión Europea y otros países, como Japón, fue previsto para finales del 2001 y principios del 2002, actualmente se encuentra en servicio.

La tecnología 3G es un término definido por la comunidad global para indicar la siguiente generación de capacidades en los servicios móviles [ITU-1]. Por ejemplo: Mayor capacidad y funcionalidades de redes mejoradas que permitan servicios avanzados y aplicaciones, incluyendo multimedia. Para asegurar un buen servicio 3G, se debe proporcionar a los usuarios una comunicación eficiente, con alta velocidad y calidad, y además fáciles de utilizar.

IMT-2000, es la definición global coordinada por la ITU de los aspectos claves que cubren las comunicaciones 3G, tales como uso de frecuencias del espectro y estándares técnicos. Abarca una gama de servicios y terminales móviles, enlazados a redes terrenas o satelitales y las terminales pueden ser diseñadas para uso móvil o fijo, para ambientes tanto profesionales como domésticos, públicos o privados.

Como se muestra en la figura 4.1.

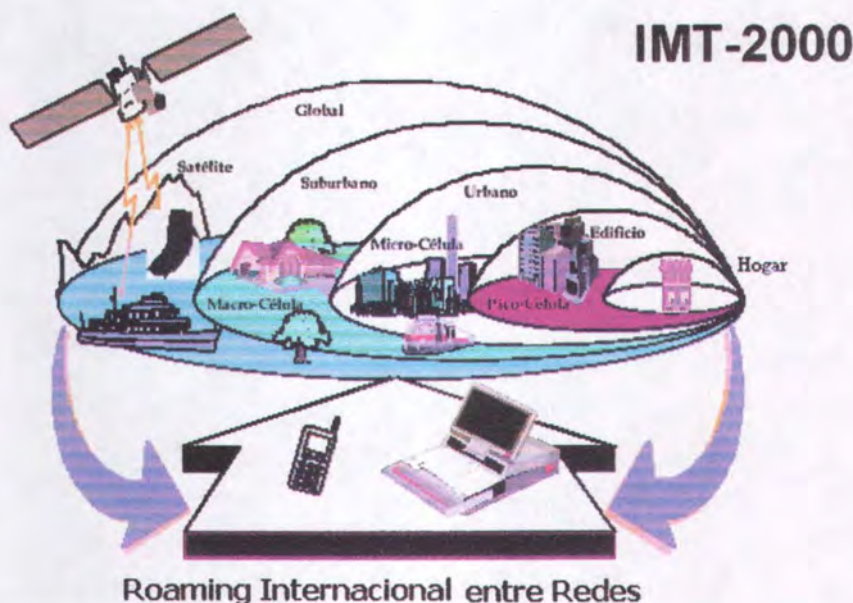


Figura 4.1. Servicios reglamentados por la IMT-2000.

Los sistemas de 3G deben ofrecer:

- Tasas de transmisión de datos altas para operaciones en interiores y exteriores.
- Transmisión simétrica/asimétrica de alta fiabilidad.
- Uso del ancho de banda dinámico, en función de la aplicación.

- Velocidades binarias mucho más altas: 144 kbps en alta movilidad, 384 kbps en espacios abiertos y 2 Mbps en baja movilidad.
- Soporte de conmutación por paquetes (IP) y de circuitos.
- Soporte IP para acceso a Internet (navegación www), videojuegos, comercio electrónico, video, y audio en tiempo real.
- Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- Calidad de voz como en red fija.
- Soporte radio-eléctrico flexible, con utilización más eficaz del espectro, con bandas de frecuencias comunes con todo el mundo.
- Personalización de los servicios, según perfil de usuario.
- Servicios dependientes de la posición (localización) del usuario.
- Incorporación gradual en coexistencia con los sistemas actuales de 2G.
- Roaming incluido el internacional, entre diferentes operadores y tipos de redes.
- Ambientes de funcionamiento marítimo, terrestre y aeronáutico.
- Capacidad de terminales telecargables, multi-banda y multi-entorno.
- Economía de escala y un estándar global y abierto que cubra las necesidades de un mercado de masas.
- Proporcionar un ambiente local virtual VHE: el usuario podrá recibir el mismo servicio independiente de su ubicación geográfica.

Existen razones evidentes que explican la necesidad de introducir 3G, estas son la capacidad de las redes móviles actuales que permiten un número limitado de usuarios, el incremento del tráfico móvil, que sustituye al fijo, la necesidad de más espectro para abaratar los costos y finalmente la aparición de nuevos servicios, muchos de ellos personalizados, donde la convergencia con Internet y el aumento de aplicaciones multimedia significará un aumento de tráfico.

4.1.1 Antecedentes de la IMT-2000

La ITU inició el camino de estandarización de IMT-2000 cuando estableció el denominado *Interim Working Party 8/13* en 1985 (en la ITU-R los estudios los realizó la Comisión de Estudios 8 y en la ITU-T la Comisión de Estudio 11).

Esta iniciativa fue llamada *Future Public Land Movil Telecommunications System (FPLMTS)*, que en 1996 fue denominada IMT-2000, para hacerla más fácil de pronunciar, a la vez que hacía referencia al año en que se esperaba la defición final de estándar IMT-2000.

En 1998 la ITU denominó RTT (*Radio Transmition Technology*) a las tecnologías que harían de interfaz de aire entre las estaciones base y las terminales móviles. En junio de ese año, la ITU recibió 15 propuestas (10 terrestres y 5 satelitales), siendo evaluadas por grupos independientes especiales, los que presentaron los informes en septiembre del mismo año.

Las especificaciones técnicas de la RTT terrestres fueron aprobadas en la Conferencia Mundial de Radio WRC-2000 (World Radio Conference 2000) y se definieron de la siguiente manera:

- IMT-2000 CDMA Direct Spread (UTRA W-CDMA)
- IMT-2000 CDMA Multi Carrier (cdma2000)
- IMT-2000 CDMA TDD (UTRA TD-CDMA)
- IMT-2000 CDMA Single Carrier (UWC-136)

La tabla 4.1 representa, los organismos y las propuestas realizadas.

Organismo	Propuesta	Descripción
ARIB Japón TIA	WCDMA	CDMA de banda Ancha
TR45.5 EUA	Cdma2000	CDMA de banda ancha (IS95)
ETSI SMG2 Europa	UTRA	Acceso Radio Terrestre (UTRA)
TIA TR 45.3 EUA	UWC-136	Comunicaciones Universales Inalámbricas
ETSI Europa	DECT	Comunicaciones Inalámbricas Digitales Mejoradas
CATT China	TD-SCDMA	CDMA síncrono por división de tiempo
TIA TR 46.1 EUA	WIMS	CDMA inalámbrico de banda ancha para multimedia
T1P1 ATIS EUA	NA	CDMA norteamericano de banda ancha
TTA Corea del Sur	CDMA I	DS-CDMA síncrono multibanda
TTA Corea del Sur	CDMA II	DS-CDMA asíncrono
TTA Corea del Sur	SAT CDMA	49 Satélites LEO a 2 Km
ESA Europa	SW-CDMA	CDMA de Banda ancha por satélite
ESA Europa	SW-CTDMA	CDMA/TDMA de banda ancha por satélite
ICO Global	ICO RTT	10 satélites MEO a 10 Km
Comm Inmarsat	Horizon	10 satélites Horizons

Tabla 4.1 Organismos internacionales y sus propuestas.

En la Conferencia Mundial de Radio WRC-92 se definió un rango de 230 MHz de espectro radioeléctrico, sin asociarlo a ninguna tecnología, en las bandas de 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz identificadas para los servicios públicos IMT-2000, incluyendo los componentes por satélite y terrestres. Las bandas para el componente satelital de estos sistemas están comprendidos entre 1980-2010 y 2200 MHz.

Esta decisión se basó en un modelo en el cual los servicios de telefonía se consideraban la fuente de tráfico principal (165 MHz), pero en las redes móviles este es insuficiente. En particular, la aparición de Internet, Intranet, el correo electrónico, así como el comercio electrónico y los servicios de video han aumentado la interoperabilidad de las redes y terminales y el ancho de banda del canal móvil.

Esta mayor demanda de servicios de banda ancha, y el aumento de la penetración de las comunicaciones móviles en la población mundial, creó la necesidad de un espectro adicional para IMT-2000.

La ITU a través del Grupo de Trabajo 8/11 de la ITU-R calculó en 160 MHz sobre las bandas ya identificadas para la componente terrestre IMT-2000 en 1992. Finalmente en la WRC-2000 celebrada en Estambul del 8 de Mayo al 2 de Junio del 2000, se aprobaron los requerimientos de espectro adicionales para IMT-2000. La decisión proporciona 3 bandas, como se ve en la figura 4.2.

A continuación se describen las bandas del espectro.

- Banda 1 GHz (809-960 MHz).
- Banda 1.7 GHz (1710-1885 MHz). Frecuencia en la que funciona actualmente la mayoría de los sistemas de segunda generación, para facilitar la evolución con el tiempo de estos sistemas de tercera generación.
- Banda 2.5 GHz (2500-2690 MHz). Estas frecuencias compiten la banda de 2 GHz ya identificadas para IMT-2000.



Figura 4.2 Distribución actual del espectro IMT-2000 identificado en WRC-2000.

4.1.2 SISTEMAS 3G IMT-2000

Las distintas interfaces de aire propuestas ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones están basadas en CDMA que se acompañan de tres modalidades de operación, cada una de las cuales podría perfectamente funcionar sobre la red base de GSM (GSM-MAP) y sobre la red base de CDMAOne (IS-41). Los distintos entes involucrados en los sistemas 3G han propuesto básicamente dos sistemas de tercera generación: UMTS y CDMA2000.

Las siglas UMTS son la abreviación de Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (Universal Mobile Telecommunications System) y constituye la visión europea con capacidades 3G como parte de la familia de estándares IMT-2000. UMTS es la evolución lógica de la comunidad GSM a la tercera generación por lo que está siendo mayormente adoptado en la Unión Europea.

En Enero de 1998, el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI: European Telecommunications Standards Institute) adoptó la tecnología W-CDMA (Wideband CDMA) en modo FDD con provisión para TDD como la tecnología apropiada para Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRA: UMTS Terrestrial Radio Access), cada una diferente, pero basada en tecnologías similares. Es por esta razón que W-CDMA y UTRA se usan como términos intercambiables.

La combinación de los dos modos (FDD y TDD) ofrece la oportunidad de obtener la mayor eficiencia del mismo sistema bajo cualquier condición (urbana, suburbana, interiores y exteriores).

UMTS, tiene una estructura jerárquica, esto es, está compuesta por tres tipos de celdas: Macro Celda, Micro Celda y Pico Celda con un mínimo de 5 MHz de ancho de banda por Celda. La Macro Celda tiene radios desde 1 Km hasta 35 Km y se destinan para ofrecer cobertura rural y carreteras para vehículos u otros objetos que se mueven a alta velocidad (transmisión de datos de 114 kbps). La Micro Celda tiene radios desde 50 m hasta 1 Km. Ofrecen coberturas localizadas en interiores, con velocidades del orden de los 2 Mbps.

CDMA2000 es un sistema de banda ancha que perfecciona el actual estándar móvil digital de segunda generación cdmaOne (IS-95 CDMA). Permite al usuario obtener mayores velocidades de transmisión de datos y un uso más eficaz del espectro de radio que las técnicas de radio existentes en la actualidad.

Es una tecnología de interfaz de radio de banda ancha compatible con IMT-2000 que podrá utilizarse en todo el continente americano, China, Rusia y la región de Asia- Pacífico, áreas que poseen en este momento redes cdmaOne. Operando en modo TDD y/o FDD, CDMA2000 ofrece velocidades desde 1.2 kbps hasta 2 Mbps y soporte para canales de 1.25-3.75 MHz, 7.5-11.25 MHz con una o múltiples portadoras.

Los 3.6864 Mcps (cps/chip determina el grado de ensanchamiento del espectro de CDM2000) proporcionan una capacidad superior al sistema en desarrollo de 10 y 20 MHz. No así cuando se trata de desarrollo a 5 MHz donde los 4.096 Mcps de W-CDMA proporcionan un mejor rendimiento. CDMA2000 además agrega una banda de guardia de 640 kHz por lado para protección contra interferencia en canales adyacentes (interferencia de co-canal). CDMA2000 opera en sincronía entre el móvil y la estación base.

4.2 Normas para redes CDMA

La normatividad de CDMA2000 para los sistemas de espectro disperso está contenida en varios documentos, entre ellos están los 3GPP2 (3rd Generation Partnership Project 2). Dentro de estos documentos podemos encontrar la familia de normas para CDMA2000 donde se describen las especificaciones para la interfaz que utiliza la tecnología de Acceso Múltiple por División de Código CDMA (Code Division Multiple Access) para alcanzar los requerimientos de los sistemas de comunicación 3G .

Las especificaciones en la familia son:

- C.S0001-0 Introducción a las normas para los Sistemas de Espectro Disperso CDMA2000.
- C.S0002-0 Estándares de la capa física para los Sistemas de Espectro Disperso CDMA2000.
- C.S0003-0 Estándares de Control de Acceso al Medio (MAC) para Sistemas de Espectro Disperso
- C.S0004-0 Estándares de Control de Acceso de Enlaces (LAC) para Sistemas de Espectro Disperso
- C.S0005-0 Estándares de Señalización de Capas Superiores (Capa 3) para Sistemas de Espectro Disperso. Además, la familia incluye una especificación para la operación en análogo, para soportar el modo dual de las estaciones móviles y las estaciones base.
- C.S0006-0 Estándares para la Señalización Análoga para los sistemas de Espectro Esparcido .

El propósito de esta familia es referenciar los requerimientos técnicos contenidos en CDMA2000 para formar un estándar compatible para los sistemas de telecomunicaciones móviles de 800 MHz y sistemas de comunicaciones de Servicios de Comunicación Personal (PCS) de 1.8 a 2.0 GHz.

Estos requerimientos aseguran que una estación móvil pueda obtener servicio en un sistema celular o sistema PCS de acuerdo con los estándares CDMA2000. Estos requerimientos no garantizan la calidad o la confiabilidad del servicio, tampoco cubren el equipo de desempeño o los procedimientos de medición.

En estos estándares también se establece la compatibilidad, esto es cuando se usa en la conexión con cdma2000, es entendida como: "cualquier estación móvil es capaz de colocar y recibir llamadas en cualquier sistema de telecomunicaciones móvil celular en 800 MHz o en 1.8 a 2.0 GHz sistema de CDMA PCS"[3G CS0001-0].

En el sistema origen del suscriptor, todas los establecimientos de llamada son automáticas. Similarmente , es deseable para la realización de una llamada que sea automática aún cuando la estación base esta fuera de su sistema origen "roaming".

Para asegurar la compatibilidad, ambos parámetros de sistemas de radio y procedimientos de llamada son definidos. La secuencia de pasos de proceso de llamada que las BTS y las estaciones móviles ejecutan para establecimiento de llamadas son definidos, junto con los mensajes de control digital y para los sistemas de modo dual, las señales análogas son aquellas que son ejecutadas entre dos estaciones.

La estación base es objeto de diferencias entre los requerimientos de compatibilidad más que la estación móvil. Los niveles de potencia radiada, ambos deseados e indeseados, son especificados en las estaciones móviles, para controlar la interferencia de RF que una estación móvil puede causar a otra.

Las estaciones base son fijas en lugar y sus interferencias son controladas por el propio plan y operación del sistema en el cual la estación opera. Los procedimientos detallados de llamada son específicos para las estaciones móviles para asegurar una respuesta uniforme para todas las estaciones base.

Los procedimientos de la estación base los cuales no afectan la operación de las estaciones móviles son dejadas a los diseñadores de sistemas todo terreno. Esta aproximación para escribir las especificaciones de compatibilidad proporciona al diseñador de los sistemas de tierra con suficiente flexibilidad para responder a las necesidades de servicio local y para tomar en cuenta la topografía local y las condiciones de propagación.

Cdma200 incluye provisiones para adicionar servicios futuros y expansión de las capacidades del sistema. Esta versión de la familia de estándares cdma2000 soporta la Operación de Tasa de Dispersión I [3GPP2 C.S0002].

4.2.1 Arquitectura Cdma2000

La figura 4.3 representa la arquitectura general de cdma2000. El desarrollo de la familia de estándares de cdma2000 tiene la dimensión más grande, adicionadas a la arquitectura por diferentes capas específicas en diferentes estándares.

La capa física se detalla en C.S0002-0, este documento consta de tres secciones: la primera sección es la parte general que define las indicaciones numéricas usadas en ese documento además de describir el tiempo de referencia utilizado en los sistemas CDMA y las tolerancias. La segunda es la parte de requerimientos de estaciones móviles donde se describen los requerimientos de capa física para la operación de las estaciones móviles en el modo CDMA.

Las estaciones móviles que cumplen con los estándares de requerimientos son capaces de operar con las estaciones base de CDMA. Finalmente en la tercera sección se describen los requerimientos para las estaciones base CDMA. Las estaciones base que cumplen con todos los requerimientos son capaces de operar con las estaciones móviles estandarizadas.

La subcapa MAC está definida en C.S0003-0, este estándar proporciona las definiciones detalladas de todas las entidades que componen la subcapa MAC, las interfaces de servicio y las primitivas intercambiadas entre la subcapa MAC y las otras capas en la familia de estándares cdma2000.

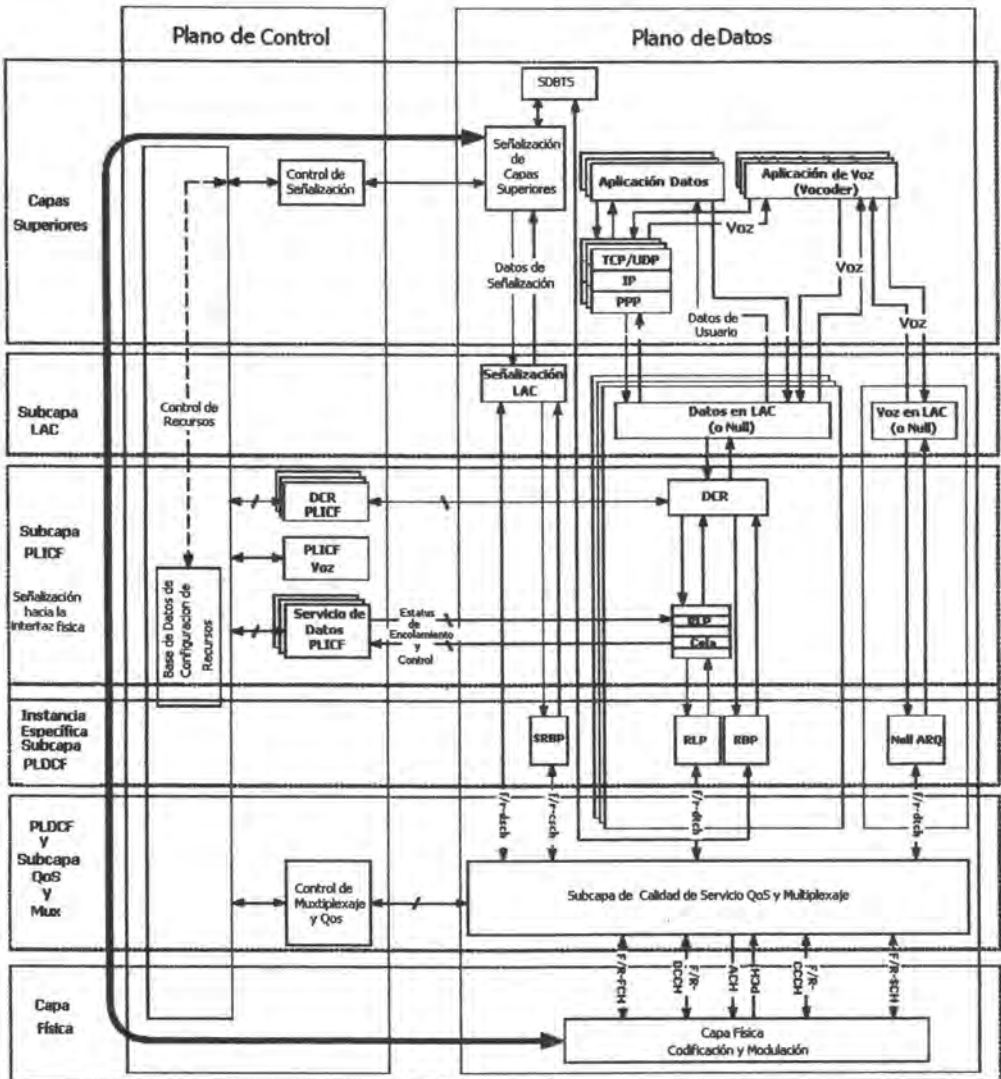


Figura 4.3. Arquitectura de sistema cdma2000.

Este estándar también prescribe los procedimientos normativos para el comportamiento de las entidades de las subcapas MAC. El documento está dividido en dos secciones, la primera de ella contiene de forma general la descripción de la capa y la segunda sección define las normas que describen reglas precisas para cada entidad de las subcapas y especifica los modelos de entidad y servicios.

La subcapa de Control de Acceso de Enlace LAC (Link Access Control) está definida en C.S0004-0. En éste, se define la arquitectura y la funcionalidad usadas para proporcionar transporte y entrega hacia la capa 3 los mensajes de señalización sobre los canales de radio cdma2000. Este documento está dividido en definiciones y modelos conceptuales, requerimientos de la estación móvil, requerimientos de la estación base y anexos.

Las capas superiores de señalización son definidas en C.S00005-0, este documento consta de referencias generales de la capa 3 y superiores. Cdma2000 proporciona compatibilidad completa hacia atrás con TIA/EIA-95-B.

La compatibilidad hacia atrás permite a la infraestructura cdma2000 soportar estaciones móviles TIA/EIA-95-B y permite a las estaciones móviles cdma2000 operar en sistemas TIA/EIA-95-B.

La familia cdma2000 también soporta el re-uso de los estándares existentes de servicios de TIA/EIA-95-B, los cuales definen los servicios de voz y datos, servicios de mensajería corta y servicios de activación y provisión de tiempo aire, con la capa física del sistema cdma2000.

Cdma200 soporta el pase de llamadas de voz "handoff" y datos en todos los servicios de los sistemas TIA-EIA-95-B sobre la nueva norma cdma2000. Algunos escenarios donde se presenta esta funcionalidad son:

- Fronteras de "handoff" y entre una banda de frecuencia sencilla.
- Fronteras de "handoffs" y entre las bandas de frecuencia (asumiendo que la estación móvil tiene capacidad múltiple-banda).
- Entre la misma cobertura de la celda y entre una banda de frecuencia sencilla. Entre la misma cobertura de la celda y entre las bandas de frecuencia (asumiendo que la estación móvil tiene capacidad múltiple-banda.)

Cdma2000 soporta el "handoff" de voz y dato y otros servicios (asumiendo que los servicios cdma2000 puede ser asignados apropiadamente a un servicio TIA/EIA-95-B) desde un sistema cdma2000 a un sistema TIA/EIA-95-B. En los mismos escenarios descritos anteriormente. Algunas formas verbales están usadas en todos los estándares cdma2000.

Convención de canales lógicos

El nombre de un canal lógico consiste de tres letras minúsculas seguidas por "ch" (channel) que significa canal. Un guión es usado después de las primeras letras. La tabla 4.2. muestra la convención para los canales lógicos que son usados en esta familia de estándares.

Primera Letra	Segunda Letra	Tercera Letra
F= Forward	d = Dedicado	t = tráfico
R= Reverse	c = Común	m = MAC
		s = Señalización

Tabla 4.2. Convención de nomenclatura para Canales Lógicos.

Por ejemplo: El nombre de canal lógico para el Canal Envío de Tráfico Dedicado es f-dtch (forward dedicated traffic channel).

Convención de Canales Físicos

Los canales físicos son representados por abreviaturas en letras mayúsculas. Como en el caso de los canales lógicos, las primeras letras indican la dirección del canal (por ejemplo: de envío o de reversa) seguidos por un guión. La tabla 4.3 muestra los nombres y el significado de todos los canales físicos designados en cdma2000.

Nombre del Canal	Canal Físico	Significado
F/R-FCH	Forward/Reverse Fundamental Channel	Canal Fundamental de Envío o Reversa
F/R-DCCH	Forward/Reverse Dedicated Control Channel	Canal Dedicado de control
F/R-SCCH	Forward/Reverse Supplemental Code Channel	Canal de Código Suplementario
F/R-SCH	Forward/Reverse Supplemental Channel	Canal Suplementario
F-PCH	Paging Channel	Canal de Voceo
F-QPCH	Quick Paging Channel	Canal de Voceo Rápido
R-ACH	Access Channel	Canal de Acceso
F/R-CCCH	Forward/Reverse Common Control Channel	Canal de Control Común
F/R-PICH	Forward/Reverse Pilot Channel	Canal Piloto
F-APICH	Dedicated Auxiliary Pilot Channel	Canal Piloto Dedicado Auxiliar
F-TDPICH	Transmit Diversity Pilot Channel	Canal Piloto de Diversidad Transmitida
F-ATDPICH	Auxiliary Transmit Diversity Pilot Channel	Canal Piloto Auxiliar de Diversidad Transmitida
F-SYNCH	Sync Channel	Canal de Sincronía
F-CPCCH	Common Power Control Channel	Canal de Control de Potencia Común
F-CACH	Common Assignment Channel	Canal de Asignación Común
R-EACH	Enhanced Access Channel	Canal de Acceso Mejorado
F-BCCH	Broadcast Control Channel	Canal de Control de Difusión
F-PDCH	Forward Packet Data Channel	Canal de Envío de Paquetes de Datos
F-PDCCH	Forward Packet Data Control Channel	Canal de Control de Paquetes de Datos
R-ACKCH	Reverse Acknowledgment Channel	Canal de Reversa de Aceptación
R-CQICH	Reverse Channel Quality Indicator Channel	Canal de Reversa de Indicador de Calidad

La notación "F/R" y "Forward/Reverse" representan dos canales físicos diferentes.

Tabla 4.3 Nombres de los Canales Físicos.

4.3 Modelo OSI y la Arquitectura CDMA

La figura 4.4 representa la arquitectura general cdma2000 con respecto al modelo OSI. El desarrollo de la familia de estándares cdma2000 tiene que adherirse en cuanto sea posible a la arquitectura de este último, especificando diferentes capas en diferentes estándares.

"IS-95²⁵ tiene una estructura de capa que provee voz, paquetes de datos (más de 64 kbps), circuitos simples de datos (por ejemplo, Fax Asíncrono) y voz simultánea y servicios de paquetes de datos"[3G C.S0003].

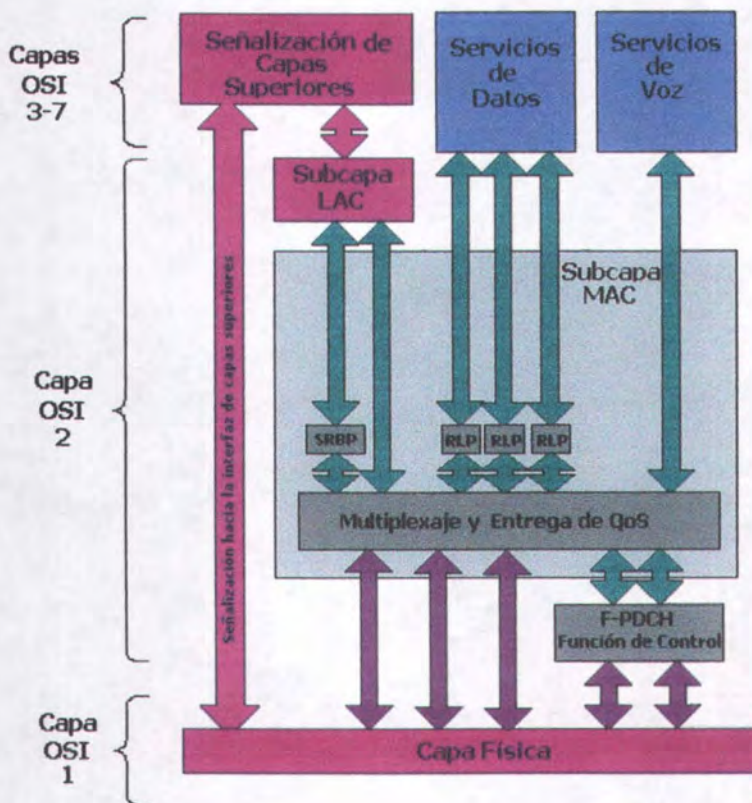


Figura 4.4 Modelo OSI y Arquitectura CDMA.

²⁵ El término IS-95 denota cualquiera de los estándares que son predecesores del estándar cdma2000, por ejemplo IS-95, IS-95-A, y TIA/EIA-95-B.

En el nivel más básico cdma2000 proporciona protocolos y servicios que corresponden a las dos capas o niveles inferiores del modelo de referencia OSI-ISO (por ejemplo: la capa 1 o capa Física y la capa 2 o Capa de Enlace) de acuerdo a la estructura general especificada por la ITU para los sistemas IMT-2000.

La capa 2 es subdividida en la subcapa de Control de Acceso de Enlace (LAC) y en la subcapa de Control de Acceso al Medio (MAC). Las aplicaciones y los protocolos de las capas superiores corresponden al modelo OSI de las capas del 3 al 7, utilizan los servicios proporcionados por los servicios cdma2000 LAC. Los ejemplos incluyen los servicios de señalización, servicios de voz y aplicaciones de paquetes de datos y aplicaciones de circuitos de datos.

Motivados por mayores anchos de banda y la necesidad de manejar una amplia variedad de servicios existen varias mejoras que han sido incorporadas en cdma2000. En cdma2000, un servicio de datos multi-media generalizado se soporta. Esto permite una combinación de voz, paquetes de datos y servicios de circuitos de datos para ser operados concurrentemente (con las limitaciones de la interfaz de aire y la capacidad del sistema). Cdma2000 también incluye un mecanismo de Calidad de Servicio QoS (Quality of Service) para balancear la variedad de requerimientos de QoS de servicios múltiples concurrentes.

En cdma2000, la subcapa MAC proporciona dos funciones importantes:

- El mejor intento de entrega: Transmisión razonablemente confiable sobre el radio enlace con el Protocolo RLP el cual proporciona un nivel de "mejor esfuerzo" de confiabilidad.
- Multiplexaje y control de Calidad de Servicio QoS: Aplicación que negocian los niveles de Calidad de Servicio QoS mediante el manejo de peticiones con conflicto desde los servicios y por la asignación de prioridades de las peticiones de acceso.

En el documento C-S004.0 se define "Capa 2" como el medio de señalización, en este sentido no lleva "tráfico de señalización" (por ejemplo un circuito o paquete de datos) puede tener una Capa 2 diferente no descrita en este documento. Además, algunas funcionalidades de "Capa2" del modelo ISO puede ser ubicado en la capa MAC, pero tal funcionalidad no es señalización específicamente.

Las capas superiores son revisadas en el documento CS005.0 como se ha mencionado anteriormente.

Capítulo 5

Comportamiento Dinámico de CDMA

5.1 Datos sobre la interfaz CDMA

Existen dos formas básicas en las que CDMA maneja datos, por circuitos conmutados y por paquetes conmutados. En todos los sistemas celulares, donde los vocoders manejan voz, esta información de voz se comprime a tasas de 13 kbps o menos. Como resultado, los módems de banda de voz de PSTN (los cuales cuentan con una modulación de fase y otras técnicas para empaquetamiento de datos a tasas tan altas como sean soportadas en un canal de audio típico) no pueden usar servicios de voz celular.

El sistema celular tiene que identificar cuando los datos son enviados y emplear métodos para eliminar la utilización de los vocoders, terminar protocolos de corrección de errores sobre la interfaz de aire y extraer la información del usuario y enviarlos a un módem de banda de voz para su transporte a través de la PSTN. La mayoría de estas funciones son proporcionadas por la función de interconexión de red IWF (Interworking Function).

En una llamada típica de datos, el móvil es conectado a la terminal de datos, específicamente pide una llamada de datos a través de mecanismos construidos en la interfaz de aire. No se requiere de ningún prefijo de marcación para el usuario. Cuando el sistema recibe la petición este asigna recursos en el IWF para manejar la llamada y conectar el canal de interfaz de aire hacia el IWF.

En una llamada de móvil a tierra, los módems IWF están conectados al módem de línea fija a través de la PSTN. El establecimiento de comunicación entre los módems, es igual que en una llamada de datos realizada a través de marcación. Con la convergencia de los servicios fijos y los servicios inalámbricos y con la explosión de Internet, los servicios a altas tasas de transmisión de datos que prometen las tecnologías inalámbricas de 3G, juegan un papel importante en las compañías operadoras para ofrecer un rango más amplio de servicios.

El esfuerzo colectivo de operadores y fabricantes de equipo ha resultado en el desarrollo de varios estándares, en particular IS-2000, UMTS y EGPRS.

5.1.1 Servicio de Circuitos de Datos sobre CDMA

Los servicios de datos de circuitos conmutados en IS-95 basados en los sistemas CDMA, se utilizaron después de dos años desde que los estándares fueron adoptados.

El estándar de la TIA IS-99, Opción para Servicios de Datos en Sistemas Celulares Digitales de Espectro Esparcido de Banda Ancha, especifica la operación del servicio de datos asíncrono típicamente conformado de un control, procesador de protocolo y un banco de módems de banda vocal.

Un equipo externo de IWF puede conectarse a la infraestructura a través de una interfaz de estándares de arquitectura abierta. El protocolo involucrado y los elementos que los implementan se ilustran en la figura 5.1.

Terminal + Estación Móvil

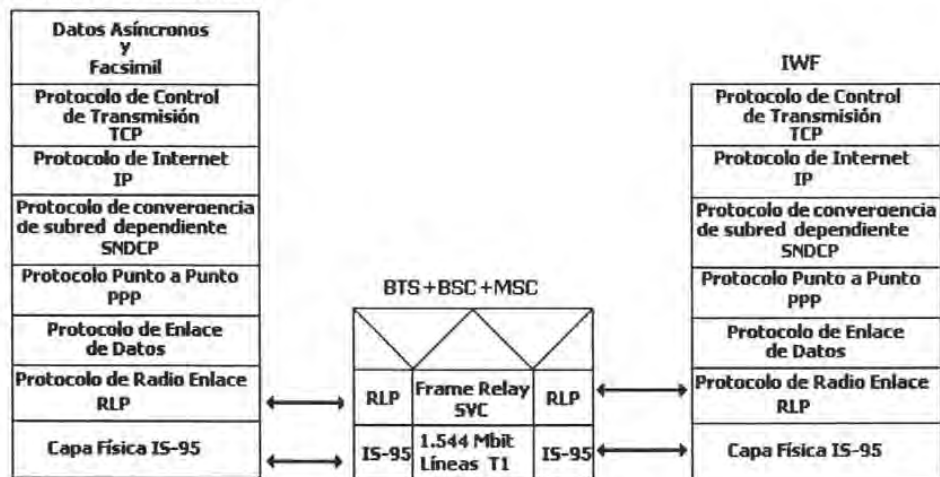


Figura 5.1 Capas de Protocolo para servicio de circuitos de datos.

Para prevenir la pérdida de datos, se desarrolló el protocolo de enlace de datos RLP (*Radio Link Protocol*). La capa de RLP es usada entre los móviles y el sistema de estaciones base. Este protocolo simple usa secuencias numeradas y envía un "reconocimiento" o *Acknowledgment* negativo (NAK) hacia el transmisor cuando se reciba una trama con el número de secuencia desfasado. Si después de un cierto periodo de tiempo, la trama no es recibida, un segundo NAK es enviado hacia el transmisor. Si la trama no es recibida en un cierto periodo, la capa RLP deja de intentar y continua con las tramas restantes.

Los errores residuales tienen que ser corregidos por un protocolo de capas superiores. IS-99 ha elegido a el protocolo TCP para protección adicional como protocolo de capas superiores. En este caso, el TCP es usado entre el móvil y la infraestructura celular y no terminal a terminal. Los encabezados de TCP/IP son comprimidos en la capa del protocolo de convergencia de subred dependiente Sndcp (Subnetwork Dependent Convergence Protocol) usando la técnica de compresión de encabezado de Van Jacobson²⁶.

²⁶ El protocolo Van Jacobson es un protocolo de compresión de TCP el cual mejora el desempeño de TCP/IP sobre bajas velocidades (300 a 19,200 bps) en enlaces seriales. Para más información ver RFC 1332 del Grupo de Trabajo de PPP de la IETF (Internet Task Force).

Esto reduce significativamente la sobrecarga "overhead" de protocolos de 40 bytes a 3 bytes por paquete, lo que significa mayor ancho de banda disponible para la información del usuario. Y utiliza el protocolo punto a punto PPP (point-to-point) en la detección de errores.

Una interfaz abierta entre la infraestructura celular es IWF, la cual incluye módems en banda de voz, se especifica en IS-658 (Función de Interconexión de Interfaz de redes de Servicios de Datos para Sistemas de Espectro Disperso de Ancho de Banda Ancha). Esta se muestra en la figura 5.2. Identificado por su punto de referencia en la arquitectura de la red, la interfaz L consiste de tres componentes:

1. Una trayectoria de datos del móvil
2. Una trayectoria de PSTN
3. Un enlace de Control

La trayectoria de datos del móvil transporta la información digital a una señal codificada para módems de 64 kbps modulada por pulsos PCM (Pulse Code Modulation). La trayectoria PSTN transporta las señales del módem entre IWF y la red de líneas fijas. En el enlace de control se utilizan los estándares de Frame Relay para el establecimiento de cada llamada y además, protocolos de usuarios de red ISDN en la trayectoria de datos del móvil y la trayectoria de PSTN.

La trayectoria de datos del móvil utiliza un circuito virtual conmutado SVC (switched Virtual Circuit) definido en Frame Relay. La interfaz L permite la participación de los vendedores de comunicación de datos para proporcionan un IWF que pueda trabajar en cualquier infraestructura celular.

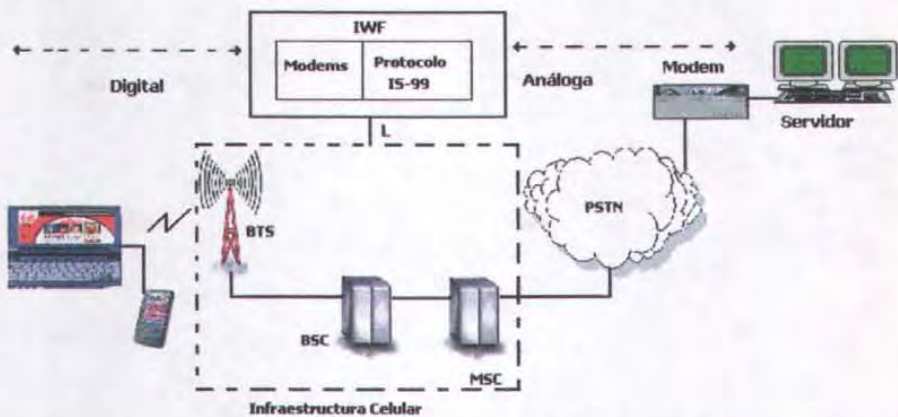


Figura 5.2 Elementos de red que soportan el servicio de circuitos de datos en CDMA.

5.1.2 Servicio de Paquete de Datos sobre CDMA

El servicio de paquetes de datos sobre CDMA fue diseñado de tal forma que no es necesario un transceptor especial en la BTS. El manejo de recursos de RF es realizado en forma idéntica a la de circuitos de datos. Un móvil es asignado en un canal para la duración de las ráfagas de datos. La tecnología CDMA requiere que la potencia de transmisión de cada móvil sea controlada por el sistema²⁷.

Si los móviles envían ráfagas cuando no están bajo control de potencia, la interferencia con los otros afectaría todo el sistema. Para evitar esto, los móviles requieren un canal de tráfico, como en el caso de circuito de datos, utilizando el canal de acceso.

Una vez que el canal es asignado, los móviles envían y reciben información. Cuando no hay transmisión de datos el sistema o el móvil libera el canal. El sistema "vocea" al móvil para entregar la información de datos cuando el móvil no está en el canal de tráfico.

Con la aprobación de la TIA de la recomendación IS-657, la opción de servicios de Paquetes de Datos para sistemas de Espectro Esparcido de Banda Ancha, se pueden ofrecer dos tipos de servicios. Un servicio soporta la movilidad IP basado en CDPD (*Celular Digital Packet Data*).

Así, puede conectarse a la red existente de CDPD a los móviles utilizando la interfaz de aire de CDMA. El segundo servicio puede usarse en cualquier movilidad específica del IETF (*Internet Engineering Task Force*). La capa de enlace asignada utiliza un protocolo punto a punto PPP (*Point-to-Point Protocol*).

IP móvil es un protocolo que es visto como un método alternativo potencial en CDPD para implementar movilidad en IP. Un móvil registra con una función de Agente Externo (*Foreign Agent*) en el "ruteador" de servicio entre el sistema de servicio y obtiene un cuidado especial desde el agente externo.

Entonces contacta la función de Agente Origen en su servidor origen y realiza peticiones en la cual todos los paquetes destinados sean encaminados a un "router" en servicio. Una vez que el móvil es registrado y autenticado, los paquetes enviados por el móvil son encaminados a su destino directamente por el "router" en servicio.

Los estándares de datos han sido consolidados en un conjunto de documentos conocido como IS-707²⁸, Opciones de Servicio de Datos para Sistemas de Espectro Esparcido de Banda Ancha. Se obtienen los servicios de alta velocidad en tasa superior a los 64 kbps. Los canales múltiples a tasas bajas son concatenados para proporcionar un servicio a tasas mayores.

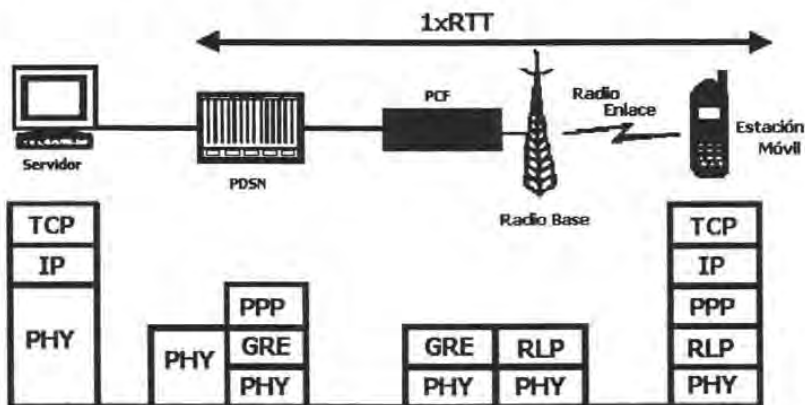
²⁷ No utilizan una técnica de monitoreo o "sensado" y ráfagas como en CDPD Cellular Digital Packet Data o en ARDIS (Advanced Radio Data Information Service).

²⁸ IS-707 es un documento que ha sido publicado por la TIA-EIA, bajo las especificaciones IS-2002-A.

5.1.3 Sistemas de comunicación de datos en los sistemas cdma2000

Los sistemas 1xRTT habilitan las comunicaciones de datos a alta velocidad 144 kbps. La figura 5.3 muestra la configuración de la red de servicios de comunicación de datos en los sistemas 1xRTT y la pila de protocolos TCP/IP.

Cuando el usuario quiere realizar una comunicación IP entre un cliente y un servidor, el cliente establece un enlace punto a punto utilizando un Protocolo Punto a Punto PPP con el Nodo de Servicio de Paquetes de Datos (PDSN). La capa IP en un cliente y un servidor no necesita considerar el protocolo de enlace de Radio o el radio enlace.



PDSN-Nodo de Servicio de Paquete de Datos (Packet Data Serving Node)
 PCF-Función de Control de Paquetes (Packet Control Function)
 TCP-Protocolo de Control de Transmisión (Transmission Control Protocol)
 IP-Protocolo Internet (Internet Protocol)
 PPP-Protocolo Punto a Punto (Point to Point Protocol)
 RLP-Protocolo Radio Enlace (Radio Link Protocol)
 PHY-Capa Física (Physical Layer)
 GRE-Encapsulación General de Enrutamiento (General Routing Encapsulation)

Figura 5.3 Configuración de la red de servicios de datos y los protocolos TCP/IP.

En la figura 5.4 se muestra el flujo de un paquete de datos que es enviado dentro de un sistema 1xRTT. El paquete TCP/IP es enviado desde un servidor hacia el usuario (cliente).

1. Cuando un paquete TCP/IP es enviado desde un servidor a un usuario o estación móvil. El PDSN, que establece el enlace PPP con el usuario, transforma el paquete TCP/IP en la trama PPP.
2. El PDSN encapsula la trama PPP utilizando encapsulación general de encaminamiento GRE (*General Routing Encapsulation*) y envía un paquete GRE a la Función de Control de Paquetes PCF (*Packet Control Function*) y de ahí a la estación base.

3. El PCF y la estación base elimina el encabezado del GRE y divide una trama PPP en tramas RLP cada una es una unidad de transferencia en el radio enlace. Entonces, la PCF la Estación base envía las tramas RLP sobre el enlace del radio en secuencia.
4. El usuario recibe tramas RLP desde la estación base y PCF, reensambla las tramas de RLP y restaura la trama PPP. Entonces, se puede tomar el paquete de TCP/IP desde la trama PPP.

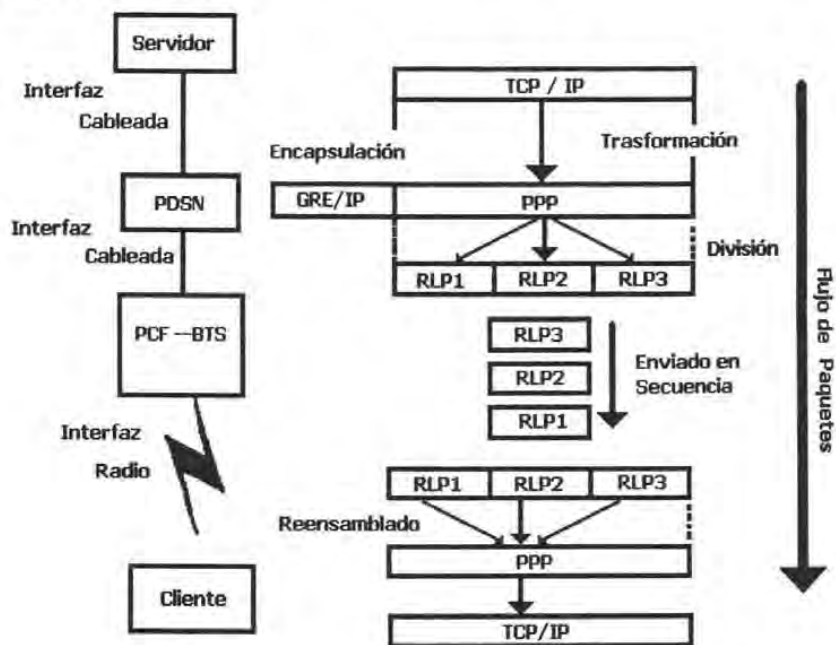


Figura 5.4 Flujo de Paquetes de datos en un sistema 1xRTT

5.1.4 Protocolo RLP

Los sistemas IS-95 y sus evoluciones por ejemplo IS-95B e IS-2000 usan un protocolo NAK (Negative Acknowledgement) de recuperación, a nivel capa de enlace: Protocolo de Radio Enlace (RLP) el cual proporciona un mejor desempeño del radio enlace.

En los sistemas 1xRTT, los enlaces utilizan el Protocolo de Radio Enlace tipo 3. Las tasas soportadas por RLP3 son limitadas a un máximo de 384 kbps. Para soportar tasa más grandes de 384 kbps (por ejemplo 2.0 Mbps) se especifica una versión mejorada llamada RLP3e (RLP3 enhanced) [13]. RLP proporciona un servicio de transporte de cadena de octetos sobre los canales de tráfico de envío y reversa. RLP no es capaz de distinguir el entramado de niveles superiores, opera en una cadena de octetos sin funcionalidades, entregando los octetos en el orden recibido.

En RLP, cuando se detecta una trama RLP pérdida, el receptor RLP envía un número predeterminado de NAKs especificando el número de trama pérdida al emisor de RLP. Los NAKs son espaciados en tiempo para proporcionar diversidad en tiempo.

El emisor RLP retransmite la trama con el número de secuencia especificado en la trama de control de NAK. Los procedimientos reducen la tasa de error exhibido por tráfico en los canales CDMA. "No existe relación directa entre los paquetes de capas superiores y las tramas de tráfico de canal, un paquete de gran tamaño puede ser extendido en múltiples tramas de canal de tráfico o en una trama de canal que puede contener todo o partes de paquetes de capas más altas" [3G C.S0017].

El RLP tiene las siguientes funciones:

- **Función de Envío RLP:** divide un paquete de capas superiores en tramas RLP cada una de las cuales es una unidad de transferencia sobre el enlace de radio, agrega una secuencia numérica a las tramas RLP y envía las tramas RLP sobre el enlace de radio. En el enlace de radio la trama RLP es enviada cada 20 milisegundos²⁹. Por lo tanto un paquete de capas superiores necesitan ser divididas en tramas de tamaño más pequeños, debido a tramas RLP necesitan una longitud que puede ser enviada entre 20 milisegundos por el ancho de banda asignado al cliente.
- **Función de Recepción RLP:** ordena la tramas recibidas RLP en secuencia y restaura los paquetes de capas superiores desde las tramas RLP recibidas.
- **Función de Retransmisión RLP:** retransmite las tramas RLP cuando los errores ocurren en el enlace de radio. Las retransmisiones son basadas en reconocimientos negativos NAK (Negative Acknowledgements) para usar el ancho de banda del radio enlace efectivamente. La figura 5.5 muestra el procedimiento de retransmisión en detalle.

La trama PPP es recibida desde el PDSN, y dividido en tramas RLP en el PCF/Estación Base. En la figura 5.5 la trama PPP se divide en 3 tramas RLP. Las tres tramas RLP son enviadas sobre el enlace de radio en secuencia. En el enlace de radio un error se asume ocurre en el RLP2. Las tramas RLP excluyente RLP2 son registradas con el buffer de recepción de la estación móvil.

La petición de retransmisión de RLP2, el usuario envía la trama de control NAK hacia el PCF/Estación Base. Esta retransmite el RLP2. Ahí el usuario registra RLP2, con el buffer recibido y reensambla las tramas RLP y restaura la trama PPP. La técnica de control de flujo utilizada para la recuperación de tramas RLP es la denominada *Selective Repeat*.

²⁹ Cualquier tipo de trama RLP (con tráfico primario o secundario) se genera cada 20 milisegundos y cada trama contiene los bits de opción de servicio. Bajo comando el RLP puede generar tramas en blanco. Las tramas en blanco no contienen bits y son utilizadas para transmisión en ráfagas de tráfico de señalización.

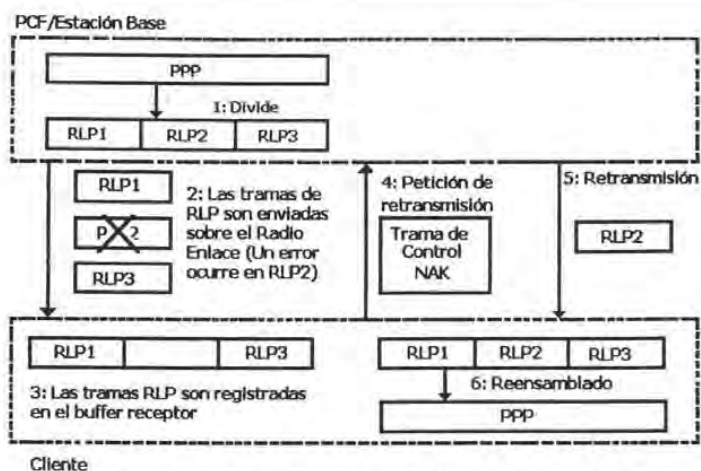


Figura 5.5 Procedimiento de retransmisión en el protocolo RLP.

Si una trama RLP retransmitida llega con un error otra vez, es retransmitida con un máximo de "n" veces configurada en el sistema $1xRTT$. Una trama que no es recibida causa un error en una trama PPP, aunque la retransmisión RLP haya sido realizada. En este caso, ya que los paquetes IP pueden alcanzar la terminal de destino y las capas superiores (tales como la TCP) retransmiten este paquete.

Cuando transmite información RLP es un protocolo con base en NAK. Esto es, el receptor no tiene conocimiento de las tramas recibidas, solo pide retransmisión de las tramas de datos que no son recibidas [3G C.S0017].

5.2 Análisis de movilidad en las redes de 3ª generación

Los servicios futuros demandan diferentes tipos de tasas de datos para diferentes aplicaciones. Muchas de estas aplicaciones tales como multimedia, aplicaciones de video y aplicaciones de servidor necesitan más de 64 kbps, las cuales no están disponibles en los sistemas 2G. Se requieren tasas mayores en 3G, además de soporte para aplicaciones de voz. Ya que aunque existen otros servicios, la voz sigue siendo la aplicación primaria en las redes inalámbricas.

Cuando ambos servicios (voz y datos) entran en funcionamiento al mismo tiempo, el flujo de datos para cada uno no presenta cambios. Es importante notar que la información para ambos servicios fluyen a través de la misma red de radio (BSC-BTS). Es responsabilidad de la red de radio asegurar que la información sea programada para conocer la calidad de los requerimientos del servicio para cada aplicación.

Existen varios niveles de movilidad en las redes 1xRTT. Por ejemplo, en el contexto de un servicio de voz, la movilidad deben ser manejada en ambos niveles: red de radio (RAN), de circuitos conmutados (CS-CN).

El manejo de la movilidad es necesario para los circuitos de paquetes y para los paquetes conmutados. Para hacer este proceso transparente al usuario, la red de conmutación de paquetes (PS-CN) deber ser capaz de también de manejar movilidad. Las funciones de manejo de movilidad se analiza en tres niveles:

- ❖ Movilidad en la red de radio (RAN).
- ❖ Movilidad en la red de conmutación de circuitos (CS-CN).
- ❖ Movilidad en la red de conmutación de paquetes (PS-CN).

El manejo de movilidad de voz se realiza mediante softhandoffs, en 1xRTT es similar a los realizados en IS-95. En el caso de los datos a alta velocidad esto es un problema. Si el usuario tiene una sesión activa de paquetes y es un proceso para transferir información probablemente existirán dos canales asignados en la interfaz de aire. 1xRTT permite a la BSC manejar por separado estos dos canales del conjunto de servicios activos.

Si existen dos BSCs conectados a una central móvil MSC y un móvil cruza la frontera entre estos, se disparara un mecanismo llamado inter-bsc-softhandoff en el cual una BSC puede usar temporalmente recursos o BTS, de una BSC adyacente para soportar el servicio de la llamada. Si el usuario continua moviéndose dentro del área de cobertura de la BSC adyacente, el "handoff" se completará y el control de la llamada será transferido desde la BSC inicial a su sucesor. Para completar dentro la central se realiza un "hard handoff". Como se indica en la figura 5.6

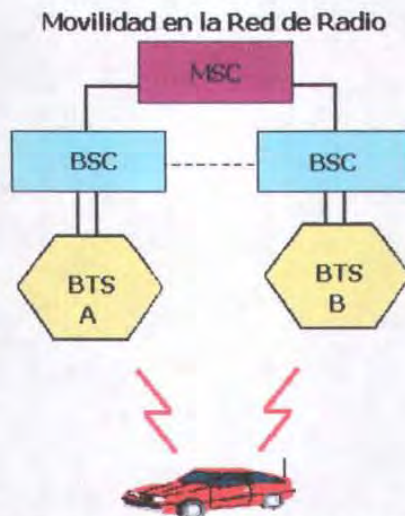


Figura 5.6 Movilidad en la Red de Radio (RAN).

Cuando el móvil no está cursando llamada, tiene la responsabilidad de detectar cuando se mueve dentro del área de cobertura de una nueva BTS. Si se encuentra en una BTS que pertenece a otra BSC o a otra central móvil MSC, el móvil debe informar al sistema que se ha movido por medio del registro con el nuevo MSC o PDSN. Así el móvil administra los procesos de movilidad.

5.2.1 Movilidad en voz

Este tipo de movilidad tiene dos objetivos. El primero, es mantener una llamada activa, y que sea transparente la transferencia de una llamada de una red de circuitos conmutados (CS-CN) a otra cuando el usuario cruza una frontera entre sistemas (*Intersystem Border*).

Para soportar esta funcionalidad, la red de circuitos conmutados deja sobre la red de acceso de radio (RAN) el manejo de movilidad entre las áreas de cobertura de la RAN e informa al MSC cuando una llamada activa debe pasar por "hand off" a otro sistema adyacente. Como se muestra en la figura 5.7.

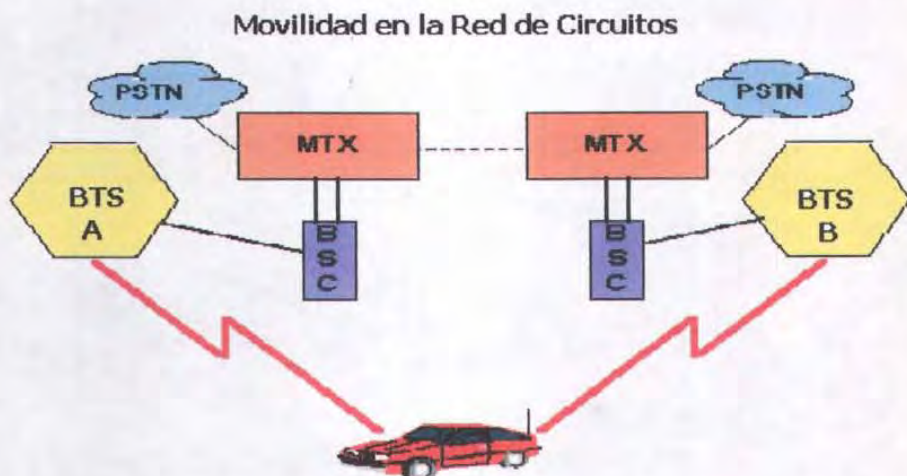


Figura 5.7. Movilidad en la Red de Circuitos (CS-CN).

El segundo objetivo del manejo de movilidad es el seguimiento de la ubicación del usuario para entregar las llamadas entrantes exitosamente y transparentemente, en el sistema origen o en otra red, comúnmente conocido como "*Roaming Automático*". En este, el móvil es responsable de informar a la red de circuitos conmutados los cambios en su ubicación.

5.2.2 Movilidad en datos

Las redes 1xRTT soportan dos opciones de movilidad, la IP simple y la IP móvil. La primera opción es usada cuando se requiere movilidad limitada. Cuando el móvil se mueve de un PDSN a otro PDSN, la conexión de servicio o aplicación existente se pierde y el usuario tiene que reestablecer aquellas conexiones.

Por ejemplo, si el usuario está en medio de una sesión para bajar una página de Internet, el usuario tendrá que volver a bajar la página entera otra vez.

Las situaciones que enfrenta la red de conmutación de paquetes son similares a la red de conmutación de circuitos. Sin embargo, cuando un usuario tiene una sesión activa de datos (envío de paquetes) el objetivo se duplica:

- 1) Es necesario mantener la sesión cuando un usuario se mueve en la red, y
- 2) Hacer transparente esta movilidad del usuario a los servicios de Internet.

Para cumplir estos objetivos, el sistema debe manejar movilidad cuando las fronteras entre redes de acceso de radio y cuando las fronteras de PDSN son cruzadas. En la figura 5.8 se puede observar este escenario.

En el caso de movilidad entre fronteras de un PDSN, las direcciones IP no se afectan. La PDSN es la representación de Internet para los usuarios de paquetes de datos cdma2000. Sin embargo, si la PDSN no cambia, entonces desde la perspectiva de los servicios de Internet, el usuario no se ha movido.

Sin embargo, se debe mantener la comunicación entre el móvil y la Internet. Así la PDSN siempre debe cuidar la información de la conexión de los paquetes de radio del usuario.

La introducción de los servicios de paquetes de datos y una nueva red agrega un nuevo reto para el manejo de movilidad. Para llamadas de voz, es necesario interactuar con la red telefónica pública. La asignación de rutas en la PSTN está basada en el principio de que un número telefónico está asignado a una ubicación fija física. Las llamadas son enviadas hacia la localización usando códigos de área de intercambio.

Las redes móviles proveen una movilidad similar escondiendo los eventos similares de la PSTN. En el caso de los paquetes, por otro lado, no interactúan con la PSTN y no usan números telefónicos para identificar a los usuarios. Estos utilizan los servicios típicos de Internet y los usuarios se identifican por una dirección IP.

Al igual que los números telefónicos en la PSTN, las direcciones IP son dadas a una locación fija. La PDSN es la propietaria de la dirección IP del usuario y representa por sí mismo la locación fija del usuario en Internet.

En tanto que el usuario no salga del área de cobertura de un PDSN, no se requiere de manejo de movilidad desde la red de paquetes conmutados, sólo el seguimiento de la red de acceso de radio (RAN) mientras la llamada este en servicio. El manejo de la IP móvil se presenta cuando una frontera PDSN es cruzada.

El objetivo del manejo de movilidad es proveer una experiencia transparente al usuario. Se requiere ser capaz de mantener una sesión de datos, sin tener que recomenzar la aplicación y reasignar una dirección IP.

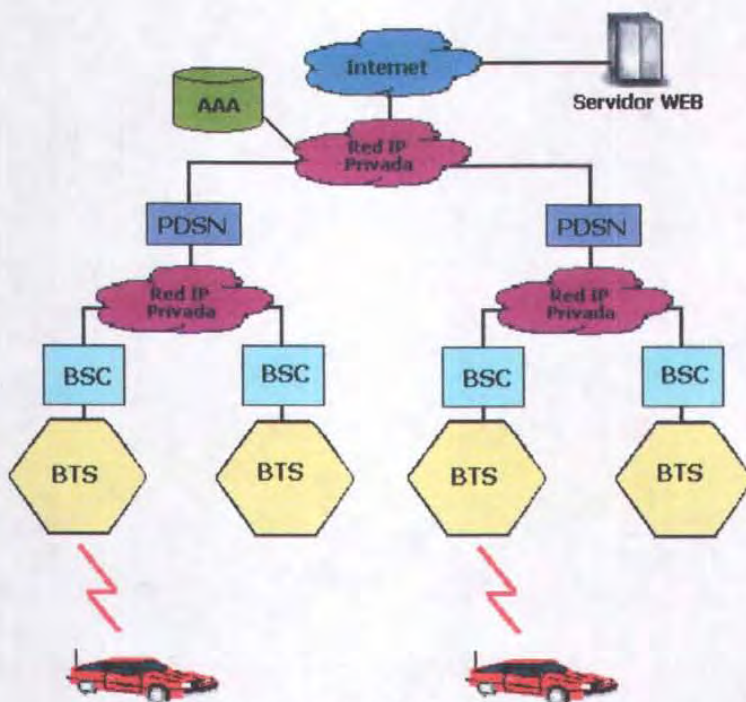


Figura 5.8 Movilidad en la Red de Datos (PS-CN.)

Así cuando se cruza una frontera PDSN, la red es capaz de manejar esta situación. Es responsabilidad de la PDSN hacer transparente de Internet la movilidad del usuario. En un cruce de frontera PDSN, la IP debe actualizarse, implicando que la sesión de paquetes debe ser liberada y comenzarse otra vez; o utilizar un mecanismo tal como la IP móvil para hacer una actualización transparente al usuario para mantener la sesión sin notar de que el móvil ha cambiado de área de cobertura. En el caso de IP móvil se requieren las entidades de Agente Origen (HA) y Agente Externo (FA).

5.3 Análisis de tasa efectiva de transmisión de datos "Throughput" de la red

En los servicios de datos de los sistemas 3G, el rendimiento³⁰ o "throughput" TCP es afectado por la asignación dinámica del ancho de banda basado en el número de usuarios en la celda y el tráfico de datos del usuario. Sin embargo, si un usuario puede obtener buen ancho de banda para comunicaciones de datos, puede no ser capaz de obtener un rendimiento TCP. Esto es aparentemente debido a retransmisiones TCP causados por errores en el radio enlace para los móviles 3G.

En este capítulo vamos a realizar una comparación entre los valores obtenidos bajo simulación y los valores obtenidos en una red 1xRTT puesta en servicio.

En algunos países³¹ los servicios de telefonía 3G móvil han empezado a brindar servicios de datos a tasas de velocidad altas. Además, los proveedores de servicio ofrecen servicios multimedia tal como correo electrónico con imágenes o funciones de película o teléfonos móviles.

En las comunicaciones móviles de datos de 3G, el rendimiento "throughput" es afectado por la asignación dinámica de ancho de banda por el número de usuarios en la celda y el tráfico de datos. Sin embargo a pesar de que pueda obtener suficiente ancho de banda en las comunicaciones de datos, estos no son capaces de obtener un buen rendimiento en TCP. Esto es aparentemente debido a las retransmisiones TCP causadas por errores en el radio enlace de móviles de 3G.

Los autores en [S2] desarrollaron programas de simulación para los sistemas cdma2000 1xRTT, es decir un sistema móvil de 3G y evaluaron el desempeño de TCP en los sistemas cdma2000 1x. Los resultados de la simulación muestran que el enlace de radio de los sistemas cdma2000 1x tiene un efecto en el rendimiento de TCP. La configuración de los parámetros de TCP en los sistemas cdma2000 1x son también descritos. En los sistemas reales sucede algo similar hay que encontrar los valores adecuados para un buen desempeño en la red.

En los sistemas 1xRTT al igual que en los IS-95, existen dos enlaces de radio, el enlace de envío (de la estación base a la estación móvil) y el enlace de reversa (de la estación móvil hacia la estación base). Los canales más importantes involucrados en la transferencia de datos son:

Canal de Señalización: Este canal es usado para la conexión de establecimiento entre la estación base y el usuario. También realiza el intercambio de información de control enviando potencia e información de ancho de banda, etc.

³⁰ Rendimiento o "throughput" son utilizados indistintamente

³¹ Tales como Japón, Estados Unidos, Chile, Brasil y algunos otros países en Asia.

Canal de Tráfico: Este es usado para envío y recepción de tráfico del usuario.

Existen dos canales lógicos en el canal de tráfico.

1. **Canal Fundamental (FCH):** Este canal siempre existe cuando la conexión se establece entre la estación base y el cliente. El ancho de banda de este canal es de 9.6 kbps por enlace (envío y reversa).
2. **Canal Suplementario (SCH):** Este canal no existe inmediatamente después de que la conexión entre la estación base y el cliente se establece. Aparece cuando la estación base, lo indica de forma dinámica y asigna este canal con base en el número de clientes presentes en la BTS, así como la cantidad de tráfico de cada usuario.

En la tabla 5.1 se muestra la capacidad del canal suplementario:

Enlace	Capacidad de Canal (kbps)					
	0	9.6	19.2	38.4	76.8	153.6
Envío	0	9.6	19.2	38.4	76.8	153.6
Reversa	0	9.6	19.2	38.4	76.8	----

Tabla 5.1 Tasas de transmisión para el Canal Suplementario

Ya que los canales fundamental y suplementario (FCH y SCH) son multiplexados por CDMA, ambos pueden ser usados al mismo tiempo si el canal suplementario (SCH) es asignado. Por lo tanto, el usuario no necesita considerar la diferencia entre fundamental y suplementario y se observa como si el ancho de banda³² de un radio enlace cambiara dinámicamente.

Usualmente en los sistemas 1xRTT, solo el canal fundamental es usado para la transferencia de datos inmediatamente después de que la conexión entre la estación base y la estación móvil se establece. Entonces si la cantidad de transferencia de datos se incrementa, ambos canales fundamental y suplementario son utilizados como se muestra en la figura 5.9.



Figura 5.9 Asignación de Ancho de Banda en el canal de envío.

³² La palabra "ancho de banda" en esta sección significa el ancho de banda en el enlace de radio en los sistemas 1x.RTT No es lo mismo que el ancho de banda de TCP, debido a que los encabezados del enlace de radio suprimen el ancho de banda de cada enlace de radio. El máximo valor del TCP teórico en los sistemas es de 144 kbps si existen ambos canales fundamental FCH (9.6 kbps) y suplementario SCH (153.6 kbps).

5.3.1 Desempeño de TCP sobre el enlace de radio.

El programa de simulación utilizado en [S2] permite evaluar el comportamiento del usuario del tráfico con TCP. Los principios del software utilizado para la implementación son:

- El software de simulación consideró los módulos de configuración de red, el radio enlace y el protocolo de radio enlace, los cuales están relacionados con el tráfico de usuario en los sistemas 1x. Estos módulos siguen los estándares establecidos por 3GPP2.
- La asignación de ancho de banda, que se implementa en los módulos, utiliza como referencia un sistema real 1xRTT.
- Los errores ocurridos en el radio enlace se provocaron de forma aleatoria, siguiendo el cociente de error configurado hacia la trama de RLP. El cociente de error puede ser configurado independientemente para el enlace de envío o de reversa o del canal fundamental o suplementario FCH o SCH.

Para investigar como el desempeño TCP es afectado por el enlace del sistema 1xRTT a partir de mediciones. Se utilizó la configuración mostrada en la figura 5.10.

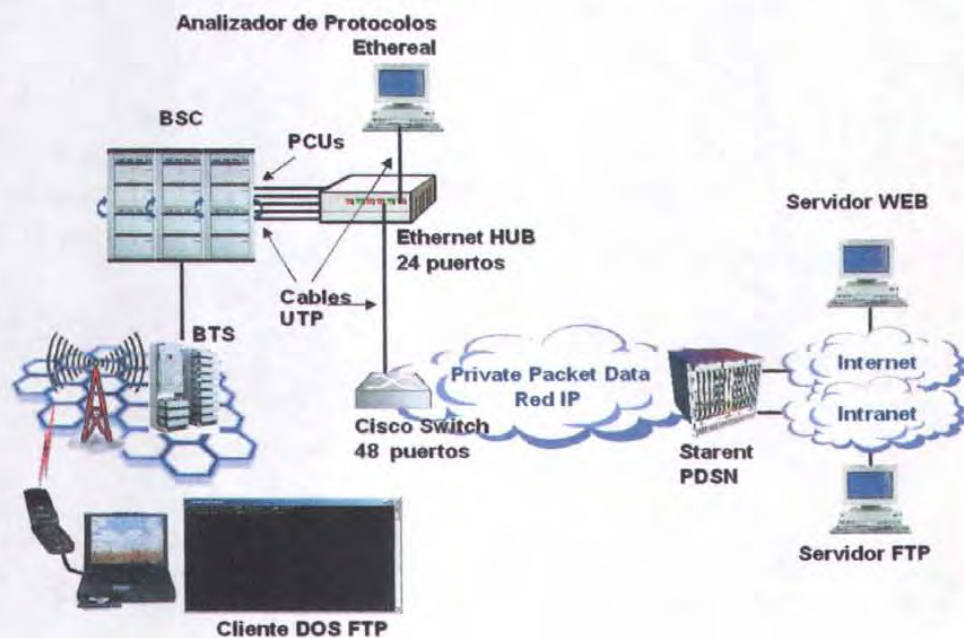


Figura 5.10 Escenario montado para las mediciones.

Estos resultados se obtuvieron de una visita que se realizó a la empresa Telefónica de Portugal en la ciudad de Porto Alegre en Brasil. Durante la primera fase de implementación de datos sobre una red CDMA en los meses de noviembre y diciembre del año 2003.

Las mediciones se realizaron con una computadora portátil y también se obtuvieron métricas de los equipos BTS, BSC a través de la interfaz de monitoreo del equipo (BSSM Base Station System Monitoring) y además del PDSN (Starent).

Una computadora portátil fue conectada a través de un cable-módem a una terminal móvil (teléfono celular) de esta forma podía acceder a la Internet, a través de la red celular. La computadora también se conectó a través del puerto de red a un hub de tipo Ethernet.

El objetivo fue monitorear la cantidad de paquetes de datos que enviaba el PDSN (Servidor de Internet) con un Analizador de Protocolos (Ethereal), así como la cantidad de paquetes que llegaban a la estación móvil y de ella a la computadora portátil.

Para todas las mediciones se tomaron en cuenta los parámetros siguientes:

SIMULACION	DATOS REALES
TCP Reno ³³	TCP Reno
Usando TCP (estándar)	Usando TCP (estándar)
No usando opciones TCP (SACK, etc)	No usando opciones TCP (SACK, etc)
MTU 1500, bytes	MTU 1500, 1000, 500 bytes

El cociente de error de la trama RLP utilizó un FCH de 1% (en todas las simulaciones) y este mismo fue utilizado en la mediciones del sistema real. Para la simulación de SCH se consideraron varios valores (configurados en cada simulación) en el caso real, este valor fue variando dependiendo de la aplicación.

Se asume que el cliente puede obtener el ancho de banda requerido en el radio enlace. En el sistema real estas mediciones se realizaron a horas de bajo tráfico, para asegurar recursos necesarios.

El procedimiento del rendimiento de TCP es la mayoría de transferencia de datos durante 120 segundos. Se adoptó un valor de medición que es el promedio en 10 mediciones excluyendo el mínimo y el máximo en ambos casos simulación y medición de datos reales.

La evolución a 3G es motivada básicamente por las aplicaciones de datos. Se espera que la navegación en Internet sea el servicio predominante de datos de alta velocidad sobre las redes inalámbricas. Actualmente este servicio contribuye con más del 80%, del tráfico transportado en Internet [13].

³³ TCP Reno soporta retransmisión y recuperación rápida.

Las aplicaciones de navegación en Internet emplean el Protocolo de Transferencia de Hipertexto (HTTP) para recuperar esta información de los servidores.

A su vez el Protocolo de Transferencia de Hipertexto, utiliza el Protocolo de Control de Transmisión TCP como mecanismo de transporte. Para evaluar a este último de forma real se realizaron mediciones para diferentes aplicaciones de "FTP" y "HTTP".

En la figura 5.11 se muestra una medición realizada para un FTP, con diferentes herramientas³⁴ para encontrar los valores de rendimiento promedio.

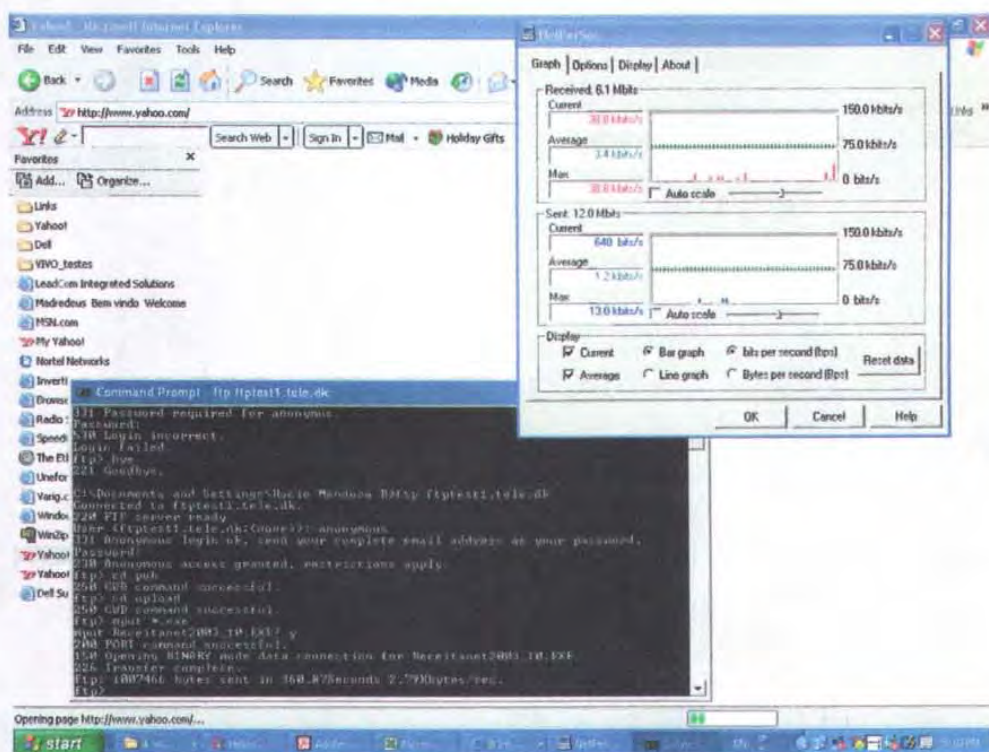


Figura 5.11 Monitoreo de una aplicación FTP.

En la tabla 5.2 se muestran los resultados del rendimiento obtenido para diferentes sitios de Internet y aplicaciones FTP, estos valores promedio fueron tomados con Netpersec.

³⁴ En este caso se utilizó cliente DOS FTP, software de monitoreo (NETPERSEC) de Ancho de Banda NETPERSEC, además del analizador de protocolos (ETHEREAL).

Prueba	Sitio Internet y/o Aplicación FTP	Rendimiento Throughput [kbps]
1	http://www.vivo.com.br/	2
2	http://www.clickrbs.com.br/	18
3	http://www.receita.fazenda.gov.br/	20
4	http://www.terra.com.br/	30
5	http://www.uol.com.br/	7
6	ftp://ftp.matrix.com.br/pub/apache/dist/httpd/apache_1.3.29.tar.gz	70
7	Entrar a una cuenta de correo en Internet y envío de correo electrónico con un archivo de 500kbps.	50
8	Subir un archivo de 500Kbytes a un servidor FTP público ftptest1.tele.dk, /pub/upload (login: anonymous)	18

Tabla 5.2 Rendimiento obtenido en mediciones reales.

En las simulaciones se encontró que cuando se utilizaba el tamaño de ventana TCP de 16 KB y 64 KB, el resultado era similar al de la ventana de TCP de 32 KB. En el sistema real se presenta esta misma situación como se puede observar en la figura 5.12.

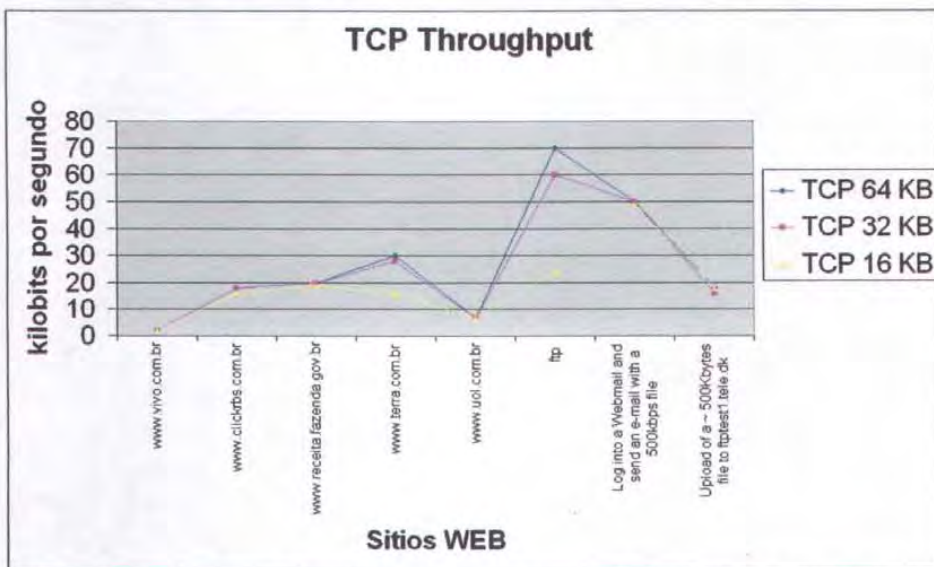


Figura 5.12 TCP Throughput para diferentes tamaños de ventanas 16,32 y 64 KB.

Con respecto al tamaño del MTU en la simulación se utilizó de 1500 y en el sistema real se utilizaron tamaños incluyendo 1500, al establecer un valor de MTU hay que considerar algunos factores tales como los encabezados de empaquetamiento.

Ya que a tamaños mayores de MTU se utilizan menos encabezados para la carga útil de TCP y se mejora el rendimiento.

Por ejemplo en la figura 5.13 se muestra una carga útil de 1460, y con sus respectivos encabezados, 20 bytes para TCP y 20 bytes para IP. Esto es una MTU de 1500 bytes. Las tramas RLP son fraccionadas de acuerdo al equipo que maneja el protocolo. Aunque un tamaño típico de tramas es de 30 bytes. En este ejemplo, se utilizan tramas de 52 bytes.

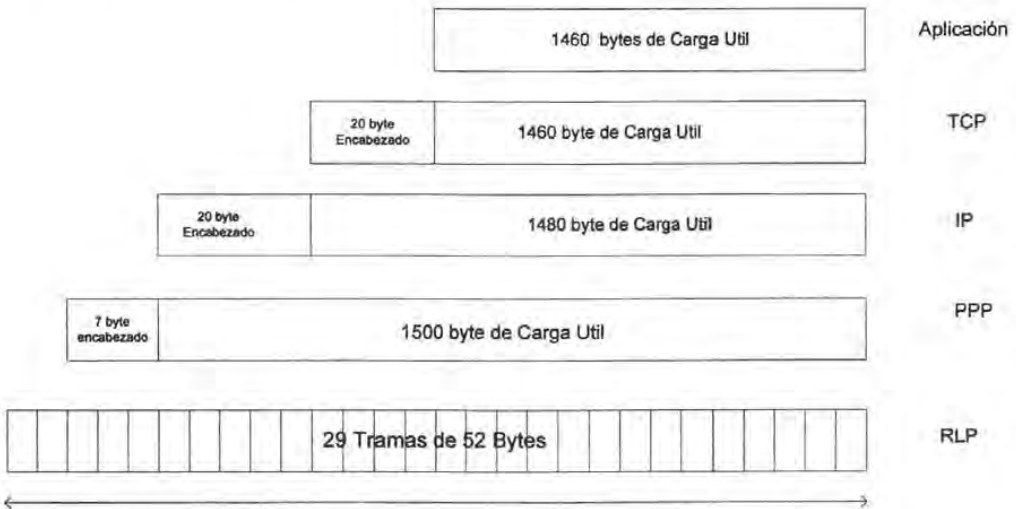


Figura 5.13 Fragmentación de una carga útil de 1460 bytes.

Se realizó un análisis del rendimiento volumétrico de TCP para observar si el "throughput", podría verse afectado por el tamaño de carga útil. En este caso las figuras 5.14, 5.15 y 5.16 nos muestran la eficiencia volumétrica para diferentes cargas útiles (536, 960 y 1460) en TCP.

Como se puede observar para cargas útiles mayores, por ejemplo para un paquete de 960 bytes, el tamaño de MTU es de 1000 bytes incluyendo los encabezados de TCP/IP. Estos encabezados representan el 4% de la carga útil y por lo tanto proporciona un mejor desempeño que en paquetes de 536, donde el número de encabezados representa un porcentaje de 7%.

A diferencia de un MTU de 1500 (1460 de carga útil) presenta una mejora con al presentar un 2% de encabezados con respecto a la carga útil.

Por ejemplo para un paquete de información de 1400 bytes, tenemos que para los diferentes tamaños de carga útil 536, 960 y 1460, la eficiencia respectivamente es de 95.89%, 97.22% y 98.59%. Aproximadamente 1.3% de mejora de 1460 con respecto a un paquete de 960 y 2.7% mayor a una carga de 536.

Entre más pequeño sea el tamaño del paquete de datos, por ejemplo 100 bytes, se experimenta una reducción considerable en la eficiencia como puede verse en las gráficas. Es decir mientras que para un paquete de datos de 100 bytes tengo una eficiencia volumétrica de 83.3%. Para un tamaño de paquete de 1400 tengo una eficiencia de 98.59%.

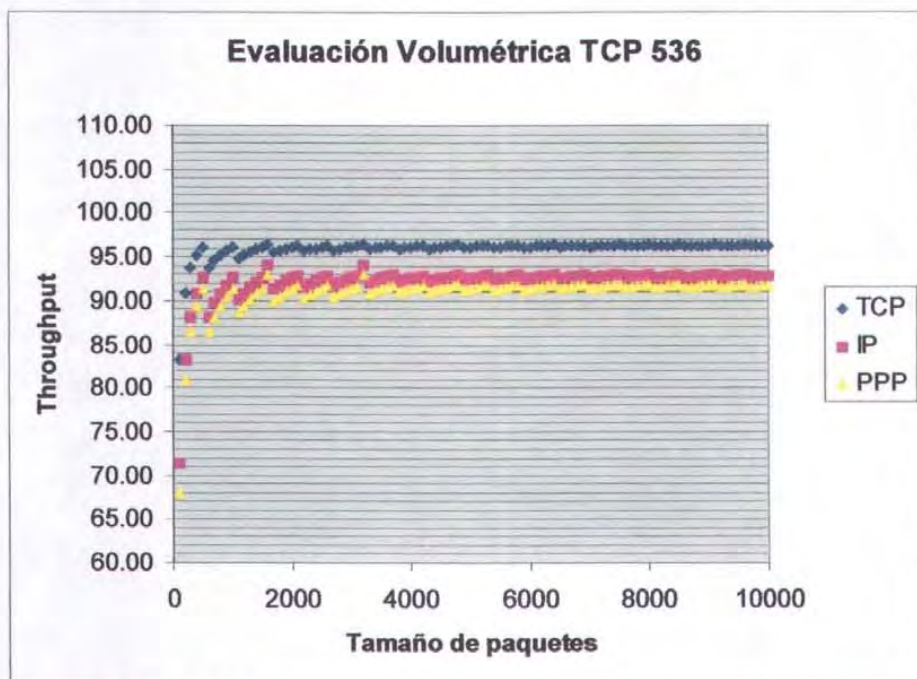


Figura 5.14. Desempeño de una carga útil en TCP de tamaño 536.

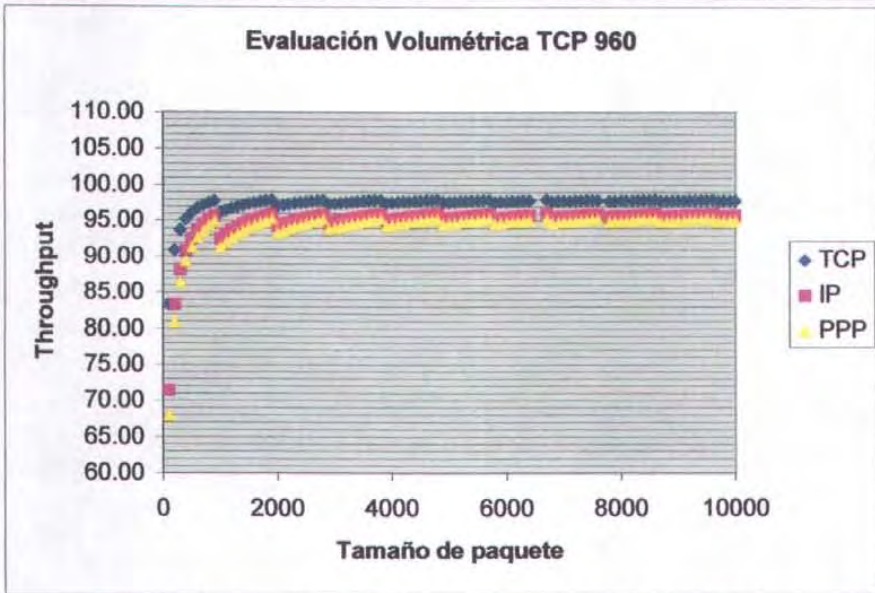


Figura 5.15 Desempeño de una carga útil en TCP de tamaño 960.

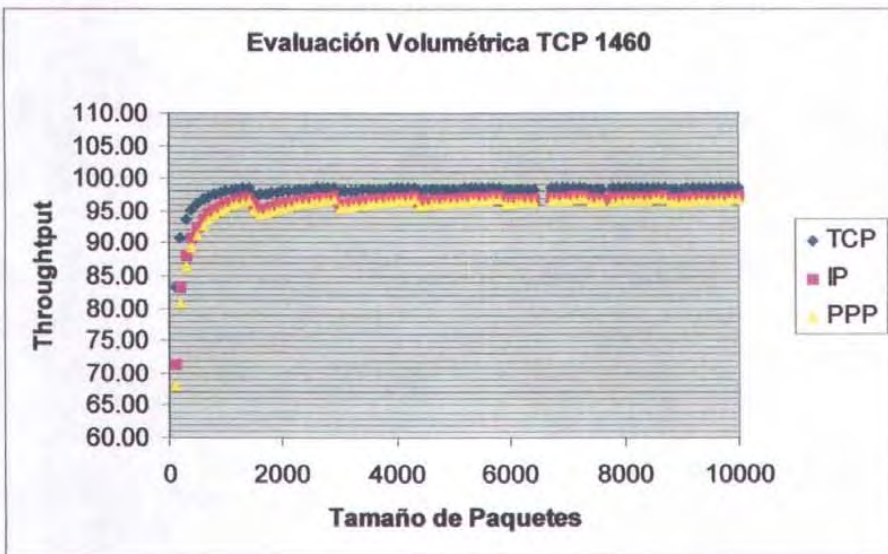


Figura 5.16 Desempeño de una carga útil en TCP de tamaño 1460.

Otro factor que considerar al encontrar un valor adecuado de TCP, es una MTU que debe ser menor a la MTU del PDSN para evitar encabezados por fragmentación adicional.

Un valor grande de MTU significa que el receptor envía menos ACKs al transmisor. Esto implica que la transmisión de datos dependen menos del ancho de banda opuesto (canal de reversa) y mejora los resultados de rendimiento. Sin embargo, se requieren más experimentos para comprender el impacto total del ancho de banda asimétrico en el rendimiento de TCP.

5.3.2 Desempeño de RLP sobre el enlace de radio.

El protocolo RLP fue diseñado para proporcionar un mejor desempeño en el enlace de radio. En RLP cuando una trama faltante se detecta, el receptor envía un número predeterminado de NAKs especificando la trama faltante a la fuente. Los NAKs son espaciados en tiempo para proporcionar diversidad. La fuente RLP retransmite la trama con el número de secuencia especificado en la trama de control.

A continuación revisamos el análisis del "Throughput" o rendimiento del protocolo RLP. Para calcular el máximo rendimiento alcanzable en el protocolo RLP (para transferencia a altas velocidades). Podemos ver la figura 5.17 donde se muestra las diferentes capas del modelo OSI, así como la cantidad de carga útil y los encabezados que lleva cada protocolo cuando se realiza la conexión del móvil con el servidor IP.

Capa	Carga Útil (bytes)		Encabezados (bytes)	
Aplicación	N/A		N/A	
Paquete TCP	536, 960 ó 1460		20	
Paquete IP	↓		20	
Paquete PPP			7 + N * [ESC]	
	153.6 FSCH	9.6 FFCH	153.6 FSCH	9.6 FFCH
Paquete RLP	336	20	16	1.5
Trama Física de 20 ms	381	21.5	3	2.5

Figura 5.17 Encabezados y carga útil de información en una conexión 3G.

De la figura 5.17. se puede calcular el máximo rendimiento alcanzable en la capa RLP. De esta podemos ver que para el canal fundamental FFCH es de 9.6 kilobytes y para el suplementario el máximo es de 153.6 kilobytes. Así tenemos que cuando tenemos tramas físicas de 20 ms; la carga útil máxima es de 21.5 bytes y 2.5 bytes de encabezado. Esto es análogamente para FSCH podemos ver que 381 bytes de carga útil y 3 bytes de encabezados corresponde a 153.6 Kbytes.

Carga Total (8 bytes)/ Trama Física = Máxima Capacidad de Canal
 (Carga útil + Encabezado) (8 bytes) /Trama Física = Máxima capacidad de Canal

$$(381 + 3) * 8 \text{ bytes} / 20\text{ms} = 153.6 \text{ kbits}$$

$$(21.5+ 2.5) * 8 \text{ bytes} / 20 \text{ ms} = 9.6 \text{ kbits}$$

Los datos transmitidos en los canales fundamental y suplementario es de 163.2 kbps en la capa física, para una ráfaga finita , con 1% de FER en el FCH y el 5% en el SCH. Así la máxima capacidad de datos en ambos canales fundamental y suplementario es:

$$\text{FCH} + \text{SCH} = 163.2 \text{ kbps} \quad (5.1)$$

Se consideran el 1% FER en FCH, 5% en SCH, sin mensajes de señalización y considera el ciclo de trabajo de la ráfaga en FSCH de 89%³⁵. Utilizando el valor de la carga útil (payload) de RLP de la figura 5.17.

$$8*50 (20*0.99+ 336*0.95*0.89)=121.6 \text{ kbps} \quad (5.2)$$

La expresión 5.2 es el rendimiento máximo entregable en la capa RLP (tasa de datos de RLP). El rendimiento máximo de carga entregable en la capa RLP toma en cuenta los valores del enlace de envío, tasas de canal, ciclos de ráfaga de datos, y niveles de FER. Y puede variar de acuerdo al tipo de escenario sobre el que se trabaje. En la tabla 5.3 se muestran algunos casos.

Escenario	0% FCH/SCH FER	1% 5% FCH/ SCH FER
9.6 kbps FCH	8 kbps	7.9 kbps
9.6 kbps FCH + 38.4 kbps SCH (ráfaga infinita)	41.6 kbps	39.8 kbps
9.6 kbps FCH + 38.4 kbps SCH (ráfaga finita)	37.9 kbps	36.3 kbps
9.6 kbps FCH + 153.6 kbps SCH (ráfaga infinita)	142.4 kbps	135.6 kbps
9.6 kbps FCH + 153.6 kbps SCH (ráfaga finita)	127.6 kbps	121.6 kbps

Tabla 5.3 Variación del rendimiento máximo RLP en diferentes escenarios.

Para las condiciones anteriores, podemos obtener el máximo rendimiento alcanzable en la capa de aplicación utilizando RLP. Como se ilustra a continuación:

Ren Máx. en RLP * TCP Eficiencia = Ren. Máximo en la capa de Aplicación

³⁵ Podemos considerar el valor de 89%, como parámetro de ingeniería, para dimensionamiento de la red y de los servicios. Es decir la red puede operar y soportar un pico de servicio en caso de presentarse. Pero en general la red nunca opera en el sus límites máximos.

Así para los diferentes tamaños de paquetes TCP³⁶ de 536, 960 o 1460 que se consideraron, se tiene que el máximo rendimiento alcanzable en la capa de aplicación se muestra en la tabla 5.4. Considerando ráfagas finitas y con 1% y 5% de FER en los canales FCH y SCH respectivamente.

Carga Útil en TCP (bytes)	Tamaño total del paquete con encabezados TCP e IP (bytes)	Rendimiento Máximo en la Capa de Aplicación (kbps)
536	576	113.15
960	1000	116.74
1460	1500	113.97

Tabla 5.4 Rendimiento Máximo en la capa de Aplicación

Por ejemplo para una carga útil en TCP de 536 bytes con encabezados de 40 bytes el rendimiento es igual a 113.15 kbps. Esto se puede verse mejor en la figura 5.18.

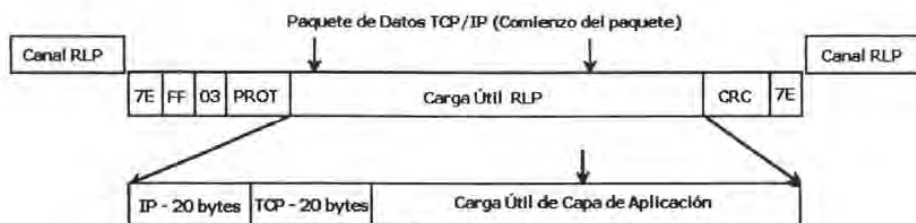


Figura 5.18. Carga útil en RLP.

En la práctica se utilizan tres retransmisiones para RLP. Una trama pérdida de datos es retransmitida una vez en la primera retransmisión, dos veces en las retransmisiones segundas y tres veces en la última transmisión. Las probabilidades de perder una sola trama están dadas por la expresión (5.3) para 1% y 5% de FER respectivamente:

$$FER * \frac{FER}{2} * \frac{FER}{3} = .000000167 \quad (1\% \text{ de FER})$$

$$FER * \frac{FER}{2} * \frac{FER}{3} = .0000208 \quad (5\% \text{ de FER})$$

(5.3)

Las retransmisiones son permitidas para valores más grandes de la tasa de error en el canal de envío FER (Forward Error Rate). Los NAKs (Negative Acknowledgements) son únicamente retransmitidos cuando las tramas están perdidas, ya que el procesamiento de NAK afecta las retransmisiones y el rendimiento. Así tenemos que la probabilidad de éxito de un paquete en la primera transmisión para una ráfaga de 320 milisegundos [SP-1] en F-SCH, existen 16 tramas de 20 milisegundos esta dada en las expresiones en (5.4):

³⁶ Estos son los valores de tamaño que se pueden manejar en el equipo(Nortel). El máximo valor es de 1500.

$$\begin{aligned}
 P(s) &= (1 - FER)^N \quad \text{donde N es el número de tramas} \\
 P(s) &= (1 - 0.01)^{16} = 0.851 \quad \text{para 1\% de FER y N = 16} \\
 P(s) &= (1 - 0.05)^{16} = 0.441 \quad \text{para 5\% de FER y N = 16}
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

Así la probabilidad de un NAK es igual a $1 - P(s)$, esta dada en la expresión (5.5):

$$\begin{aligned}
 P(NAK)_1 &= 1 - 0.851 = 0.149 \quad \text{para 1\% de FER} \\
 P(NAK)_5 &= 1 - 0.441 = 0.559 \quad \text{para 5\% de FER}
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

La probabilidad $P(s)$ de un paquete llegue en los 320 milisegundos con tres intentos esta dada en la expresión (5.6):

$$\begin{aligned}
 P(s) &= (1 - P(\text{una trama perdida en tres intentos}))^{16} \\
 P(s) &= (1 - 0.000000167)^{16} = 0.999997 \quad (1\% \text{ FER}) \\
 P(s) &= (1 - 0.0000208)^{16} = 0.9997 \quad (5\% \text{ FER})
 \end{aligned}
 \tag{5.6}$$

El rendimiento ideal en RLP, sin retardos NAK, esta considerado en la expresión (5.7). Donde se considera la probabilidad de perder 1, 2 ó 3 intentos. Como es una probabilidad independiente consideramos sus productos.

$$\begin{aligned}
 S &= 1 - FER - 2 * FER^2 - 6 * FER^3 \\
 S &= 1 - 0.01 - 2(0.01)^2 - 6(0.01)^3 = 0.9898 \quad (1\% \text{ FER}) \\
 S &= 1 - 0.05 - 2(0.05)^2 - 6(0.05)^3 = 0.944 \quad (5\% \text{ FER})
 \end{aligned}
 \tag{5.7}$$

Para el cálculo de retardos se deben tomar en cuenta algunos retardos tales como: el retardo de procesamiento en el móvil, por transmisión y procesamiento en la BTS, estos se consideran para el cálculo de retardos NAK, los cuales se presentan a continuación:

Retardo de procesamiento en el Móvil	20 milisegundos
Transmisión de NAK	20 milisegundos
Procesamiento BTS NAK	20 milisegundos
Retardo Total	60 milisegundos

Para cálculos de ráfagas finitas, el tamaño del buffer debe ser tomado en cuenta para acomodar los NAKs y sus retardos. De esta manera se obtiene el retardo promedio en la ráfaga en la expresión (5.8).

Este retardo es igual al producto del retardo total del NAK por la probabilidad de Retardo también por la probabilidad de la ráfaga del NAK. Más el retardo promedio (20 milisegundos) por el valor promedio de las tramas transmitidas, más la probabilidad de retardo NAK en una ráfaga de 320 milisegundos.

$$\begin{aligned} \text{Retardo NAK}_{\text{total}} \times P(\text{NAK}) \times \text{PDF NAK}_{\text{burst}} + 20(\# \text{Tramas retransmitidas}_{\text{AV}}) + 320P_{\text{lost}}(\text{NAK}) \\ 60 \times 0.149 \times 0.5 + 20(0.16) + 320(0.02) = 14.1 \text{ ms (1\% FER)} \\ 60 \times 0.56 \times 0.5 + 20(0.59) + 320(0.02) = 38.4 \text{ ms (5\% FER)} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Para obtener el rendimiento promedio de las ráfagas de 320 milisegundos en el canal RLP. Primero se realiza una aproximación para una ráfaga finita con buffer ideal (sin errores), tomando en cuenta los retardos anteriores, como se muestra en la expresión (5.9).

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento RLP}_{\text{canal}} \times S_{\text{Ideal sin retardo NAK}} \times \frac{320}{320 + \text{retardo NAK}} \\ 127.6 \times 0.9898 \times \frac{320}{320 + 14.1} \text{ kbps} = 120.9 \quad (1\% \text{ FER}) \\ 127.6 \times 0.944 \times \frac{320}{320 + 38.4} \text{ kbps} = 107.6 \quad (5\% \text{ FER}) \end{aligned} \quad (5.9)$$

Después para completar el análisis del rendimiento promedio se consideran los errores que se pueden presentar en el buffer, es decir para obtener un rendimiento promedio de las ráfagas finitas sin buffer ideal con retardo NAK se utiliza la expresión 5.10. En esta expresión se consideran el tamaño de la ráfaga ideal (sin errores) por un factor que se obtiene al tomar el tiempo ideal de la ráfaga entre el mismo más la probabilidad de NAK en la ráfaga de 320 milisegundos.

$$\begin{aligned} \text{Rafaga finita ideal "S"} \times \frac{\text{Tiempo Ideal de Tx}}{\text{Tiempo Ideal de Tx} + [P(\text{NAK}) * 320]} \\ 120.9 \times \frac{337.7}{337.7 + (.149)320} = 105.8 \text{ kbps} \quad (1\% \text{ FER}) \\ 107.6 \times \frac{379.5}{379.5 + (.56)320} = 73.5 \text{ kbps} \quad (5\% \text{ FER}) \end{aligned} \quad (5.10)$$

Considerando el FER y requerimientos de potencia para el rendimiento de RLP, se considera el rendimiento de datos y FER, en el caso no-ideal. Un FER de 1% permite un rendimiento 44% más, que para un FER de 5%.

Sin embargo, los requerimientos de potencia para un FER de 1% son cercanos a los 4 dB más que para el 5% de FER. Es decir, la potencia se usa de forma ineficiente para reducir el FER. Se debe tener cuidado de que la probabilidad de retardos de múltiples NAK, aumente como el FER se va ampliando el 5% es la recomendación actual [SP-1]. El máximo rendimiento de TCP esta dado por la expresión 5.11.

$$T = \frac{TCP \ window_size}{RTD}$$

$$RTD = \text{Latencia del sistema} + \text{retardo de transmisión} \quad (5.11)$$

Donde el *TCP_window_size*, es el tamaño de la ventana y es la cantidad de datos (no reconocido por el receptor) que el emisor puede enviar en una conexión antes de recibir un ACK desde el receptor. Algunos fabricantes del equipo³⁷ recomiendan establecer el tamaño de la ventana a 16384 bytes los cuales deben ser manualmente establecidos para equipos con sistemas Windows 95 y 98.

Por lo tanto, para alcanzar el máximo desempeño para una sesión TCP/IP de 126 kbps el máximo RTD puede ser calculado con la expresión 5.12. Por lo tanto si establecemos un valor de 126 kbps como máximo "throughput" para una sesión TCP/IP entonces podemos calcular el RTD máximo, como se indica.

$$RTD = \frac{TCP \ window_size}{Rendimiento}$$

$$RTD = \frac{16384 \times 8}{126000} = 1.04s \quad (5.12)$$

Así un RTD de 1.04 permite tres ráfagas de 320 milisegundos para la transmisión de un paquete de 320 milisegundos. Para revisar la utilidad del protocolo de radio enlace RLP para el rendimiento protocolo TCP, se realizaron simulaciones cambiando el máximo de veces de la retransmisión del RLP (RLP Times) y se calculó el rendimiento TCP desde los resultados de simulación. El resultado de la simulación de un canal de una ventana de 32 KB TCP se muestra en la figura 5.19.

De la figura 5.19. cuando las retransmisiones de RLP son N=2 ó menos, el rendimiento TCP disminuye con un cociente de error de SCH. Para examinar la causa, se investiga la relación entre el número de paquetes enviados TCP y el cociente de paquetes de errores en el enlace de envío. La gráfica de la figura 5.19, muestra el comportamiento del rendimiento cuando el cociente de error de SCH varía de 0 a 10.

³⁷ Lucent

Cuando las retransmisiones RLP es 1 ó menor, el cociente de paquetes de TCP es muy alto, entonces el servidor normalmente no puede comunicarse con el cliente. Pero la disminución del rendimiento de TCP es causado por la retransmisión TCP, debido a que el error de paquetes TCP ocurre 7 veces.

El rendimiento de TCP es afectado por las retransmisiones en RLP, cuando las veces de retransmisión son más de 3, se establece una baja del rendimiento de TCP causado por retransmisiones de TCP, esto no ocurre debido a errores en los paquetes causados por las tramas de error de RLP ya que no existen.

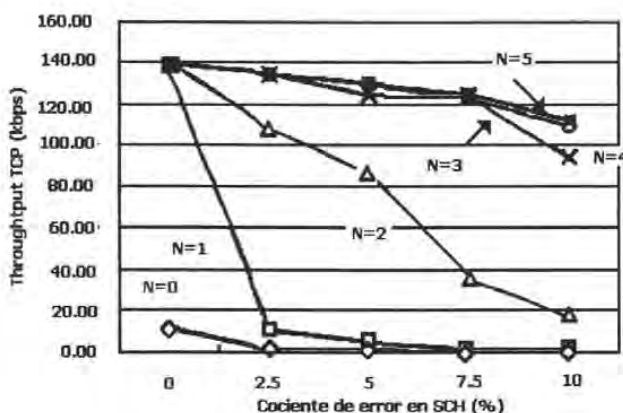


Figura 5.19 Retransmisiones en RLP (N)

Estudios de laboratorio comparados con el impacto en el desempeño en los siguientes valores que pueden establecerse en el equipo para retransmisión de RLP {1,2,3}, {2,4,6}, {1,2,5} bajo diferentes condiciones de FER.

Como se muestra en la tabla 5.4. Cuando el FER está por debajo de 5% los valores {1,2,3} y {1,2,5} se comportan igualmente bien que para {2,4,6}. Sin embargo si el FER es muy alto (mayor a 70%) {2,4,6} sobresale de las otras combinaciones, como se puede ver en la tabla 5.5. Por lo tanto, las retransmisiones NAK con valores más altos pueden mejorar el rendimiento cuando la distribución de error en la trama no es uniforme.

Rango FER	Valores para la Recepción de RLP		
	{1,2,3}	{2,4,6}	{1,2,5}
1% - 5%	2.90	2.83	2.90
71% - 99%	0.41	0.98	0.61
1% - 99%	20.94	20.44	21.38

Tabla 5.5 Rendimiento TCP integrado sobre diferentes intervalos de FER para varios valores de RLP NAK

Las mediciones hechas en campo confirman que los valores altos de NAK mejoran el rendimiento hasta un 11% y 14%. Como puede observarse en la tabla 5.6. Se recomienda establecer los valores³⁸ de NAK (ida y vuelta) como {1,4,7}.

Valores de RLP	{1,2,3}	{2,4,6}	{1,2,5}
Rendimiento Promedio (kbps)	69.63	77.45	79.06
Mejora	n/a	11%	14%

Tabla 5.6. Impacto de los valores de RLP en el rendimiento de TCP en mediciones de campo.

³⁸ Estos valores son recomendados en equipos Nortel 1xRTT.

Capítulo 6

Conclusiones

Los estudios de las tecnologías inalámbricas se han enfocado en el desempeño de la interfaz de aire y las tasas de datos alcanzables. Las comunicaciones inalámbricas se han encontrado con el problema de hacer eficiente su recurso más limitado, el espectro radioeléctrico, para poder brindar servicios de voz y datos.

La evolución a 3G es motivada básicamente por las aplicaciones de datos; el análisis de desempeño de estas aplicaciones adiciona más variables para determinar la capacidad total del sistema.

Mismas que no pueden ser evaluadas con las métricas utilizadas para transmisión de voz. Para analizar la capacidad del canal de datos, se utiliza el *"throughput"*; que nos indica el rendimiento de la red, en forma de tasa efectiva de bits. Así el valor de *"throughput"* de la red indica el ancho de banda efectiva para la transmisión de datos.

Entonces aún cuando se tenga capacidad en el canal, es importante para el operador y el usuario, saber cual es la máxima tasa efectiva de bits que puede transmitir. El medio, presenta la mayor limitación en la transferencia de datos a altas velocidades, debido a retardos y errores causados por el ruido.

Un problema que se presenta cuando se manejan datos por medio inalámbrico es que la eficiencia se reduce debido a fallas de interpretación de retardos causados por señales de radio frecuencia degradadas, como congestión en la red.

El protocolo de Control de Transporte (TCP) responde a esta "falsa congestión", utilizando algoritmos de control de congestión, el cual está diseñado para permitir a los *"routers"* tiempo para limpiar paquetes. El efecto en la capa de aplicación puede causar que el desempeño se reduzca.

Para evitar esta situación se realizan mediciones del *"throughput"* o rendimiento de los datos, tal como se realizó en el capítulo 5, tanto en el radio enlace como en las capas de transporte variando niveles de ruido o desvanecimiento, mientras se corren aplicaciones tales como navegación en Internet, leer correo electrónico o realizar FTPs.

Esto con el fin de obtener métricas que permitan establecer valores de distintos parámetros en del sistema así como de TCP. Tales como tamaño de ventana TCP, fragmentación RLP, número máximo de NAKs, tamaño de MTU, tamaño de buffer en la BSC.

Algunas observaciones que pueden obtenerse a partir de las mediciones son las siguientes:

- ❖ El número de las retransmisiones de RLP son importantes para obtener un rendimiento de TCP estable. Además, encontramos que las veces de retransmisión RLP son requeridas al menos 3 veces, es decir 3 intentos; para un desempeño estable de TCP.
- ❖ El rendimiento es maximizado con tres retransmisiones.
- ❖ Los datos en la tabla 5.3 sugieren que el rendimiento es más eficiente para las ráfagas infinitas, debido a que los paquetes pueden ser retransmitidos con nuevos paquetes sin tener que asignar una nueva ráfaga.
- ❖ En el caso del tamaño de las ventanas TCP para las mediciones realizadas se obtuvo un comportamiento similar para 16, 64 y 32. Pero para obtener una conclusión con referencia a este parámetro, es necesaria más información. Se propone un estudio más amplio que abarque un rango mayor de tamaño de ventana TCP.
- ❖ Con respecto al tamaño de MTU, podemos concluir que el rendimiento o "throughput" mejora con la elección de un valor de MTU grande. Ya que se utilizan menos encabezados.

En el campo de las comunicaciones inalámbricas queda mucho por conocer, este trabajo es una aportación para las personas interesadas en las comunicaciones 3G, desde un punto de vista teórico-práctico.

Se considera que el presente trabajo realiza contribuciones en el análisis de redes inalámbricas en servicio para mejorar el desempeño y rendimiento de la transmisión de datos.

Referencias

Libros

1. Raymond Steele, Mobile Radio Communications, Pentech Press London IEEE. PressNew York.
2. Nathan Muller J., Mobile Telecommunications FactBook, Mc Graw-Hill Telecommunications, E.U. 1998.
3. John Walker, Advances in mobile information systems, Mobile Communicatons Series, Artech House Publishers, E.U. 1999.
4. Young, W. R. Advanced Mobile Phone Service: Introduction, Background and Objectives, Bell System Tech J. Vol. 58 No. 1 Jan 1979.
5. Mehrotra, Asha. Cellular Radio Performance Engineering. Mobile Communications Series. Artech House Publishers, E.U. 1994.
6. Lera Salso, Emilio. Telecomunicaciones Móviles. Alfa-Omega, Marcombo; Barcelona, España, 1993.
7. Wong, Peter and Britland David. Mobile Data Communications System. Mobile Communications Series. Artech House Publishers, E.U. 1995
8. Akaiwa, Yoshihiko. Introduction to Digital Mobile Communication, Wiley Interscience Series. John Wiley & Sons, E. U. 1997.
9. Viterbi, Andrew. CDMA Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley Wireless Communication Series. Addison Wesley, E.U. 1997.
10. Young Rhee, Man. CDMA Cellular Mobile Communications. Network Security, Prentice-Hall. Inc. E.U. 1998.
11. Sklar, Bernard. Digital Communications Fundamentals and Applications, Prentice-Hall Inc., E.U. 1998. pags. 537-589.
12. Proakis, John G. et al. Contemporary Communication System PWS Publishing Company, E.U. 1997.
13. Stüber, Gordon et al. Multiaccess, Mobility and Teletraffic for Wireless Communications, Volume 5. Kluewer Academic Publishers. E.U. 2000.

Artículos

[B1] Ahlgren Bengt, Feeney Laura, Westerlund Assar, "Spontaneous networking: An application-oriented approach to ad hoc networking", IEEE Communications Magazine, Junio 2001

[B2] Bregni, Stefano. "Synchronization of Digital Telecommunications Networks", IEEE Communications Society, IEEE ICC 2000 New Orleans, L.A. U.S.A 18-22 June 2000.

Referencias

[P1] Paranchych, David W. "1xEV-DO Network Design and Performance", Broadband Communications for the Internet Era Symposium digest, 2001 IEEE Emerging Technologies Symposium on, September 2001.

[J1] Jou, Y. "Developments in Third Generation (3G) CDMA Technology", Spread Spectrum Techniques and Applications, 2000 IEEE Sixth International Symposium on, Volumen 2 6-8 September 2000 Qualcomm, Incorporated. IEEE Communications, U.S.A 2000.

[S1] Shin, Simon, Jeong Kyung-soo, "CDMA 2000 1X Performance Comparison with Pilot Power Ratio", School of Electrical Engineering & Computer Science, Hanyang Univ. Zurich, Switzerland February 19-21, 2002. International Zurich on Broadband Communications.

[S2] Shinbo, Hiroyuki, Akira Idoue, "Evaluation of TCP Performance on cdma2000 1x system using computer simulation". Telecommunications, 2003. ICT, 2003. 10 th International Conference on. Volume 1, 23 Feb. – March 2003.

Documentos de Estándares

[3G CS0001] Introduction to cdma2000 Standards for Spread Spectrum Systems. 3rd Generation Partnership Project 2 (3GPP2), Version 1.0 July 1999

[3G CS0002] Physical Layer Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems. 3rd Generation Partnership Project 2 (3GPP2), Version 1.0 July 1999

[3G C.S0003] Medium Access Control (MAC) Standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems. 3rd Generation Partnership Project 2 (3GPP2), Version 1.0 May 28th, 2002

[3G C.S0017] Data Service Option for Spread Spectrum Systems: Radio Link Protocol Type 3, Version 1.0 June 11th, 2004

Tutoriales, manuales y presentaciones

[ITU-1] Presentación IMT-2000 Project, ITU. Geneva 2001-2002

[NT-1] CDMA Theory and Nortel Networks. Course 809. Enero 1999

[NT-2] Mackel, Paul. Wireless Technology Handbook. Nortel Networks, U. S. 1990.

[SP-1] Presentación SPRINT Wireless, RLP Practical throughput.

Referencias electrónicas

http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html

Apéndice A

A.1 Duplexaje por División de Tiempo TDD.

Esta técnica utiliza un solo canal para proporcionar capacidades de duplexaje. Como se muestra en la figura A.1 con seis ranuras de tiempo, cada usuario esta asignado dos ranuras de tiempo en el canal, una ranura transmite señales, mientras otra recibe señales. Existe una división de tiempo entre los enlaces de subida y bajada para cada usuario, pero dado que la diferencia es pequeña, la información puede ser transmitida y recibida apareciendo ser simultáneo. TDMA-TDD es mayormente utilizada para aplicaciones de pequeña escala e interiores y no es muy práctica para aplicaciones inalámbricas con coberturas de distancias grandes porque tiene extrema sensibilidad al tiempo.

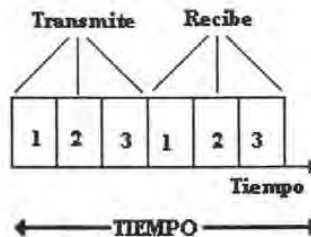


Figura A.1 Duplexaje por Division de Tiempo.

A.2 Duplexaje por División de Frecuencia FDD.

En lugar de utilizar divisiones en el tiempo para proporcionar enlaces de subida y bajada y para el duplexaje, FDD usa frecuencia. En FDD, cada canal duplex consiste de dos canales sencillos, uno utilizado para transmitir señales y uno usado para recibir señales. Un dispositivo llamado duplexor es requerido para permitir transmisión y recepción de señales radio simultáneas. Cada usuario es asignado a una ranura en cada canal designado para transmisión y recepción. Esos es la técnica primaria usada en la mayoría de las aplicaciones inalámbricas. Como se muestra en la figura A.2.



ii
Figura A.2 Duplexaje por División de Frecuencia.

A.3 Modo FDD y TDD para 3G.

En el modo FDD o modo de División de Frecuencia Dúplex, el sistema tiene dos ubicaciones de espectro de 5 Mhz. Las estaciones móviles utilizan una de las ubicaciones en el espectro para transmitir a la estación base. La otra ubicación del espectro es usada por la estación base para transmitir a las otras estaciones móviles. Esto permite a ambas estaciones móviles y a las estaciones base transmitir y recibir al mismo tiempo.

En el modo TDD o modo de División de Tiempo Dúplex, existe solo una ubicación de 5MHZ. La estación móvil y la estación base usan este espectro para transmisión y recepción. Ya que estos no pueden transmitir al mismo tiempo, el espectro se divide en varias ranuras de tiempo. Algunas de las ranuras son usadas para la transmisión de la estación móvil y algunas otras son para la transmisión de la estación base.

FDD requiere una banda de frecuencia par mientras que TDD puede usar una banda no par. Por esta razón FDD es mejor para las necesidades de anchos de banda simétricas y TDD trabaja mejor para las aplicaciones de anchos de banda asimétricos. Además debido a estos requerimientos, es más fácil obtener una frecuencia para el modo TDD, el modo FDD es una solución menos complicada y se espera desarrollarse en muchos mercados.

Tecnología	Tasa Máxima de Datos	Ancho de Banda del Espectro	Servicios
W-CDMA (Modo FDD)	2 Mbps	2 x 5 MHz	Voz, circuito, paquetes y multimedia
TD-CDMA (Modo TDD)	2 Mbps	5 MHz	Paquetes de datos

Tabla A.1 Servicios disponibles para modos FDD y TDD.

Apéndice B

Técnica de Espectro Esparcido

La técnica de espectro esparcido es llamada de esa manera porque el ancho de banda de transmisión empleado es mucho más grande que el requerido para transmitir la información [11]. Un sistema de comunicaciones de espectro esparcido es aquel que cumple con las siguientes disposiciones:

1. La señal ocupa un ancho de banda mucho mayor al mínimo necesario para ser transmitida.
2. La dispersión se lleva a cabo mediante una señal de esparcimiento llamada señal de código, la cual es independiente de los datos.
3. En el receptor se lleva a cabo la recuperación de la señal esparcida mediante la correlación de la señal recibida con una réplica sincronizada de la señal de esparcimiento usada en el transmisor.

Los esquemas de modulación estándar como modulación en frecuencia y PCM también esparcen el espectro de una señal, pero no cumplen con todas las condiciones por lo tanto no se clasifican como sistemas de espectro esparcido.

B.1 Características del sistema de espectro esparcido

B.1.1 Supresión de interferencia

El ruido blanco gaussiano tiene, por definición, potencia infinita distribuida uniformemente a lo largo de todas las frecuencias. La comunicación es posible en presencia de este ruido con potencia infinita debido a que solamente las componentes de ruido, con potencia finita, que están presentes en el ancho de banda de la señal pueden interferir con ella. De este concepto parte la idea de supresión de interferencia de los sistemas de espectro esparcido, se explica de la siguiente manera.

Se consideran varias señales (coordenadas) ortogonales, o dimensiones están disponibles para un enlace de comunicación y sólo un pequeño subconjunto de ellas se usa a la vez, en un tiempo determinado. El dispositivo generador de interferencia (jammer), no puede determinar el subconjunto de coordenadas que se encuentra en uso en un momento determinado. Para señales de ancho de banda W y duración T , el número de dimensiones es aproximadamente $2WT$ [11].

Dado un diseño específico, los errores en el sistema son solamente función $\frac{E_b}{N_0}$. Contra el ruido blanco gaussiano, con potencia infinita, el uso de la técnica de espectro esparcido no ofrece mejoría en el desempeño. Sin embargo, el sistema tiene un buen desempeño cuando el ruido tiene potencia constante y finita, y se distribuye de manera independiente a la localización de la señal de información dentro del sistema de coordenadas. Existen dos opciones para el generador de ruido dadas las condiciones anteriores[11]:

1. Introducir ruido a todas las coordenadas de la señal con igual cantidad de potencia para cada una, lo que resulta en poca potencia de ruido para cada coordenada. En este caso se define la densidad espectral de ruido como $J_0 = \frac{J}{W_{SS}}$ donde J es la potencia del ruido y W_{SS} es el ancho de banda de espectro esparcido.
2. Introducir ruido a algunas coordenadas de la señal, lo que resulta en mayor potencia de ruido para las coordenadas afectadas. Para este caso la densidad espectral J_0 se modifica de la siguiente forma $\frac{J_0}{\rho}$ donde $(0 < \rho \leq 1)$ es la porción de la banda de espectro esparcido elegida para ser afectada.

Se puede observar, para ambos casos, que un sistema de espectro esparcido con un mayor número de coordenadas para la transmisión de la señal presenta una mejor efectividad ante la presencia de ruido con potencia fija finita e independiente de la señal.

La presencia de ruido o interferencia con estas características no siempre es un acto intencional, también puede ser producto de fenómenos naturales y en ocasiones puede tratarse de interferencia propia causada por multitrayectorias de la señal recibida.

B.1.2 Acceso Múltiple

La técnica de espectro esparcido se puede usar como una técnica de acceso múltiple, la cual permite compartir un recurso de comunicaciones entre varios usuarios de manera coordinada.

En la técnica de acceso múltiple por división de código (CDMA), cada usuario usa una señal de código de espectro esparcido diferente, lo que permite el uso de la misma banda de frecuencias al mismo tiempo para diferentes usuarios.

Lo anterior es posible debido a que las transmisiones se efectúan con códigos ortogonales³⁹ que sólo pueden ser interpretados por el receptor que posea una réplica sincronizada del código usado, de esta manera es posible la comunicación en la misma banda de frecuencias y al mismo tiempo sin interferir con transmisiones que utilicen otro código ortogonal diferente.

³⁹ Estos códigos se conocen como Códigos de Walsh

B.1.3 Otras características

Baja Probabilidad de detección.

Baja probabilidad de interceptación (espionaje).

Buena precisión en sistema utilizados para la localización de objetos.

B.2 Modelo de rechazo de interferencia.

En el modulador, la señal de información con una tasa de R bits/s se multiplica por la señal de código de esparcimiento, la cual tiene una tasa de símbolos de código de R_p chip/s. Considerándose que el ancho de banda de la señal de información es R hertz y el de la señal de código es R_p hertz, donde $R \ll R_p$.

La multiplicación en el dominio del tiempo representa una convolución en la frecuencia; por lo tanto, si la señal de información es de banda angosta comparada con la señal de esparcimiento, el resultado de la multiplicación tendrá aproximadamente un ancho de banda igual a la señal de código. Es decir, se lleva a cabo un esparcimiento de la señal de información.

Como se muestra en la figura B.1.

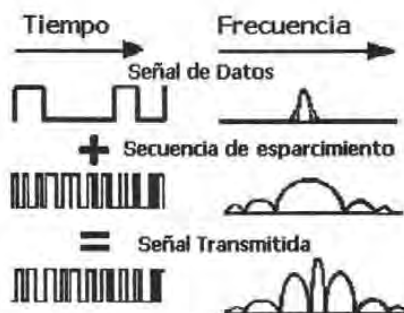


Figura B.1 Representación de una señal transmitida de espectro esparcido.

En el demodulador, la señal recibida se multiplica por una réplica sincronizada de la señal de código, lo que resulta en una recuperación de la señal esparcida.

Un filtro con ancho de banda R se usa para remover cualquier componente espuria de alta frecuencia. Si hay una señal no deseada en el receptor, la multiplicación por la señal de código la esparcirá de la misma manera como sucedió con la señal de información en el transmisor. Debido a lo anterior, la señal de información solo es afectada por las coordenadas de la señal interferente que está en el mismo espacio.

B.3 Secuencias Pseudo-aleatorias

Existen dos enfoques utilizados en la técnica de espectro esparcido, uno conocido como referencia transmitida TR y otro llamado referencia almacenada SR.

- **Referencia transmitida.** En esta técnica puede utilizarse una señal de código realmente aleatoria para el esparcimiento y recuperación de la señal, debido a que la señal modulada y la de código son transmitidas simultáneamente en diferentes regiones del espectro.
- **Referencia almacenada.** En esta no se puede usar una señal de código realmente aleatoria, debido a que el código requiere estar almacenado, o generado, en el receptor. En este caso se utiliza una señal pseudo-aleatoria.

La diferencia entre una señal aleatoria y una pseudo-aleatoria es que la primera no puede predecirse, sus variaciones sólo se describen de manera estadística. A diferencia, una señal pseudo-aleatoria es determinística y periódica, y es conocida tanto por el transmisor como por el receptor.

Aunque la señal es determinística, aparenta poseer las propiedades estadísticas de una muestra de ruido blanco. Para un detector que no posea el código representa una señal aleatoria.

Existen tres propiedades básicas que deben cumplirse en una secuencia pseudo-aleatoria [11].

1. **Propiedad de balance.** Hacer referencia al número de 1 y 0 lógicos, un buen balance requiere que en la secuencia el número de 1 y 0 lógicos varía a lo más en un dígito.
2. **Propiedad de corrida.** Una corrida se define como una secuencia de dígitos binarios de un solo tipo. La aparición de un dígito diferente inicia una nueva corrida. La longitud de la corrida es el número de dígitos de la corrida. Entre las corridas de 1 y 0 en cada periodo, es deseable que cerca de la mitad de las corridas de cada tipo sea de longitud 1, cerca de un cuarto sea de longitud 2. Un octavo de longitud 3 y así sucesivamente.
3. **Propiedad de correlación.** Si un periodo de la función se compara término a término con un corrimiento cíclico de la misma función, es recomendable que el número de coincidencias difiera del número de discrepancias en no más de uno.

B.3.1 Generación de secuencias Pseudo-aleatorias

Las secuencias pseudo-aleatorias de máxima longitud generadas por registros de corrimiento más conocidas se conocen como "m-sequence o m-secuenciaria". Este tipo de secuencias tienen una longitud $L=2^m-1$ bits y es generada por un conjunto de m registros de corrimiento con retroalimentación lineal, como el que se muestra en la figura B.2.

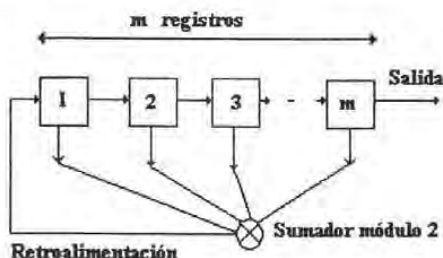


Figura B.2 Diagrama de un registro de corrimiento lineal de m -etapas.

Estas secuencias tienen periodo L . Cada periodo tiene una secuencia de 2^{m-1} unos y $2^{m-1}-1$ ceros. Las secuencias pseudo-aleatorias generadas dependen del número de registros de corrimiento, las conexiones, y las condiciones iniciales.

La secuencia pseudo-aleatoria $x(t)$ es una función periódica con forma de onda pulsar, donde a cada pulsos se llama símbolo de código o chip. Para una secuencia pseudo-aleatoria de duración unitaria de chip y periodo igual a p chips, la función de autocorrelación esta dada por la siguiente expresión:

$$R_x(\tau) = \frac{1}{p} (\text{número de concordancia} - \text{número de discrepancia}) \quad (1)$$

La comparación para determinar las concordancias o discrepancias, entre la secuencia y su réplica que se recorrerá, se hace a lo largo de un periodo completo de la secuencia, τ representa la posición del corrimiento cíclico de la réplica.

El resultado de la correlación de una secuencia pseudo-aleatoria del tipo m-sequence o m-secuenciaria es:

$$R_x(\tau) = \begin{cases} 1 & \text{para } \tau = 0 \\ -\frac{1}{p} & \text{en cualquier caso} \end{cases} \quad (2)$$

Se puede interpretar que $\tau=0$ es el estado donde la secuencia pseudo-aleatoria y su réplica que se desplaza, están perfectamente alineadas y es por ello que se obtiene un valor de autocorrelación máximo. Para cualquier otro caso, el valor de autocorrelación es constante y menor.

A continuación se presenta una secuencia pseudo-aleatoria del tipo m-sequence o m-secuenciaria para ejemplificar las características antes descritas.

La secuencia que se muestra es de quinto orden, es decir, se utilizan 5 registros de corrimiento lineal para generarla. La conexión de los registros al sumador módulo 2 se determinó a partir del polinomio primitivo (45_8). Los valores iniciales de los registros fueron asignados aleatoriamente. En la figura B.3 se muestra un esquema del registro usado y el polinomio primitivo.

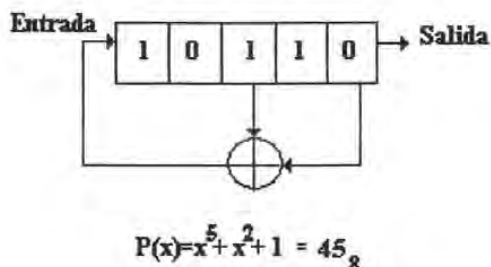


Figura B.3 Registro de corrimiento lineal con retroalimentación, basado en polinomio de primitivo 45_8 .

Valores iniciales : { 1 0 1 1 0 }

Valores de la secuencia (2 periodos):

[0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0
1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1]

En esta secuencia se pueden verificar las siguientes propiedades:

Número de 1's	2^{m-1}	16
Número de 0's	$2^{m-1}-1$	15



Figura B.4 Función de autocorrelación de una secuencia pseudo-aleatoria del tipo m-sequence o m-secuenciaria.

El número total de corridas es 17, de las cuales 8 son de unos y 9 son de ceros. La tabla de abajo muestra que el número de corrida de cada tipo, se aproxima al anterior.

	Longitud de las corridas				
	1	2	3	4	5
Número de las corridas de 1's	4	2	1	---	1
Número de las corridas de 0's	5	4	---	1	---

Idealmente, una secuencia pseudo-aleatoria debe tener una función de correlación que tenga propiedades similares a las del ruido blanco, esto es:

$$R_x(\tau) = \begin{cases} 1 & \text{para } \tau = 0 \\ 0 & \text{en cualquier caso} \end{cases} \quad (3)$$

Es evidente que las m-sequence o m-secuenciaria no cumplen con las características del caso ideal, sin embargo, se puede observar que aproximan mucho a este valor ideal a medida que la longitud de la secuencia crece.

En el caso de CDMA resulta importante que las secuencias pseudo-aleatorias sean mutuamente ortogonales, esto quiere decir que la correlación cruzada, entre diferentes códigos, debe ser 0 y la autocorrelación (mismo código) debe ser 1. El uso de las propiedades anteriores en sistemas de espectro esparcido tiene la finalidad de que la interferencia ocasionada en las transmisiones con códigos diferentes sea cero.

Se ha observado que las m-sequence o m-secuenciaria no cumplen con las propiedades de correlación cruzada necesarias para CDMA, debido a que presentan picos grandes al compararlas con otras secuencias con el mismo periodo mediante la correlación cruzada. La magnitud de los picos se hace mayor a medida que la longitud de la secuencia aumenta.

A pesar del fenómeno anterior, es posible seleccionar un subconjunto de m-sequence o m-secuenciaria que tienen valores más pequeños de correlación cruzada. Sin embargo este número de secuencias es muy pequeño para su uso en CDMA. A estas secuencias se les llama Gold sequences y se generan a partir de un par de secuencias de máxima longitud que tienen propiedades especiales[12].

B. 4 Sistemas de Espectro Esparcido

B.4.1 Espectro Esparcido por Secuencia Directa

Un sistema de espectro esparcido por secuencia directa (DS) es aquel donde una forma de onda portadora es primero modulada por una señal de datos $x(t)$, y posteriormente modulada por una señal de esparcimiento de alta velocidad o gran ancho de banda $g(t)$.

La modulación de la señal portadora se hace en fase, y se puede expresar matemáticamente de la siguiente manera.

$$s(t) = 2P \cos[\omega_0 t + \theta_x(t) + \theta_g(t)] \quad (4)$$

De la ecuación (4) se observa que la fase de la portadora tiene dos componentes que modulan a la señal: $\theta_x(t)$ que depende de los datos y $\theta_g(t)$ que depende de la secuencia de esparcimiento.

La modulación en fase de los sistemas de secuencia directa es generalmente binaria (BPSK), es decir, se realizan cambios de π radianes a la fase de la portadora de acuerdo a la secuencia de datos.

Si se considera que la señal $x(t)$ y la señal $g(t)$ son trenes de pulsos antipodales con valores de +1 y -1, se puede expresar la ecuación (4) de la siguiente forma:

$$s(t) = 2Px(t)g(t)\cos(\omega_0 t) \quad (5)$$

De acuerdo a la ecuación (5), la cadena de pulsos de datos se multiplica en primer lugar con la cadena de pulsos de esparcimiento y posteriormente este producto modula a la señal portadora.

Si se asigna el valor positivo del pulso, 1 al 0 lógico y el negativo, -1 al 1 lógico, la multiplicación de $x(t)$ por $g(t)$, se puede realizar mediante una suma módulo dos de las secuencias $x(t)$ y $g(t)$.

En la figura B.5 Se muestra el esquema básico de un transmisor de secuencia directa.

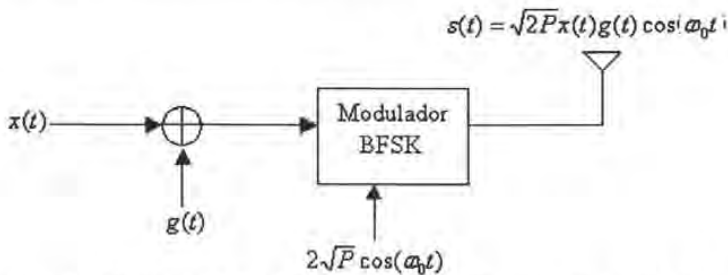


Figura B.5 Esquema básico de un transmisor de secuencia directa BFSK.

El primer paso para llevar a cabo la demodulación es correlacionar o modular nuevamente la señal recibida con una réplica de la señal de código.

La correlación se efectúa multiplicando la señal recibida $r(t)$ con una réplica sincronizada de la señal de esparcimiento $g(t - T_{ds})$. Donde T_{ds} es la estimación del tiempo de retardo en la propagación de la señal, realizada por el receptor.

En ausencia de ruido e interferencia, la señal a la salida del correlador se puede escribir como:

$$c(t) = A P x(t - T_d) g(t - T_d) g(t - T_{ds}) \cos(\omega_0(t - T_d) + \phi) \quad (6)$$

Donde A es un parámetro que modela la ganancia del sistema y ϕ es un ángulo de fase aleatorio en el rango de $(0$ a $2\pi)$.

Ya que $g(t) = \pm 1$, el producto $g(t - T_d)g(t - T_{ds})$ será la unidad únicamente si $T_{ds} = T_d$, lo que significa que el código en el receptor está exactamente sincronizado con el código en el transmisor.

Cuando se cumple la condición anterior, la salida del correlador en el receptor de la señal de banda angosta modulada en BFSK únicamente por los datos.

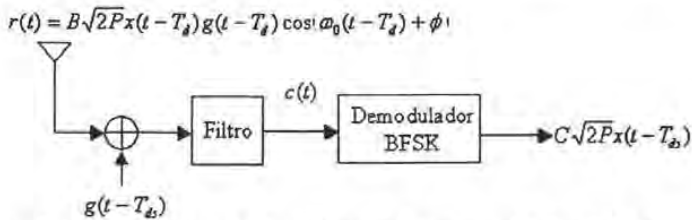


Figura B.6 Esquema básico de un receptor de secuencia directa BFSK.

La siguiente etapa después del correlador es un demodulador convencional de BPSK el cual recupera los datos transmitidos.

Una característica fundamental de las técnicas de espectro esparcido es la protección que pueden proveer contra señales de interferencia de potencia finita. Las técnicas de espectro esparcido distribuyen una señal relativa baja dimensionalidad en un espacio de coordenadas de dimensiones mucho mayores.

Se puede considerar que la señal de información está escondida para el generador de ruido o interferencia (jammer) debido a que éste no sabe en que coordenadas la señal se está transmitiendo en un momento determinado. El generador de interferencia puede intentar afectar la señal introduciendo interferencia o ruido a lo largo de todo el espacio con potencia total finita, lo que resulta en una cantidad limitada de interferencia para cada señal coordenada; otra forma puede ser interferir unan parte del espacio con su potencia total, dejando las coordenadas restantes libres de interferencia.

En este tipo de sistemas, la manera en que el jammer escoja distribuir su potencia es independiente de la relación señal a interferencia (SJR) obtenida. La expresión de la relación SJR [10] es la siguiente:

$$SJR = \frac{E_s N}{E_w D} \quad (7)$$

Donde

- **D** Número de coordenadas ortogonales usadas para representar la información a través de señales de banda angosta.
- **N** es el número de coordenadas ortogonales del espacio donde se esparce la señal.
- **E_s** es la energía de cada forma de onda de las señales ortogonales de banda angosta usadas para representar la información.
- **E_w** es la energía de la señal de interferencia, medida en el mismo periodo de tiempo E_s
- **N >> D**

De la ecuación se puede concluir que el esparcimiento le da a la señal un factor de ventaja de N/D sobre el jammer. A dicho factor se le llama ganancia de procesamiento (ganancia de procesamiento) la cual se representa como G_p .

Debido a que la dimensionalidad de una señal con ancho de banda W y duración T es aproximadamente $2WT$, la ganancia de procesamiento se puede expresar de la siguiente manera:

$$G_p = \frac{N}{D} \approx \frac{2W_{SS}T}{2W_{\min}T} = \frac{W_{SS}}{W_{\min}} \quad (8)$$

Donde

- W_{SS} es el ancho de banda donde se esparce la señal o ancho de banda del sistema de espectro esparcido.
- W_{\min} es el ancho de banda mínimo requerido para la transmisión de los datos, es decir el ancho de banda de la señal de banda angosta.

Para el sistema de secuencia directa G_p se puede expresar también como:

$$G_p = \frac{R_p}{R} \quad (9)$$

B.4.2. Espectro Esparcido por Salto de Frecuencia

La técnica de espectro esparcido llamada saltos en frecuencia FH, generalmente usa una modulación M-aria de frecuencia (MFSK), donde $k = \log_2 M$ es el número de bits de información usados para determinar cual de las M frecuencias será transmitida. La posición del conjunto de las M frecuencias es recorrido pseudo-aleatoriamente por el sintetizador de frecuencia, sobre un ancho de banda de salto W_{SS} .

En un sistema MFSK estándar los datos modulan a una frecuencia portadora fija, mientras que en un sistema de espectro esparcido con saltos en frecuencia, los datos modulan a una portadora cuya frecuencia es determinada pseudo-aleatoriamente. En ambos casos sólo se transmite un tono.

El sistema de saltos en frecuencia puede ser conceptualizado como un proceso de dos etapas: modulación de los datos y modulación de saltos en frecuencia. En la práctica, las dos etapas anteriores se realizan en un solo paso debido a que el sintetizador de frecuencias produce un tono de transmisión basado simultáneamente en el código pseudo-aleatorio, y en los datos. En la figura B.7 se muestra un esquema básico de saltos en frecuencia.

Para cada salto de frecuencia, un generador pseudo-aleatorio alimenta al sintetizador de frecuencias con una palabra de L bits o chips, la cual establece una de 2^L posiciones en el espectro en las cuales puede saltar la frecuencia portadora. El mínimo número de chips por palabra está determinado por el ancho de banda del sistema de espectro esparcido de saltos en frecuencia, y el espaciamiento entre las posiciones de saltos consecutivos, Δf .

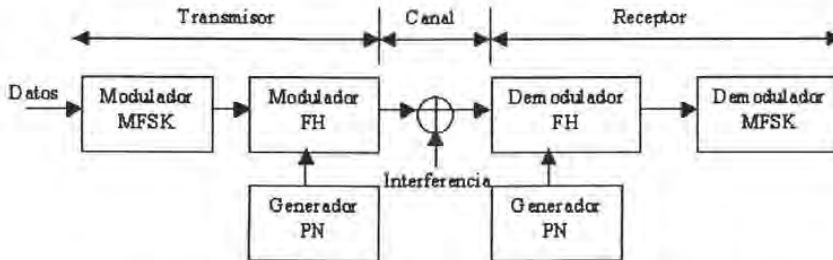


Figura B.7. Diagrama de un sistema básico de saltos en frecuencia.

Para un salto en particular, el ancho de banda ocupado por la señal es idéntico al de una modulación convencional MFSK, el cual es mucho menor que W_{SS} . Sin embargo, al promediar muchos saltos resulta que se ocupa todo el ancho de banda del sistema de espectro esparcido W_{SS} .

La tecnología actual permite anchos de banda para sistemas de saltos en frecuencia del orden de varios Giga Hertz, mucho más de lo permitido para sistemas de secuencia directa. Por lo anterior, los sistemas de saltos en frecuencia tienen una ganancia de procesamiento mayor que los sistemas de secuencia directa. A causa del gran ancho de banda manejado por los sistemas de saltos en frecuencia es difícil mantener coherencia en la fase de salto en salto, por ello, generalmente se utiliza una demodulación no coherente.

La demodulación se realiza en dos pasos: el primero es recuperar la señal esparcida y el segundo es remodular la señal MFSK. La recuperación de la señal esparcida se lleva a cabo mezclando la señal recibida con la misma secuencia pseudoaleatoria utilizada para determinar los saltos en frecuencia; la demodulación MFSK se realiza con un banco de M detectores de energía no coherente convencionales, de esta manera, se selecciona el símbolo de mayor similitud.

En el caso de secuencia directa el término chip se refiere al un símbolo del código pseudoaleatorio, es decir, al símbolo de menor duración del sistema. De forma similar, para los sistemas de saltos en frecuencia, el término chip se usa para nombrar a la mínima forma de onda sin interrupciones.

Los sistemas de saltos en frecuencia se clasifican como sistemas de saltos lentos (SFH) y sistemas de saltos rápidos (FFH).

Los sistemas de espectro esparcido con saltos en frecuencia lentos son aquellos en los que hay varios símbolos de modulación por salto en frecuencia. Para estos sistemas, la mínima forma de onda sin interrupciones, chip, es la del símbolo del dato. En la figura B.8 se muestra una forma de onda con tres símbolos de modulación por salto. Cada símbolo corresponde a un chip, y representa una secuencia de bits. En el caso de BFSK, un símbolo representa un solo bit.

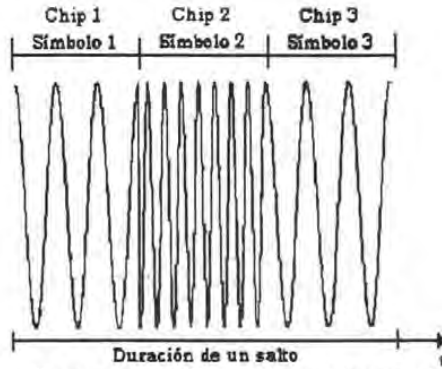


Figura B.8 Señal de espectro disperso con saltos lentos en frecuencia que presenta tres símbolos de modulación por cada salto en frecuencia.

En la figura B.9 se muestra el funcionamiento del sistema en el dominio de la frecuencia. La modulación es binaria, BFSK, una desviación positiva de la frecuencia representa un 1 lógico y una desviación negativa representa un 0 lógico. En cada salto se agrupan 3 símbolos de modulación, que por tratarse de BFSK, corresponden a 3 bits por salto. Del análisis anterior se puede verificar que en los sistemas de saltos lentos en frecuencia, la tasa de bits por segundo es mayor o igual a la tasa de saltos por segundo.

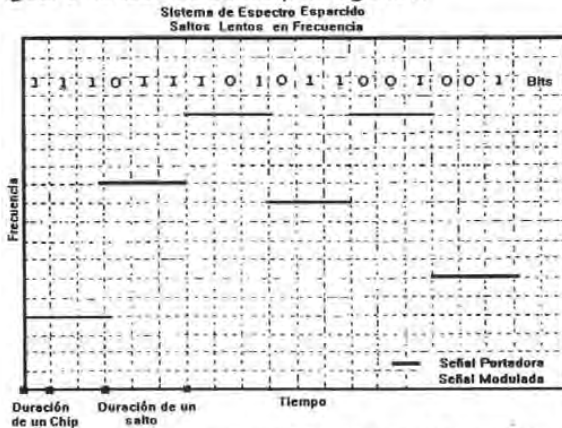


Figura B.9. Sistema de saltos lentos, en el dominio de la frecuencia.

Los sistemas de espectro esparcido con saltos en frecuencia rápidos son aquellos en donde hay varios saltos en frecuencia por símbolo de modulación. En estos sistemas, la mínima forma de onda sin interrupciones, chip, es la determinada por el salto. En la figura B.10 se muestra una forma de onda con cuatro saltos por símbolo de modulación. Cada salto corresponde a un chip.

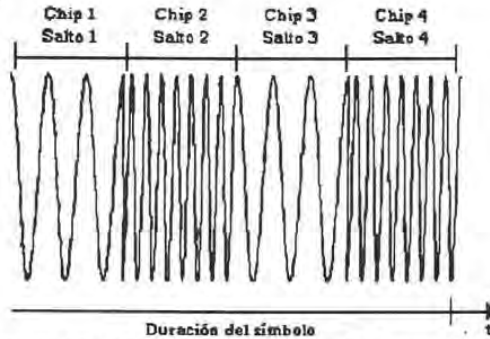


Figura B.10 Forma de onda de una señal de espectro esparcido de saltos rápidos.

En la figura B.11 Se muestra el funcionamiento del sistema en el dominio de la frecuencia. La modulación es binaria, BFSK, una desviación positiva de la frecuencia representa un 1 lógico y una desviación negativa representa un 0 lógico. Debido al tipo de modulación BFSK, un símbolo de modulación representa un solo bit. Cada símbolo de modulación ocupa 4 saltos en frecuencia, es decir, se transmite 4 veces.

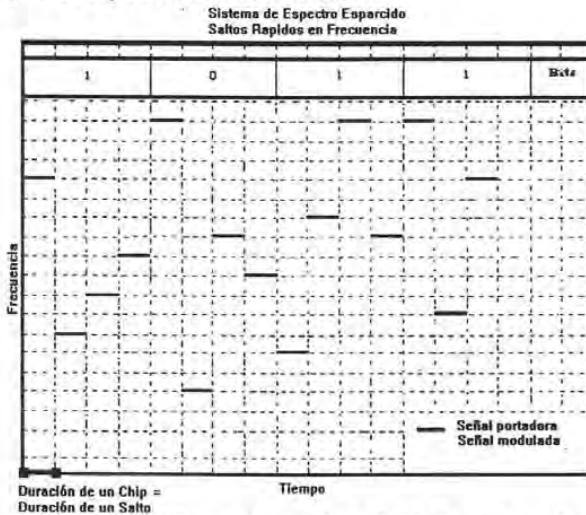


Figura B.11 Sistema de espectro disperso con saltos rápidos, en el dominio de la frecuencia.

Del análisis anterior se puede verificar que en los sistemas de saltos rápidos en frecuencia, la tasa de bits por segundo es menor a la tasa de saltos por segundo.

Apéndice C

Sincronización de Redes Inalámbricas Celulares de Telefonía Móvil

Las redes inalámbricas poseen requerimientos de sincronización específicos. Las BTS, BSC y el MSC necesitan ser sincronizados para asegurar Interconexión a las troncales de línea libres de deslizamientos. Las BTS necesitan estar sincronizadas para asegurar la estabilidad de frecuencia de los canales inalámbricos. Los sistemas GSM y TDMA utilizan una sincronización por frecuencia. El sistema CDMA (IS-95) también precisa de sincronización de tiempo.

CDMA, GSM y TDMA requieren estabilidad de frecuencia para evitar que las frecuencias centrales de los canales se muevan y así evitar interferencia de co-canal, y problemas de hand-off entre celdas. CDMA requiere estabilidad en tiempo para asegurar las secuencias de pilotos en todas las celdas sean bien asignados y así evitar problemas en el hand-off de una celda a otra.

Existen nuevos servicios que requieren también tiempo y estabilidad para la localización de terminales móviles y para los sistemas de 3G tal como UMTS. El backhaul de ATM o de radio puede ser usado como tecnología de transporte de BTS, BSC y MSC, pero no brindan una buena transparencia en tiempo.

C.1 Sistema Global de Posicionamiento GPS

El GPS fue fundado y es controlado por el Departamento de Defensa (DOD) de los Estados Unidos. Mientras existen miles de usuarios civiles en todo el mundo del sistema GPS, este sistema fue diseñado y es operado por la milicia de los Estados Unidos.

El sistema GPS provee señales codificadas del satélite que pueden ser procesadas en un receptor GPS, habilitando el receptor para calcular la posición, velocidad y tiempo. Cuatro satélites son usados para calcular una las posiciones en tres dimensiones y el tiempo en el reloj receptor.

El Sistema Global de Posicionamiento GPS (Global Positioning System) es un sistema de radio satelital que proporciona continuamente y en tiempo real información de posición tridimensional, velocidad y tiempo (Universal Time Coordinated) a un equipo apropiado a los usuarios en cualquier parte de la superficie de la Tierra. Como se muestra en la figura C.1.

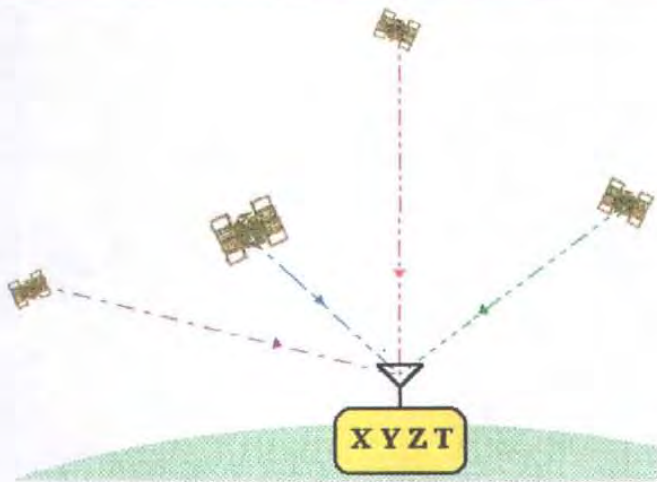


Figura C.1 Sistema de Posicionamiento Global.

El GPS nació como una herramienta para navegación y posicionamiento, es usado también como una referencia de tiempo pura. Existen dos sistemas disponibles a los usuarios en el mundo:

- NAVSTAR (Departamento de Defensa de U. S.), diseñado desde 1973 para tomar el lugar de LORAN-C y que fue completado en 1994.
- GLONASS (Fuerza Aérea Rusa).

Ambos sistemas consisten de tres segmentos: segmento espacial, segmento de control y segmento de usuario.

C.1.1 Segmento Espacial de NAVSTAR

El segmento espacial del sistema consiste de satélites GPS. Estos vehículos espaciales envían la radio señal del espacio. La constelación consiste de 21 + 3 satélites en 6 órbitas planas, estas órbitas están igualmente espaciadas cada 60°. Como se muestra en la figura C.2. Las órbitas son circulares de 20,200 km de radio, 12 horas de periodo y un ángulo de inclinación de 55°.

NAVSTAR está equipado con relojes atómicos de cesio (Cs) y rubidio (Rb) a bordo. Controlados desde la Tierra. Un mínimo de cuatro satélites están a vista a los usuarios en todo el mundo en cualquier tiempo.

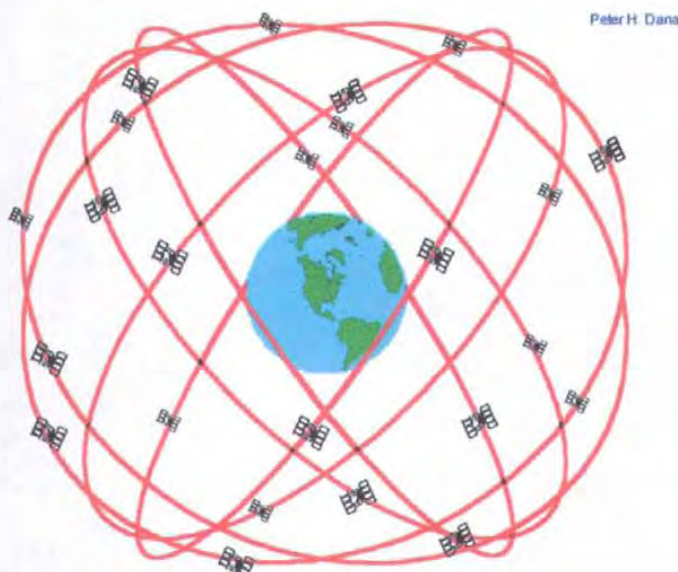


Figura C.2 Constelación de Satélites GPS.

El GPS utilizando técnicas de espectro esparcido, en cada emisión satelital, maneja dos frecuencias L1 y L2. Estas señales se componen de:

- Señal L1 (1575.42 MHz) Precisa (P), codificada (encriptada), código de adquisición burda (C/A) disponible a todos los usuarios civiles.
- Señal L2 de radio (1227.6 MHz) Precisa (P), codificada (encriptada).

C.1.2 Segmento de Control del NAVSTAR

El segmento de control consiste de un sistema de estaciones de rastreo localizadas alrededor del mundo. La estación de control maestro está localizada en la Base Aérea de Schriever en Colorado. Estas estaciones de supervisión miden señales desde los vehículos espaciales los cuales son incorporados en los modelos orbitales para cada satélite.

Los modelos calculan información precisa de la órbita (efemérides) y las correcciones de reloj para cada satélite. La estación de control maestro envía las efemérides y la información de reloj a los vehículos satelitales. Estas a su vez envían la información de las efemérides hacia los receptores sobre las señales de radio.

Los GPS reciben cálculos de sus cuatro posiciones dimensionales (espacio y tiempo) con base en las señales de radio recibidas al menos de los cuatro satélites visibles.



Figura C.3 Segmento de Control del Sistema GPS.

Los receptores civiles reciben un tipo de señal llamada código C, los receptores Militares o autorizadas reciben códigos P + C y los GPS diferenciales reciben una señal de off-set de una posición conocida para ser calculada.

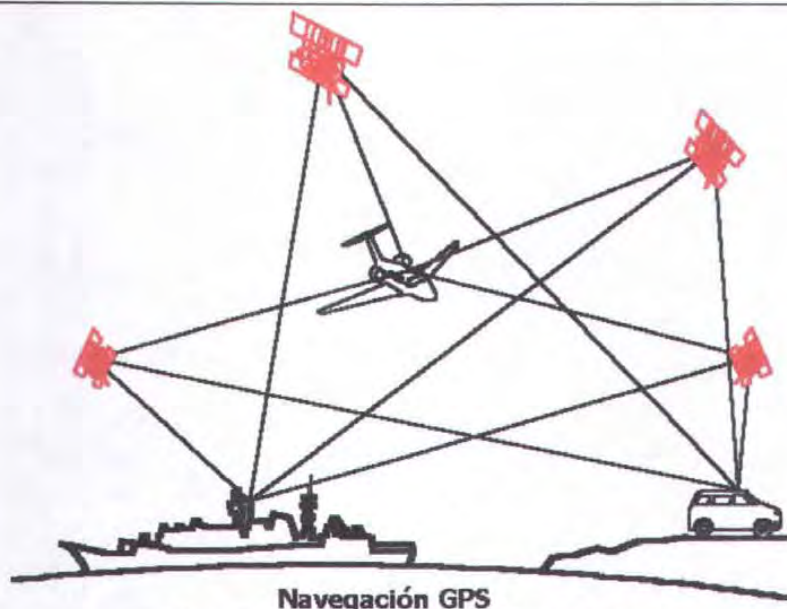
C.1.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario consiste de los receptores GPS y la comunidad de usuarios. Los receptores de usuarios pueden determinar su posición con un 95% de precisión. Los receptores convierten las señales de los vehículos satelitales en estimaciones de posición, velocidad y tiempo.

Cuatro satélites son requeridos para calcular las cuatro dimensiones de posición X, Y, Z y tiempo. Los receptores GPS son usados para navegación, posicionamiento, diseminación de tiempo y otras investigaciones.

La navegación en tres dimensiones es la función básica de GPS. Los receptores son hechos para naves espaciales, barcos, vehículos terrestres y para GPS portátiles. Como se muestra en la figura C.3.

La posición precisa es posible usando receptores GPS, utilizando lugares de referencia proporcionando correcciones e información relativa de receptores remotos. Ejemplos de esta aplicación son: búsqueda, control geodésico y estudios de la placa tectónica.



Navegación GPS
Figura C.4 Sistemas de Navegación con GPS.

El tiempo y la diseminación de frecuencia, con base en los relojes precisos a bordo de los vehículos satelitales y controlados por las estaciones de monitoreo es otro uso de los GPS. Algunos observatorios astronómicos, sistemas de telecomunicaciones y laboratorios pueden requerir señales de tiempo precisas para control con exactitud de frecuencias y es por esta razón que utilizan el sistema GPS.

C.1.4 Señales del Satélite GPS

El satélite transmite dos señales de portadora. La frecuencia L1 (1575.42 MHz) que lleva el mensaje de navegación y las señales de código de servicio estándar de posicionamiento SPS (Standar Positioning System). La frecuencia L2 (1227.60 MHz) es usada para medir el retardo de la ionosfera por los receptores equipados con servicio de posicionamiento preciso PPS (Precise Positioning Service). Tres códigos binarios cambian la fase de las portadoras L1 ó L2.

- **El Código de Adquisición Burda C/A (Coarse Acquisition):** modula la fase de la portadora L1. El código es una repetición del código ruido pseudo-aleatorio de 1 MHz (PRN). Este código similar al ruido modula la señal L1, al "dispersar" el espectro sobre un ancho de banda de 1 MHz. El código C/A repite cada 1023 bits (un milisegundo). Existe un código diferente C/A del tipo PRN sobre cada vehículo satelital. Los satélites GPS son a menudo identificados por su código pseudo-aleatorio, el único identificador para cada código pseudo-aleatorio. El código C/A que modula la portadora L1 es la base para el sistema SPS civil.

- **El Código preciso P (Precise):** modula las fases de ambas portadoras L1 y L2. El Código P es un código PRN muy largo (siete días) de 10 MHz. En el modo de operación anti-falsificación AS (Anti-Spoofing) el código P es encriptado dentro del Código Y. La encriptación del código Y requiere un clasificado un módulo clasificado como AS para cada canal del receptor y es solamente para usuarios autorizados con llaves criptográficas. El Código (Y) es la base del sistema PPS.

Los mensajes de Navegación modulan los códigos señales L1-C/A. El mensaje de Navegación es una señal de 50 Hz la cual consiste de bits de información que describe las orbitas del satélite GPS, las correcciones del reloj y otros parámetros sistemas.

C.1.5 Datos del satélite GPS

Los mensajes de GPS consisten de bits de información etiquetados en tiempo de transmisiones de cada subtrama a un tiempo en el que es transmitido por el satélite. Una trama de información es transmitida cada 30 segundos.

Tres subtramas de seis segundos contienen información de la orbita e información de reloj. Las correcciones del reloj son enviadas en la subtrama uno y conjuntos de datos de precisión de la orbita del vehículo satelital (información de datos de efemérides) para transmitir son enviados en las subtramas dos y tres.

Un conjunto entero de veinticinco tramas (125 subtramas) forman el mensaje completo de navegación que es enviado sobre un periodo de 12.5 minutos. Tramas de datos de 1500 bits son enviadas cada treinta segundos. Cada trama consiste de cinco subtramas, éstas contienen bits de paridad que permiten la revisión de datos y una corrección de errores limitada.

Los parámetros de la información del reloj describen el reloj del satélite y su relación con el tiempo de GPS. Los parámetros de las efemérides describen la orbita del satélite para las secciones cortas de la orbita satelital. Normalmente, un receptor recoge las nuevas efemérides cada hora, pero solamente puede usar la información anterior para pronosticar cuatro horas sin error. Los parámetros de las efemérides son usados con un algoritmo que calcula la posición del satélite para cualquier tiempo entre el periodo de la orbita descrita por el conjunto de parámetros.

C.2. Aplicaciones del GPS

C.2.1 Utilización de GPS como referencia de posición

Los receptores GPS vienen en diferentes tamaños formas y precios. Los receptores manuales económicos (200-500 USD) determinan su posición con el 95% de precisión con un margen de error de 100 m (2s error radial).

Los usuarios civiles pueden ocupar el servicio estándar de posicionamiento SPS (Standar Positioning Service) sin ningún cargo o restricciones . La mayoría son capaces de recibir y usar la señal SPS. La exactitud SPS es intencionalmente degradada por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, por el uso de

Precisión SPS pronosticable:

- 100 metros precisión horizontal
- 156 metros precisión vertical
- 340 nano-segundos de precisión en tiempo

Algunos receptores más sofisticados para aplicaciones militares pueden alcanzar resolución sub-centimétrica, mediante los servicios de posicionamiento preciso PPS (Precise Positioning Service) . Usuarios autorizados con equipo criptográfico, llaves, y receptores con equipo especializado usan el sistema de posicionamiento preciso de los Estados Unidos y aliados militares, ciertas agencias gubernamentales pueden usar el PPS.

La precisión PPS pronosticada es:

- 22 metros precisión horizontal
- 27.7 metros precisión vertical
- 200 nano-segundos de precisión de tiempo

Los receptores GPS producen replicas de las secuencias de código C/A y P(Y). Cada código PRN es como un ruido, pero predeterminado, único con una serie de bits. El receptor produce la secuencia de código C/A para un específico vehículo satelital con algunas formas de generador de código C/A. Los receptores modernos guardan un completo conjunto de códigos chips precalculados en la memoria, pero un hardware, registro de cambios e implementación también pueden ser usados.

El generador de códigos C/A produce una secuencia de 1023 chips para cada fase de establecimiento. En una implementación de corrimiento de registro los chips son recorridos en el tiempo por el reloj que controla los corrimientos del registro. El generador repite las mismas secuencia de 1023 chips cada milisegundo. Se han definido códigos PRN para identificar 32 satélites.

El receptor desliza una replica del código en tiempo hasta que exista una correlación con el código del satélite. Si el receptor aplica un código PRN diferente a la señal del satélite no habrá correlación. Cuando el receptor usa el mismo código, entonces los códigos empiezan a alinearse, se detectan potencia de señales. Cuando se alinean por completo los códigos, la señal portadora de espectro esparcido, son recuperadas y la potencia completa de la señal se detecta.

El receptor utiliza la señal de potencia detectada para alinear el código C/A con la señal del satélite. La última versión del código es comparada con una versión anterior para asegurar que el pico de correlación es rastreada.

C.2.2 Utilización del GPS como referencia de tiempo

El tiempo es calculado en tiempo de vehículo satelital como tiempo de GPS y el tiempo universal coordinado UTC (Universal Time Coordinated). El tiempo del vehículo satelital es mantenido por cada satélite. Cada satélite contiene cuatro relojes atómicos (dos de cesio y dos de rubidio). Los relojes son monitoreados por estaciones de control terrenas y ocasionalmente se les vuela ve a iniciar para mantener el tiempo entre un milisegundo de tiempo de GPS. La corrección de bits de información reflejan el tiempo de compensación de cada satélite del tiempo de GPS.

El tiempo del vehículo satelital se establece en el receptor desde las señales del GPS. Las subtramas de bits ocurren cada seis segundos. La información de la cadena de datos de 50 Hz es alineada con las transiciones de código así que el tiempo de arribo del término de un bit de información (en intervalos de 20 milisegundos) resuelve el rango pseudo-aleatorio cercano al milisegundo. Este rango aproximado resuelve el problema de ambigüedad del milisegundo, y las mediciones del código C/A representan el tiempo fraccionado en milisegundos.

Múltiples satélites y soluciones de navegación permiten establecer el tiempo con una precisión limitada por el error de posición y el error de pseudo-rango para cada vehículo satelital. El tiempo de cada satélite es convertido en el receptor a el tiempo de GPS. El tiempo de GPS es un "reloj armado" ensamblado en el Reloj de Control Maestro y en los satélites. El tiempo de GPS es medido en semanas y segundos desde las 24:00:00, Enero 5 de 1980 y tiene una diferencia de un microsegundo del UTC.

El Tiempo Universal Coordinado UTC (Universal Time Coordinated) es calculado desde el Tiempo de GPS usando la corrección de parámetros enviados como parte de la navegación de los bits de datos. Debido al control MCS, el GPS proporciona una señal de tiempo que puede seguirse con la Tiempo Universal Coordinado UTC (Universal Time Coordinated). El GPS puede experimentar estabilidad de tiempo corto pobre. Para conseguir un 95% de precisión de tiempo garantizada es requerido 340 ns para los servicios de posicionamiento estándar para civiles de NAVSTAR.

Los relojes GPS son equipados con un oscilador local de rubidio guiados por la referencia GPS. Es posible no tener disponibilidad de la señal local transitoria. Los receptores GPS son comúnmente utilizados en el mundo para sincronizar nodos de redes de telecomunicaciones de áreas amplias. La disponibilidad selectiva es un aspecto importante. Algunos administradores usan solamente como referencia de reserva por razones políticas.

Glosario

AAA Authentication, Authorization and Accounting	Autenticación, Autorización y Cuentas. Un conjunto de protocolos (tales como PAP, CHAP y RADIUS) que soportan colectivamente la autenticación, la autorización y las funciones de cuentas.
AC o AuC Authentication Center	Centro de Autenticación. Es un componente del núcleo de la red que proporciona servicios hacia el HLR y el MSC/VLR. Este incluye la información relacionada al mantenimiento de la autenticación para los dispositivos móviles de los usuarios y ejecuta algoritmos de autenticación hacia los móviles.
AMPS Advance Mobile Phone System	Sistema Telefónico Móvil Avanzado. AMPS es un estándar o norma análoga para la telefonía celular en Norteamérica. También ha sido desarrollado en Sudamérica y en algunas partes de Asia. Fue ampliamente implementado en Estados Unidos pero ahora está desplazado por las tecnologías digitales.
BSC Base Station Controller	Controlador de Estaciones Base. En una red celular, es un componente centralizado que controla un gran número de estaciones base. Es responsable del manejo de recursos de radio en conjunto con el MSC establece las llamadas celulares.
BSS Base Station Subsystem	Subsistema de Estaciones Base. En las redes GSM y GPRS la BSS es la combinación de una BSC y el control de las BTSs.
BTS Base Transceiver Station	Estación Base Transceptora. En una red celular, la BTS es el equipo de radio, montado en la base de una torre de antena, que sirve a una área geográfica conocida como "celda". Es responsable de proporcionar la interfaz de radio hacia los nodos móviles. Se conecta hacia el controlador de estaciones base (BSC).
CDMA Code Division Multiple Access	Acceso Múltiple por División de Código. CDMA es una tecnología de acceso múltiple en la cual un gran número de usuarios transmiten en el mismo espectro simultáneamente. Cada transmisión del usuario está identificada por un código digital que está usado en el receptor para identificar la transmisión desde el usuario correcto y rechazar otra transmisión como ruido. La tecnología CDMA es usada en las redes móviles tales como IS-95, cdma2000 y UMTS, también en un rango corto de tecnologías tales como redes inalámbricas 802.11.
CDPD Cellular Digital Packet Data	Red de Paquetes de Datos para Telefonía Celular Digital. Un conjunto de protocolos abiertos para transmisión de paquetes de datos sobre los sistemas existentes de Segunda Generación(2G).

CN Core Network	Núcleo de Red. Es responsable de funciones como: autenticación, autorización, conmutación interfaz con la PSTN, interfaz con Internet, etc. Las normas tienden a independizar el Núcleo de Red de la Red de Radio y definir interfaces abiertas entre ellos. Por ejemplo, en UMTS el Núcleo de la red puede servir independientemente de la tecnología de acceso de la terminal del usuario (inalámbrico o fijo).
CS-CN Circuit Switched-Core Network	Núcleo de Red de Circuitos Conmutados. Esto proporciona toda la funcionalidad para la red de circuitos conmutados.
E1	Un E1 es un formato para llevar una transmisión digital que es comúnmente usada en Europa. Es similar a los T1's que son usados en el Mercado Norteamericano. Este lleva información a 2 Mbps con 32 canales a 64 kbps cada uno.
EDGE Enhanced Data Rates for Global Evolution	Tasas de Datos Mejorada para la Evolución Global. EDGE es una tecnología de interfaz de radio para incrementar las tasas de datos en las redes de datos GSM, GPRS y HSCSD. EDGE emplea esquemas de modulación mejorados tales como 8-PSK para alcanzar tasas de datos más altas. Cuando se utiliza en las redes GPRS, EDGE puede proporcionar tasas de datos superiores a 384 kbps.
ETSI European Telecommunication Standard Institute	Primer cuerpo de normas para las tecnologías de telecomunicaciones en Europa. Es responsable de desarrollar normas o estándares, como GSM, GPRS, EDGE y UMTS. También son responsables de desarrollar normas para comunicaciones fijas, de banda ancha y tecnologías de telefonía por Internet así como 3GPP.
F-CCCH Forward Common Control Channel.	Canal de Control Común de Envío. Un canal de control de envío en CDMA2000 que lleva información de mensajes específicos de señalización del usuario. La función de este canal es similar a la del Canal de Paging de IS-95.
FA Foreign Agent	Agente Externo es un término para el Protocolo de Internet Móvil. Un servidor o "router" en la red visitada por el móvil el cual proporciona servicios de dirección temporal para los móviles registrados. Y envía paquetes recibidos desde el agente origen del móvil. También realiza la interfaz con el servidor AAA para autenticación y contabilidad.
FDD Frequency Division Duplex	División de Frecuencia Duplex, se refiere a los sistemas de comunicación donde el transmisor y el receptor usan dos canales de comunicación diferentes para comunicarse el uno con el otro. Este los habilita para transmitir y recibir al mismo tiempo. Las redes AMPS son un ejemplo de FDD donde dos diferentes canales de 30 KHZ son usados sobre el aire entre los móviles y la red.
GGSN Gateway GPRS Support Node	Nodo de Soporte de Entrada a GPRS. Se encuentra en el núcleo de red de datos en GPRS y en sistemas UMTS. Es una puerta de la red inalámbrica hacia una red externa de paquetes de datos (por ejemplo Internet). Las responsabilidades del GGSN incluyen el dominio y asignación de direcciones IP para usuarios móviles, escondiendo la movilidad desde la red externa de datos y asignando rutas de usuarios entre las redes inalámbricas y las redes externas de datos.
GPRS General Packet Radio Service	Servicio General de Paquetes de Datos. Esta es la solución de paquetes de datos para las redes GSM donde una red separada maneja el acceso de paquetes de datos. Con la misma red GSM adiciona capas para manejo de paquetes de datos. Mejora la eficiencia de espectro para transferencias asimétricas de datos, habilidad para manejar el tráfico intermitente de datos, manejo de redes IP y X.25. Proporciona conexiones "permanentes" y tasas de datos desde 56 kbps a 114 kbps para teléfonos móviles y usuarios de computadoras.

GSM
Global System for Mobile Communications

Sistema Global para Comunicaciones Móviles. Es un conjunto de especificaciones desarrolladas en Europa para tener un acuerdo común en la tecnología de radio además de todas las facetas de la red para asegurar la compatibilidad en toda Europa.

GSM-MAP
GSM Mobile Application Part

Parte de Aplicaciones Móviles para GSM. Es el protocolo que define la interfaz entre los nodos de red en GSM (HLR, VLR, y MSC), incluyendo las comunicaciones entre las redes GSM. Fue creado inicialmente por la ETSI para habilitar el "roaming" de los suscriptores en Europa y otras partes del mundo. El mecanismo de señalización está basado en el sistema de señalización 7 (SS7) y proporciona un mecanismo comprensible para funciones de redes inalámbricas, tales como registro, movilidad y prestación de servicios.

HA
Home Agent

Agente Origen, es un término de IP móvil. Es un servidor o "router" en la red origen del nodo móvil. El nodo móvil puede ser un dispositivo de cómputo móvil como un PDA, una computadora portátil o una terminal telefónica. La presencia de un nodo móvil en una red que no sea la de origen es registrada en el Agente de Origen. Cualquier paquete que venga del nodo móvil en el Agente Origen es enviado hacia la localización actual. HA es responsable por la seguridad.

HLR
Home Location Register

Registro de Ubicación de Origen. Es la base de datos que contiene la copia maestra de los registros de los suscriptores incluyendo información de los privilegios de llamada, estado de su cuenta y la ubicación actual del suscriptor.

HSCSD
High Sped Circuit Switched Data

Datos a alta velocidad por Circuitos Conmutados, es una llamada de datos en una red inalámbrica que mantiene y usa más de un canal de tráfico para facilitar a los usuarios tasas más altas de datos, durante la llamada.

IETF
Internet Engineering Task Force

Fuerza de Tareas de Ingeniería para Internet, es el cuerpo de normas responsable para la especificación de normas y estándares para tecnologías de Internet. Es un foro de discusión para el futuro de Internet y diferentes áreas relacionadas a Internet. El IETF tiene varios grupos de trabajo involucrados en el desarrollo de los estándares para diferentes tecnologías de Internet tales como Voz sobre IP, MPLS y tecnologías de asignación de rutas.

IMT-2000

IMT-2000 fue inicialmente concebida para permitir a los usuarios movilidad total en cualquier lugar, con la misma terminal. En su actual definición, IMT-2000 es un servicio de tercera generación para telefónica móvil que se realizará a alta velocidad, con servicios de multimedia proporcionando servicios globalmente. La idea es permitir el uso de un solo dispositivo (teléfono móvil, PDA) en cualquier lugar del planeta para recibir voz, video o datos. UMTS y cdma2000 son dos estándares desarrollados para 3GPP y 3GPP2 respectivamente, que encuentran los requerimientos necesarios en IMT-2000. IMT-2000 espera poder ofrecer mejores velocidades de transmisión (arriba de 2 Mbps) a través de tecnologías avanzadas, no es una revolución total de los teléfonos celulares de 2ª Generación. Aunque otros países están preparando servicios tales como CDMA2000 y GPRS, llamados "pre-IMT-2000", con los cuales tasas de transmisión de 144 kbps son posibles.

IP
Internet Protocol

Protocolo de Internet, es el protocolo de la capa de red por el cual los datos son enviados desde una computadora a otra a través de Internet.

IS-136
Interim Standard 136

Define la interfaz de aire de TDMA sobre el móvil y la Estación Base Transceptora (BTS).

IS-41 Interim Standard 41	Define la interfaz de red entre los elementos de la red tales como el MSC, HLR, VLR, etc.
IS-95 Interim Standard 95	Es la interfaz de aire de CDMA de 2G. Define la interfaz de aire entre el móvil y la Estación Base Transceptora (BTS). Tiene dos revisiones IS-95 A e IS-95 B.
IS-95 A Interim Standard 95 A	El estándar inicial de las redes CDMA de 2a Generación.
IS-95 B Interim Standard 95 B	El estándar revisado de las redes CDMA de 2a Generación.
ISP Internet Service Provider	Proveedor de servicios de Red, una compañía que proporciona acceso a Internet. Por ejemplo AT&T World Net, MCI World Com, e UUNET son algunos de los proveedores de mayor servicio.
ITU International Telecommunication Union	La Unión Internacional de Telecomunicaciones es una organización civil internacional establecida para promocionar la estandarización de las telecomunicaciones a todo lo largo y ancho del planeta.
IWF Inter Working Function	Función de Interconexión entre Redes. Es un término genérico el cual se aplica a un dispositivo que opera como una puerta entre dos redes diferentes por ejemplo en una red de datos de CDMA2000 el PDSN es la función de interconexión entre la red de acceso inalámbrico y la Internet.
J-STD-008	Es el estándar IS-95 para la Banda de 1900 MHz.
MAP Mobile Application Part	Parte de Aplicación Móvil, es un mecanismo de señalización que fue inicialmente creado por la ETSI para permitir la visita entre los diferentes suscriptores en toda Europa y otras partes del mundo. Este mecanismo de señalización esta basado en el Sistema de Señalización 7 (SS7) y proporciona un mecanismo comprensivo para las funciones de redes inalámbricas tales como registro, movilidad y servicios.
Modem Modulator-Demodulator	Modulador-Demodulador, un periférico de la computadora modula una señal digital dentro de una línea análoga y demodula de una línea análoga una señal digital en el receptor terminal.
MSC Mobile Switch Center	La central de conmutación de móviles es el componente de conmutación del sistema de comunicación inalámbrico que proporciona la conexión real de voz y datos desde el sistema y la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN). El MSC también realiza tareas tales como recolección de información de tarificación y estadística de las llamadas.

Node B	En la Red de Acceso de Radio Terrestre de UMTS (UTRAN), el Nodo B es la unidad de transmisión y recepción de radio. Maneja la transmisión y recepción de varias celdas en un área de cobertura.
PDA Personal Digital Assistants	Asistente Personal Digital es una categoría de dispositivos portátiles, manejables los cuales proporcionan acceso rápido a una variedad de funciones para manejo de información personal, tales como agenda, libreta de direcciones, calculadora y calendario. Además las PDAs pueden soportar funciones tales como navegación por Internet, correo electrónico procesador de palabras, hojas de cálculo, etc. Los modelos más nuevos combinan el manejo de información personal, el cálculo, acceso a Internet, teléfono o funciones de radiolocalizador en una sola unidad. Los PDA's a menudo soportan entradas a través de un puerto de rayos infrarrojos para transmisión y recepción de información y ofrece el acceso a Internet inalámbrica.
PDN Packet Data Network	Red de Paquetes de Datos. La Red de paquetes de datos es una red de comunicaciones que utiliza la conmutación de paquetes de datos para asignar rutas de paquetes de datos.
PDP Packet Data Protocol	Protocolo de Paquetes de Datos. Este protocolo es utilizado en los estándares GSM/GPRS para describir cualquiera de los protocolos de IP o X.25.
PDSN Packet Data Serving Node	Nodo de Servicio de Paquetes de Datos es la interfaz entre la Red de Acceso de Radio e Internet en la arquitectura CDMA2000. Se encarga de asignar las rutas de paquetes entre la RAN e Internet, interactúa con el Servidor AAA para autorizar al usuario y generar la información de tarificación basada en el uso del suscriptor.
PLMN Public Land Mobile Network	Red Móvil Pública Terrestre, este es un término utilizado para designar el equipo del núcleo de la red y la red de acceso por radio usado para proporcionar servicios de voz y paquetes de datos inalámbricos al consumidor final.
PS-CN Packet Switched Core Network.	Núcleo de la red de paquetes conmutados, es el núcleo de la red en los sistemas GSM y UMTS, el cual proporciona acceso desde la red de acceso por radio (RAN) hacia la red de servicios de paquetes de datos (por ejemplo Internet o una red privada de datos). Es responsabilidad del PS-CN manejar la movilidad de los paquetes de datos así como también esconder la movilidad desde los servicios y aplicaciones residentes en redes no inalámbricas de datos.
PSTN Public Switched Telephone Network	Red Telefónica Pública Conmutada es una red de circuitos conmutados utilizada para proporcionar servicios dedicados orientados a conexión. El servicio básico de la PSTN es el circuito de voz.
QoS Quality of Service	La Calidad de Servicio define un conjunto de criterios usados para clasificar el nivel de servicio proporcionado a un cliente o su aplicación. Este criterio incluye, pero no está limitado a, la tasa de datos (kilobits por segundo, retardo de transmisión, interferencia y pérdida de paquetes).
RAN Radio Access Network	Red de Acceso por Radio, es el término genérico usado para las redes que establecen y manejan el acceso por radio. Esto incluye al controlador de la red o los controladores de estaciones base y las estaciones base. En las redes CDMA, esta red es oficialmente llamada RN (Red de Radio) pero el uso común es RAN.

RNC Radio Network Controller	Controlador de Red de Radio. En la Red Terrestre de Acceso por Radio para UMTS (UTRAN), el Controlador de Radio es responsable de proporcionar el manejo de los recursos de radio requeridos para proporcionar cada circuito o paquete de servicios al usuario final.
SGSN Serving GPRS Support Node	Nodo de Soporte de Servidor GPRS. Maneja la movilidad en el GPRS y en el núcleo de la red de paquetes de UMTS.
SIP Session Initiation Protocol	Protocolo de Inicio de Sesión es un protocolo de la IETF para inicio de sesiones multimedia. Puede ser usado para iniciar múltiples tipos de sesión, pero ha recibido amplia atención como protocolo de señalización de aplicaciones de telefonía sobre IP.
SMS Short Message Service	Servicio de Mensajes Cortos es un servicio para entrega de mensajes alfanuméricos en un dispositivo móvil. SMS es similar a los servicios de radio-localizador pero no requiere dispositivo este activo o en rango para recibir el mensaje.
SM-SC Short Message Service Center	Centro de Servicio de Mensajes Cortos, es un centro de procesamiento que guarda y envía los mensajes cortos para un suscriptor.
SN Service Node	Nodo de Servicio
Spectrum	Espectro Electromagnético
SS7 Signaling System Number Seven	Sistema de Señalización Número Siete, un protocolo de señalización fuera de banda que proporciona llamadas básicas y funciones de rutas. La señalización se envía en un canal separado desde la información de voz.
T1	T1 es una tecnología de capa física usada en el mundo de los circuitos conmutados. Soporta tasas de datos de 1.544 Mbps. Los T1's pueden ser canalizados o descanalizados. Los T1's canalizados soportan 24 canales. Cada canal es llamado un DS0 y soporta 64 kbps.
TDD Time Division Duplex	División por Tiempo Duplex, es uno de los modos de operación de UMTS o WCDMA, sobre la interfaz de aire, el cual hace uso de los métodos de acceso múltiple por división de tiempo y por división de código. TDD opera en un espectro impar (a diferencia de la División por Frecuencia Duplex), con el enlace de subida y el enlace de bajada compartidos en un recurso común al dividir el canal en tiempo.
TDMA Time Division Multiple Access	Acceso Múltiple por División de Tiempo, un esquema de acceso múltiple en el cual el espectro es asignado a los usuarios con base en una ranura de tiempo. Por ejemplo en los sistemas GSM, cada canal de 200 kHz es dividido en 8 ranuras de tiempo, una ranura por usuario. Los sistemas IS-136 y GSM usan TDMA para la interfaz de aire.
TIA Telecommunication Industry Association	Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones.

UE User Equipment	Equipo de Usuario es el término genérico utilizado para las terminales móviles para UMTS, 3GPP.
UMTS Universal Mobile Telecommunication System	Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, es un sistema de tercera generación (3G). Es una familia de estándares bajo la norma IMT-2000. El propósito de UMTS es extender las capacidades de los móviles actuales, las tecnologías inalámbricas y satelitales para proporcionar mejores y más rápidas tasas de datos, además de un amplio rango de servicios al usuario final.
UTRAN UMTS Terrestrial Radio Access Network	Red Terrestre de Acceso por Radio para UMTS, proporciona radio acceso entre los usuarios de móviles y el núcleo de la red, esta formada por estaciones base para UMTS (Nodo B) y el Controlador de la Red de Radio (RNC).
VLR Visitor Location Register	Registro de Ubicación de Visitantes, una base de datos que contiene una copia de los registros de los suscriptores en un área de cobertura en particular que se encuentran activos. El VLR permite las salidas de llamadas que pueden ser autorizadas y procesadas sin la necesidad de interacción con el Registro de Ubicación de Origen (HLR).
WCDMA Wideband Code Division Multiple Access	Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha, también conocido como Acceso Terrestre de Radio para UMTS (UTRA), este es el estándar de acceso de radio definido para los Proyectos de 3ª Generación (3GPP). WCDMA es una secuencia directa de los sistemas definidos para alcanzar los requerimientos de 3ra generación de IMT-2000.
WAP Wireless Application Protocol	Protocolo de Aplicación Inalámbrico. Es un conjunto de protocolos definidos con el propósito de entregar contenidos de Internet para dispositivos inalámbricos. Este soluciona las limitaciones de las redes inalámbricas y las deficiencias de los dispositivos pequeños.