



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**“CALIDAD EN EL SERVICIO
EN SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA**

PRESENTAN:

**GILES GARCÍA CATHY GEORGINA
NAMBO PASAYE HÉCTOR MIGUEL
PIZANO ALANIS JONATHAN DE JESÚS**

ASESORES:

**ING. CARLOS MIRA GONZALEZ
M. EN C. RABINDRANATH RESENDIZ VAZQUEZ
ING. MALENA DÍAZ CHÁVEZ**



MÉXICO, D.F. 2010

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN TESIS Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
DEBERA(N) DESARROLLAR

C. CATHY GEORGINA GILES GARCIA
C. HÉCTOR MIGUEL NAMBO PASAYE
C. JONATHAN DE JESÚS PIZANO ALANIS

“CALIDAD EN EL SERVICIO EN SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL”

EL OBJETIVO GENERAL PROYECTO ES EL ANÁLISIS DEL IMPACTO QUE TIENE LA
GESTIÓN DE RECURSOS DE RADIO SOBRE LAS MEDIDAS Y REQUERIMIENTOS
ASOCIADOS AL COMPORTAMIENTO DE LA RED UMTS.

- ❖ EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL (HACIA LA TERCERA GENERACIÓN).
- ❖ DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL DE TERCERA GENERACIÓN
- ❖ CALIDAD DE SERVICIO EN SISTEMAS DE TERCERA GENERACIÓN
- ❖ ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RECURSOS DE RADIO PARA GARANTIZAR LA QoS EN UMTS

MÉXICO D. F., A 14 DE NOVIEMBRE DE 2010.



ING. CARLOS MIRA GONZALEZ

ASESORES



M. EN C. RABINDRANATH RESENDIZ VAZQUEZ



ING. MALENA DIAZ CHAVEZ



M. EN C. SALVADOR RICARDO MENESES GONZÁLEZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA



JEFATURA
DE I.C.E.

ÍNDICE

Objetivo General	vii
Introducción	viii
Capítulo 1: Evolución de los sistemas de telefonía móvil (hacia la tercera generación)	1
1.1 Primera Generación	2
1.1.1 Elementos de los Sistemas de Primera Generación	2
1.1.2 El Concepto Celular	3
1.1.3. Handoff	4
1.2 Segunda Generación	5
1.2.1 IS-136 Y TDMA (D-AMPS)	5
1.2.1.1 Codificación de TDMA (Time Division Multiple Access)	6
1.2.1.2 Canal de Control	8
1.2.1.3 MAHO (Transferencia Asistida Móvil de Celda)	9
1.2.2 CDMA (Code Division Multiple Access)	10
1.2.2.1 Interfaz de Aire de IS-95	11
1.2.2.2 Asignación de Canales	11
1.2.2.3 Control de Potencia	14
1.2.3 GSM (Global System for Mobile Communications)	14
1.2.3.1 Interfaz de aire GSM	15
1.2.3.2 Asignación del Espectro	15
1.2.3.3 Control de radio	16
1.2.3.4 Subsistema de red NSS (Network Subsystem)	17
1.2.3.5 Conmutador MSC (Mobile Station Switching Center)	18
1.2.3.6 Registro de Abonados Locales HLR	18
1.2.3.7 Registro de Localización de Visitantes VLR	19

1.3 Generación 2.5 GPRS (General Packet Radio Service)	20
1.3.1 Interfaz de aire GPRS	20
1.3.2 Canales de tráfico de paquetes	21
1.3.3 Canales de Control	22
1.3.4 Arquitectura de la Red	24
1.3.5 Operación Básica de GPRS	26
1.4 Tercera Generación	27
1.4.1 Estandarización	28
1.4.2 Iniciativas Internacionales	28
1.4.2.1 ETSI (European Telecommunications Standards Institute)	29
1.4.2.2 TIA (Telecommunications Industry Association)	29
1.4.2.3 ITU (International Telecommunications Union)	30
1.4.2.4 3GPP (Third Generation Partnership Project)	30
Capítulo 2: Descripción de los sistemas de telefonía móvil de tercera generación	31
2.1 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)	32
2.1.1 Introducción	32
2.1.2 Estandarización	33
2.1.3 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)	34
2.1.4 Espectro	34
2.1.5 Arquitectura	35
2.1.5.1 Equipo de Usuario	36
2.1.5.2 UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)	36
2.1.5.3 Red Central	37
2.1.6 Canales WCDMA	37
2.1.6.1 Canales físicos	38

2.1.6.2 Canales de transporte	38
2.1.6.2.1 Canal de transporte dedicado.	38
2.1.6.2.2 Canales de transporte comunes	39
2.1.6.3 Canales lógicos	39
2.1.7 Espectro disperso	40
2.1.8 Modulación	41
2.1.9 Codificación	42
2.1.10 Control de potencia	42
2.1.10.1 Control de potencia en Lazo Abierto	43
2.1.10.2 Control de potencia en Lazo Cerrado	44
2.1.11 Transferencia de llamadas (Handoff)	44
2.1.11.1 Hard Handoff	45
2.1.11.2 Soft / Softer Handoff	45
2.2 CDMA 2000	46
2.2.1 Estandarización	46
2.2.2 Arquitectura	48
2.2.2.1 Canales Físicos	48
2.2.2.1.1 Esquemas de Asignación	49
2.2.2.2 Canales Lógicos	50
2.2.3 Modo Multicarrier	52
2.2.4 Señalización	53
2.2.4.1 Canal Piloto	53
2.2.4.2 Canal de Sincronización	54
2.2.4.3 Canal de Broadcast	54
2.2.4.4 Canal de Acceso Aleatorio	55

2.2.5 Control de Potencia	55
2.2.6 Terminales	56
Capítulo 3: Calidad de Servicio en sistemas de Tercera Generación	57
3.1 Concepto de Calidad de Servicio	58
3.2 Parámetros más comunes	58
3.3 Tipos de servicio	62
3.4 Mecanismos de control	63
3.5 Control de admisión	64
3.5.1 Estrategias de control de admisión	65
3.5.2 Factor de carga	66
3.5.3 Algoritmos de control de admisión	66
3.5.3.1 Admisión sin priorización	67
3.5.3.2 Admisión con priorización	67
3.6 Control de congestión	68
3.6.1 Detección de la congestión	68
3.6.2 Resolución de la congestión	68
3.6.3 Recuperación de la congestión	70

Capítulo 4: Análisis de la gestión de recursos de radio para garantizar la QoS en UMTS	71
4.1 Introducción al análisis de la gestión de recursos de radio.	72
4.2 Descripción del modelo de tráfico considerado	73
4.3 Análisis del impacto de la gestión de recursos de radio	77
4.3.1 Análisis de la probabilidad de admisión	78
4.3.2 Análisis del retardo de paquete	80
4.3.3 Análisis del porcentaje en tiempo de congestión (probabilidad de congestión)	82
4.4 Conclusiones	83
Bibliografía	85

OBJETIVOS

El objetivo general del presente proyecto es el análisis del impacto que tiene la gestión de recursos de radio sobre las medidas y requerimientos asociados al comportamiento de la red UMTS. Dicho análisis se realiza sobre los resultados que nos brinda el aplicar la gestión de recursos de radio sobre un modelo de tráfico que integra servicios de tipo conversacional e interactivo.

Además del objetivo principal se persiguen los siguientes objetivos particulares:

- Plantear la necesidad que tienen las redes de tercera generación de contar con estrategias que aseguren la convergencia de servicios para los usuarios.
- Generar un modelo tráfico acorde al tipo de servicios que se pueden brindar en UMTS y sobre el cual se pueda implementar una estrategia de recursos de radio.
- Plantear una estrategia de gestión basada en la priorización de usuarios, sobre el modelo de tráfico propuesto y obtener los resultados asociados a esa implementación.
- Analizar el impacto de la priorización sobre las medidas asociadas al comportamiento de la red.

INTRODUCCIÓN

La demanda de diversos tipos de servicios mediante dispositivos móviles ha tenido, desde la aparición de estos últimos, un ascenso vertiginoso. Este crecimiento viene acompañado de nuevos retos para los diseñadores de red.

Hoy en día los sistemas tienen que lidiar con una concentración de usuarios elevada, diversos tipos de servicios requeridos y recursos de radio limitados. Las redes de tercera generación (3G) pretenden ser aquellas que brinden la convergencia de servicios que los clientes demandan, siendo además eficientes y tecnológicamente viables.

El diseño de una red con estas características no es tarea sencilla, sin embargo existen ciertos parámetros que denotan la eficiencia de red, en cuanto a la capacidad de brindar convergencia de servicios que se requiere. Dichos parámetros se reflejan en lo que se conoce como Calidad de Servicio (QoS) de la red.

El presente proyecto tiene como objetivo el análisis de esta Calidad de Servicio para una red en particular (UMTS), analizando un modelo de gestión de recursos radio adecuado para dicha red.

En el Capítulo 1 se describe la evolución de los sistemas de telefonía celular, identificando así las ideas principales sobre las cuales se desarrolló la tecnología 3G y por qué se justifica su creación.

El Capítulo 2 detalla las características generales de los dos sistemas de tercera generación más difundidos (WCDMA y CDMA2000), estableciendo así las bases necesarias para un estudio más detallado de cada uno de ellos.

El Capítulo 3 trata del concepto de Calidad de Servicio en el sistema WCDMA. En este capítulo se definen también los parámetros que caracterizan dicha QoS, los tipos de tráfico que se procesan en WCDMA, y se enuncian los algoritmos de gestión de recursos de radio que aseguran la QoS en UMTS.

En el Capítulo 4 se propone un modelo de tráfico que incluye los servicios de tipo conversacional e interactivo sobre el cual se aplican estrategias de gestión. Se muestran y analizan los resultados obtenidos al aplicar la gestión de recursos de radio sobre el modelo propuesto, analizando el impacto de dicha gestión en la QoS.

Finalmente se verá que la calidad de servicio ofrecida a los usuarios se ve afectada por la implementación de las estrategias de gestión de recursos de radio y los parámetros asociados. La aplicación de estas estrategias mejora la calidad del servicio ofrecido a un grupo específico de usuarios a través de la manipulación apropiada de los recursos del sistema.

CAPÍTULO 1

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL (HACIA LA TERCERA GENERACIÓN)

1.1 Primera Generación

La primera generación de sistemas de telefonía celular era un híbrido de canales de voz analógicos y canales de control digitales. Los canales de voz analógicos usaban FM (Modulación en Frecuencia), los canales de control utilizaban FSK (Modulación por Desplazamiento de Frecuencia) y el método de acceso al medio que se utilizaba era FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia). Los principales sistemas de primera generación fueron:

- AMPS (Sistema Telefónico Móvil Avanzado) - Utilizado principalmente en Norteamérica, Australia y China.

- TACS (Sistema de Comunicaciones de Acceso Total) - Utilizado principalmente en Europa en países como Inglaterra, Italia, España e Irlanda. Esta basado en AMPS.

- ETACS (Sistema de Comunicaciones de Acceso Total Extendido) - Es la versión mejorada de TACS desarrollada en el Reino Unido.

Como ya se mencionó el sistema de primera generación más común en Norteamérica es AMPS. Este sistema comenzó a instalarse de forma experimental a finales de los años setenta en la ciudad de Chicago en Estados Unidos y fue hasta 1983 que entró en funcionamiento de forma comercial [1].

1.1.1 Elementos de los Sistemas de Primera Generación

Los sistemas de primera generación consisten básicamente de los siguientes elementos:

- Unidades móviles, que son los teléfonos celulares.
- Celdas, dentro de cada celda hay una BS (Estación Base).
- MTSO (Central de Conmutación de Telecomunicaciones Móviles).

Cada BS está compuesta por un transmisor, un receptor y una unidad de control, la cual se encarga de gestionar los procesos de las llamadas entre las unidades móviles y el resto de la red.

Cada BS está conectada con una MTSO; una MTSO le presta servicios a varias BS. La MTSO está conectada a la red pública de telefonía, también se encarga de supervisar los handoff (transferencia de llamadas) y obtiene la información necesaria para la facturación de llamadas.

1.1.2 El Concepto Celular

Los primeros sistemas de telefonía móvil se enfrentaron con el problema de que debían ofrecer sus servicios sobre un ancho de banda limitado a un número creciente de usuarios. La forma de hacer frente a este problema fue utilizar sistemas de baja potencia con un radio de cobertura más corto y emplear muchos transmisores y receptores de baja potencia de forma que se pudieran reutilizar frecuencias [2].

La esencia de una red celular reside en el uso de múltiples transmisores de baja potencia, dado que el rango de un transmisor de estas características es pequeño, el área de cobertura debe ser dividida en celdas.

A cada celda se le asigna una banda de frecuencias y además dispone de una estación base. Las celdas adyacentes tienen asignadas una banda de frecuencia distinta.

La forma de las celdas es hexagonal debido a que de esta forma todas las estaciones base están a una distancia igual de otras estaciones base, como se ilustra en la figura 1.1.

En la práctica no se utiliza un patrón hexagonal perfecto debido a las limitaciones topográficas y las restricciones para la ubicación de las antenas.

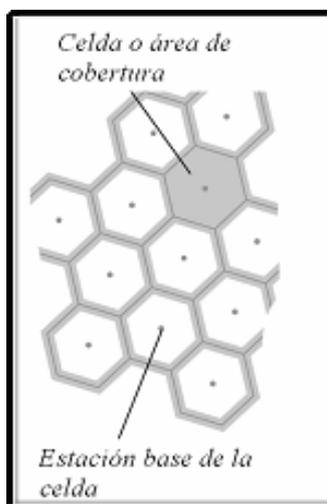


Figura 1.1 División del área de cobertura en celdas hexagonales.

La potencia de transmisión se controla cuidadosamente para permitir la comunicación dentro de la celda utilizando la frecuencia deseada a la vez que se limita para evitar que las señales transmitidas interfieran con la señales de otras celdas. El objetivo de este control es poder utilizar una misma frecuencia en varias celdas al mismo tiempo. De esta forma se incrementa el número de usuarios a los cuales se les puede dar servicio.

1.1.3. Handoff

Cuando un usuario desea iniciar una llamada, marca el número de teléfono al cual desea llamar desde su unidad móvil y presiona el botón de send. La unidad móvil envía una petición de llamada a la estación base más cercana a través de uno de los canales de control. Una vez que se establece la llamada, la estación base le asigna un canal de voz al usuario.

Mientras se lleva a cabo la conversación, el sistema constantemente está revisando el nivel de potencia recibido de la unidad móvil en las celdas adyacentes a la celda en la que se encuentra el equipo móvil.

Cuando el nivel de potencia es mayor en una de las celdas adyacentes, el sistema transfiere la llamada a esa celda, este proceso se conoce como handoff. Para que una conversación pase de una celda a otra, la estación base que está prestando el servicio envía la orden de cambiar de estación base a la unidad móvil a través del canal de voz (durante una conversación la unidad móvil no monitorea ningún canal de control). Al móvil se le asigna un nuevo canal de voz en la estación base a la cual se moverá, después de la confirmación en el canal de voz de retorno, el móvil se cambia al nuevo canal de voz y la conversación continúa. La interrupción por el proceso de handoff es apenas perceptible para el usuario ya que dura entre 100 y 200 ms. [1]

1.2 Segunda Generación

1.2.1 IS-136 Y TDMA (D-AMPS)

D-AMPS (*Digital AMPS* o AMPS Digital) está descrito en el estándar internacional IS-54 y en su sucesor IS-136, diseñado para que pudiera subsistir con AMPS pero con una tecnología completamente digital. Al momento de su implementación se aplicó la idea de que en una misma celda pudieran ser usados y atendidos tanto teléfonos de primera como de segunda generación. El incentivo principal para convertir la radiocomunicación celular a un sistema digital es reducir los requerimientos de ancho de banda, permitiendo más canales de voz en una porción específica del espectro, los sistemas digitales tienen, además, más privacidad inherente lo que dificulta su decodificación con equipo común.

Los sistemas de comunicación digital utilizan la corrección de errores para hacerlos menos susceptibles al ruido y a interrupciones cortas de señal. Se prestan a los esquemas de multiplexaje por división de tiempo y código.

1.2.1.1 TDMA (Time Division Multiple Access)

La señal de voz capturada por el micrófono de un teléfono móvil D-AMPS se digitaliza y comprime, utilizando un modelo más refinado que los esquemas de modulación delta y de codificación de predicción que se habían utilizado en sistemas anteriores.

La compresión toma en cuenta propiedades del sistema de voz humano para el ancho de banda de la codificación PCM (*Pulse Code Modulation* o Modulación por codificación de pulsos) [3].

La compresión se realiza en el teléfono, en lugar de en la estación base o en la oficina central, para reducir el número de bits que se envían a través del enlace de aire.

Con la telefonía móvil hay una gran ganancia al realizar la digitalización y compresión en el teléfono, tanto que en D-AMPS tres usuarios pueden compartir un solo par de frecuencias que utilizan el Multiplexaje por División de Tiempo [3]. Cada par de frecuencia maneja 25 tramas/seg de 40 msec cada uno. Además, cada trama se divide en 6 ranuras de tiempo de 6.67 msec cada una [3].

La Figura 1.2 ilustra esta división

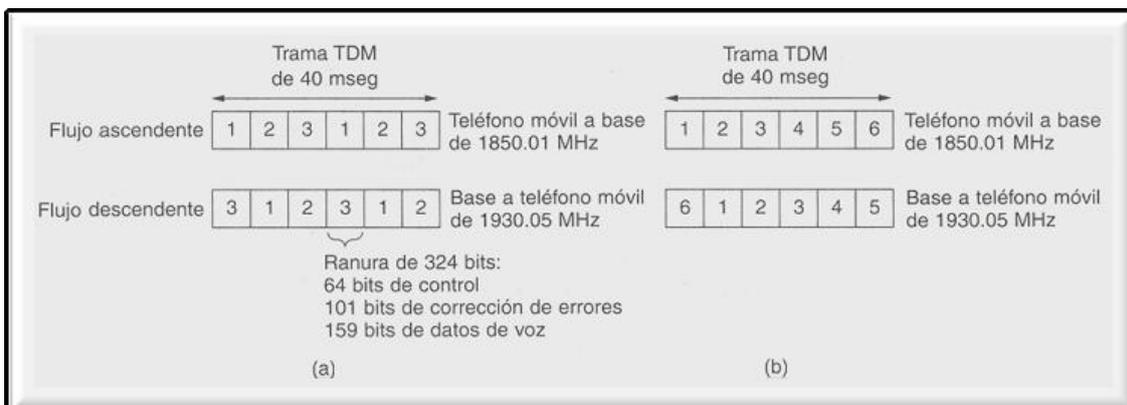


Figura 1.2 a) Par de frecuencias más bajo para un Canal D-AMPS con tres usuarios
 b) Par de frecuencias más bajo para un canal D-AMPS con seis usuarios

Cada trama mantiene tres usuarios, los cuales se turnan para utilizar los canales ascendente y descendente. Cada ranura tiene un tamaño de 324 bits de longitud, 64 se utilizan para protección, sincronización y control, y los otros 260 para el payload (carga útil) del usuario [3]. De éstos, 101 se utilizan para la corrección de errores, por lo que al final se cuenta con solo 159 bits para voz comprimida. Con 50 ranuras/seg, el ancho de banda disponible para voz comprimida está por debajo de los 8kbps [3].

Al utilizar mejores algoritmos de compresión, es posible obtener la voz por debajo de 4kbps, en cuyo caso seis usuarios pueden agruparse en una sola trama [3].

Desde el punto de vista del operador, poder comprimir de tres a seis veces tantos usuarios de D-AMPS en el mismo espectro que uno de AMPS es una gran ganancia y el porque de la popularidad de PCS (Personal Communication System o Sistema Personal de Comunicación), otro nombre que adoptan los sistemas TDMA.

1.2.1.2 Canal de Control

Además de las muestras de voz y su corrección de errores asociada, los canales de tráfico digital contienen información de sincronización, de instrucción del ecualizador y de control.

El Canal de Control Asociado Lento, SACCH, atiende intercambios de señal de control durante las llamadas y en esencia sustituye la señalización de espacio y ráfaga en el AMPS, aunque hay condiciones para separar ciertos bits de datos de voz para la información de control adicional según se requiera [4]. Estos bits separados forman el Canal de Control Asociado Rápido, FACCH, que se utiliza para información urgente como comandos de transferencia entre células [4].

Existieron en uso dos variantes de radiocomunicación celular de TDMA. La primera especificación, llamada IS-54B, utiliza los mismos canales de control y formatos que el AMPS. Estos se llaman canales de control analógicos, ACCH. El nombre se debe a su asociación con el sistema analógico [4].

La especificación de IS-36 incorpora canales de control separados para el sistema digital. Estos se llaman Canales de Control Digitales, DCCH, para distinguirlos del tipo más antiguo. Los canales de control digitales consisten en pares de ranuras en los mismos canales de RF que se utilizan para voz. Los canales DCCH se asignan a cualquier canal de RF; no tiene que ser uno de los 21 canales de control utilizados en el sistema analógico [4].

Al igual que con los canales de voz, se requieren canales separados de ida y de retorno. Normalmente hay un par de DCCH por célula o por sector en un sistema sectorizado [4].

La tasa de bits total para un DCCH es un tercio de la tasa de bits del canal de RF, o bien, $44.6/3 = 14.9$ kbps en comparación con 10 kbps para un ACCH [4]. Esta capacidad extra hace que los canales de control digitales sean útiles para muchas características adicionales, como presentación de llamada y mensajes de texto cortos. Al igual que con el sistema analógico los canales de control digitales se utilizan en el establecimiento de llamadas. No pueden utilizarse durante una llamada, puesto que el único receptor en la unidad móvil de algún modo está ocupado.

1.2.1.3 MAHO (Transferencia Asistida Móvil de Celda)

La estructura de control de D-AMPS es bastante complicada. En resumen, una supertrama está formada por grupos de 16 tramas y algunas veces, cada supertrama tiene cierta información de control. Se utilizan seis canales principales de control: configuración del sistema, control en tiempo real y en tiempo no real, localización, respuesta de acceso y mensajes cortos [4].

Cuando se enciende un teléfono móvil, hace contacto con la estación base para anunciarse a sí mismo y después escucha al canal de control para llamadas entrantes. Una vez que se ha captado un nuevo teléfono móvil, la MTSO, Oficina de Conmutación de Telefonía Móvil, informa a la base doméstica del usuario donde está, y de esta manera las llamadas se pueden enrutar en forma correcta. Una diferencia entre AMPS y D-AMPS es la manera en que se maneja la transferencia de celdas.

En AMPS, la MTSO la maneja por completo sin ayuda de los dispositivos móviles. Durante 1/3 del tiempo un teléfono móvil no necesita enviar ni recibir. Utiliza estas rutas inactivas para medir la calidad de la línea.

Cuando descubre que la señal se debilita, hace una queja con la MTSO, la cual a continuación interrumpe la conexión, en cuyo momento el teléfono móvil trata de sintonizar una señal más fuerte desde otra estación base. Como en AMPS, le toma entre 100 y 200 ms realizar la transferencia de celda (handoff) [4]. Esta técnica se conoce como MAHO (Transferencia Asistida Móvil de Celda).

1.2.2 CDMA (Code Division Multiple Access)

Originalmente la tecnología CDMA fue desarrollada por Qualcomm, para su posterior optimización por parte de Ericsson. En 1991, los prometedores resultados obtenidos en las primeras pruebas en el terreno demostraron que la tecnología CDMA podía funcionar igual de bien en la práctica como en la teoría. En 1993, el sistema CDMA fue adoptado por la Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (TIA). [5]

En 1995, el primer servicio de CDMA fue lanzado en Hong Kong, seguido de un lanzamiento en Corea y otro en Pensilvania. Desde entonces, se convirtió rápidamente en la opción preferida de los operadores de los EE.UU.

CDMA es una tecnología digital de transmisión que permite a un número de usuarios acceder a un canal de radiofrecuencia sin interferencia, asignando un código diferente a cada usuario.

En los sistemas de comunicación con espectro ensanchado (Spread Spectrum), el ancho de banda de la señal es expandido, comúnmente a varios órdenes de magnitud antes de su transmisión. Cuando hay un único usuario en un canal ensanchado, el uso del ancho de banda es ineficiente. En cambio, en un ambiente multiusuario, los usuarios pueden compartir el mismo canal y el sistema llega a ser eficiente. [5]

1.2.2.1 Interfaz de Aire de IS-95

La empresa Qualcomm Inc., en los primeros años de la década de los 90 realizó los desarrollos teóricos y tecnológicos pertinentes a la implantación de la tecnología de multiacceso CDMA, por sus ventajas en cuanto a capacidad, resistencia a interferencias ajenas y producción de reducida interferencia a otros sistemas en comparación con TDMA. Estos desarrollos se plasmaron posteriormente en la especificación de una “Norma Interina” IS (Interim Standard) por parte de la Administración USA, quedando tal norma recogida con el apelativo IS-95, que es el que da nombre al sistema.

En IS-95, la capacidad del sistema dependerá de muchos factores. Cada dispositivo que utiliza IS-95 está programado con un pseudocódigo único, el cual se usa para extender una señal de baja potencia sobre un espectro de frecuencias amplio. La estación base utiliza el mismo código en forma invertida (los ceros son unos y los unos son ceros) para desextender y reconstruir la señal original. Los otros códigos permanecen extendidos, indistinguibles del ruido de fondo.

A CDMA en general se le caracteriza por su alta capacidad y celdas de radio pequeño, que emplea espectro extendido y un esquema de codificación especial y, lo mejor de todo es muy eficiente en potencia. [6]

1.2.2.2 Asignación de Canales

Para facilitar una buena transición de AMPS a CDMA, a cada canal IS-95 se le asigna un espectro de frecuencias de 1.25 MHz por cada canal de comunicaciones CDMA en un sentido.

Los canales de CDMA pueden coexistir dentro del espectro de frecuencias AMPS con un operador inalámbrico que libere una banda de frecuencias de 1.25 MHz, para hacer lugar a las transmisiones en el canal CDMA. Un solo canal de radio CDMA ocupa el mismo ancho de banda que unos 42 canales de voz de 30 kHz. Sin embargo, debido a la ventaja de la reutilización de frecuencia en CDMA, este sistema ofrece aproximadamente una ventaja de 10 a 1 respecto al sistema AMPS analógico normal. [7]

Al igual que en AMPS, las frecuencias de portadora de transmisión y recepción que usa CDMA están separadas por 45 MHz. La figura 1.3 muestra los espacios de frecuencia para dos canales adyacentes CDMA en la banda de frecuencias AMPS. Como allí se ve, cada canal CDMA tiene 1.23 MHz de ancho, con una separación de frecuencias de 1.25 MHz entre las portadoras y se produce una banda de protección de 200 kHz entre los canales CDMA. Son necesarias las bandas de protección para asegurar que las portadoras no se interfieran con las de otros usuarios. [7]

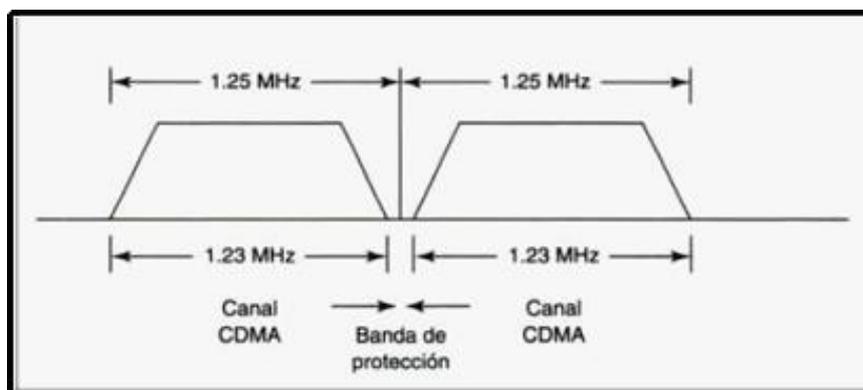


Figura 1.3: Separación de frecuencias

En el sistema CDMA, muchos usuarios pueden compartir canales comunes de transmisión y recepción, con velocidad de transmisión de datos de 9.6 kbps. Sin embargo, con ciertas técnicas, la información del usuario se dispersa con un factor de 128 hasta una velocidad de pulsos del canal de 1.2288 Mpulsos/s, y los canales de transmisión y recepción usan distintos procesos de dispersión. [7]

CDMA utiliza la técnica de "Spread Spectrum" en el cual la señal de información es codificada utilizándose una llave de código que provoca su dispersión (ensanchado) espectral en una banda transformándolo aparentemente en ruido. Los códigos utilizados pueden ser ortogonales (Walsh) o PN ("Pseudo-Noise").

En el canal se codifican los datos del suscriptor con un código usando funciones de Walsh. Se mantiene la ortogonalidad entre todos los suscriptores en el canal celular dentro de determinada célula, porque todas las señales de la célula se desorganizan en forma síncrona.

Los canales de sentido inverso usan una estrategia distinta de dispersión, porque la señal recibida por cada unidad móvil toma una trayectoria distinta de transmisión y, en consecuencia, llega a la estación base en un tiempo distinto. Se imponen estrictos requisitos en la potencia de transmisión del canal de sentido inverso, para evitar el problema cercano-lejano causado por diversos niveles de potencia de recepción.

A cada unidad móvil en determinada celda se le asigna una secuencia única de dispersión, con lo que se asegura una separación casi perfecta entre las señales de distintas unidades de suscriptor, y se permite diferenciar transmisiones entre usuarios.

1.2.2.3 Control de Potencia

Mientras más usuarios utilizan el canal, mayor es el ruido y el aumento de interferencia para los canales que utilizan la misma banda hasta un umbral cuando no es más posible decodificar los canales. Esta interferencia también es tanto mayor, cuanto mayor sea la potencia individual de cada canal transmitida en aquella banda.

Este comportamiento motivó al desarrollo de un sofisticado mecanismo de control de potencia en las terminales y ERBs (Estaciones de Radio Base) de un sistema CDMA.

Los niveles de potencia recibidos en la estación base dependen de qué tan lejos estén los transmisores.

1.2.3 GSM (Global System for Mobile Communications)

El sistema GSM, *Global System for Mobile Communications* o Sistema Global de Comunicaciones Móviles, nace en Europa con el fin de estandarizar un sistema de comunicaciones móviles celulares destinado a un mercado potencial de unos 10 millones de usuarios [8].

Los primeros estudios y recomendaciones de GSM consistieron en el establecimiento de una banda de frecuencias común para todos los países. Posteriormente, se fueron incluyendo otras características como las técnicas de acceso al medio, el esquema de codificación o la implementación mensajes de texto. El grado de desarrollo del GSM ha superado con creces las previsiones que en su día se efectuaron. De hecho, es el estándar de telefonía móvil celular más extendido.

1.2.3.1 Interfaz de aire GSM

La interfaz de radio GSM emplea un híbrido entre el Acceso Múltiple por División en Frecuencia, FDMA, y el Acceso Múltiple por División en el Tiempo, TDMA, junto con una técnica de salto de frecuencia (FH, Frequency Hopping). El tiempo de canal se divide en ranuras o slots (TDMA) que, además de por un periodo de duración, están caracterizados por una frecuencia (FDMA).

La unidad básica de transmisión consiste en una ráfaga de bits. Las ráfagas de datos de usuario junto con la información de control reciben el nombre de trama [8]. A su vez, las tramas se van agrupando en estructuras lógicas de mayor nivel llamadas multitramas, estas en hipertramas y así sucesivamente.

Dentro de cada trama se encuentran los diferentes canales lógicos empleados para soportar el sistema y que se dividen en dos grupos: los canales de tráfico (para el transporte de información de usuario) y los canales de control (para el intercambio de señalización).

1.2.3.2 Asignación del Espectro

En el espectro asignado a GSM, cada banda de frecuencia tiene una longitud de 200 kHz. La Figura 1.8 muestra este hecho. Un sistema GSM tiene 124 pares de canales simplex. Cada uno de ellos tiene una longitud de 200 kHz y maneja ocho conexiones por separado, mediante el multiplexaje por división de tiempo [3]. Las ocho ranuras de tiempo sombreadas que se muestran en la Figura 1.4 pertenecen a la misma conexión, pero en cada dirección hay solo cuatro. La transmisión y la recepción no suceden en la misma ranura de tiempo porque los radios GSM no pueden transmitir y recibir al mismo tiempo, además de que toma algo de tiempo cambiar de una a otra.

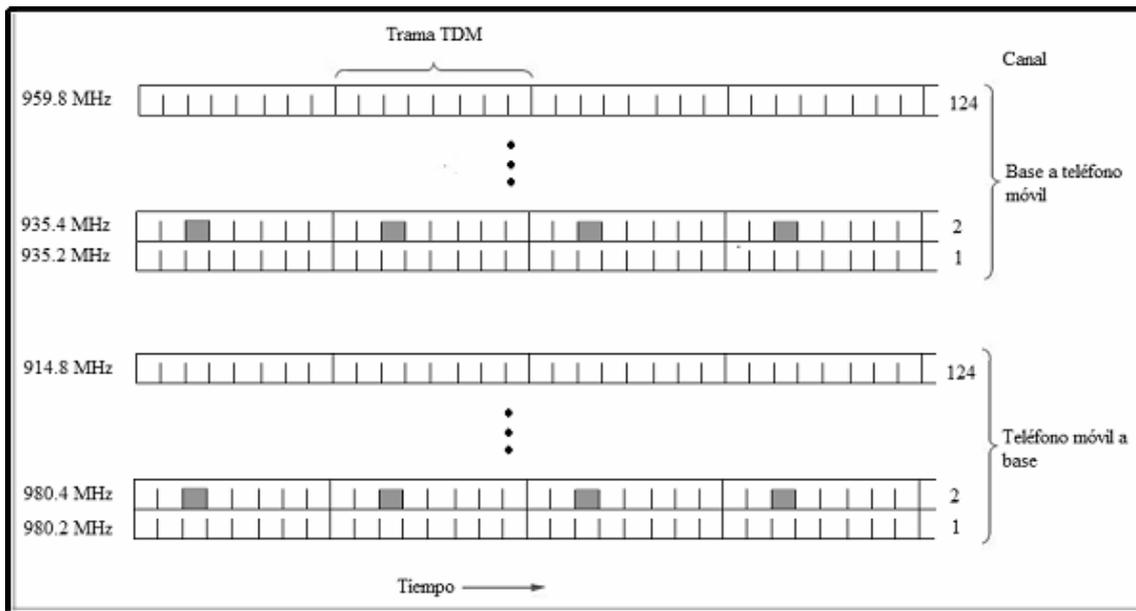


Figura 1.4. Ilustración que ejemplifica parte de los 124 canales que GSM utiliza. Cada canal tiene 8 ranuras TDM

1.2.3.3 Control de radio

Las ranuras en TDM son parte de una jerarquía compleja de entramado. Algunas de estas ranuras se utilizan para almacenar canales de control utilizados para manejar el sistema. El canal de control de difusión es un flujo continuo de salida de la estación base que contiene la identidad de la estación base, así como el estado del canal [3]. Todas las estaciones base supervisan su fuerza de señal para monitorear los cambios a otras celdas.

El canal dedicado de control se utiliza para actualización de localización, registro y establecimiento de llamada [3]. En particular, cada estación base mantiene una base de datos de las estaciones móviles actualmente bajo su jurisdicción. La información necesaria para mantener esta base de datos se envía en el canal dedicado de control.

Por último, hay un canal de control común, que se divide en tres subcanales lógicos [3].

El primero de estos subcanales es el canal de localización, que la estación base utiliza para anunciar llamadas entrantes. Las estaciones móviles lo supervisan continuamente en busca de llamadas a las que debería responder.

El segundo es el canal de acceso aleatorio, que permite que los usuarios soliciten una ranura del canal dedicado de control. Si dos peticiones chocan, se distorsionan y se tienen que volver a realizar más tarde. La estación puede establecer una llamada utilizando la ranura del canal dedicado de control. La ranura asignada es anunciada en el tercer subcanal, el canal de otorgamiento de acceso.

1.2.3.4 Subsistema de red NSS (Network Subsystem)

Un subsistema de red, también llamado NSS, se compone de varios equipos de una red GSM. Estos equipos permiten cubrir la zona en la que se pretende brindar el servicio con una calidad del mismo determinada previamente.

Los equipos necesarios son los siguientes: registro de abonados locales, el centro de autenticación, el conmutador de servicios móvil y el registro de localización de visitantes [4]. Otras de sus misiones se centran en la gestión de llamadas, la gestión de movilidad, la gestión de servicios suplementarios y la gestión de mensajería.

1.2.3.5 Conmutador MSC (Mobile Station Switching Center)

El conmutador MSC es la parte del equipamiento de la red GSM que se encarga de interconectar la red de radiotelefonía con la red telefónica pública. Para ello tiene en cuenta las eventualidades introducidas por la movilidad, la transferencia intercelular y la gestión de los abonados visitantes, que son los abonados de otras redes en tránsito por la suya [9]. El conmutador es un nodo muy importante y proporciona acceso hacia el centro de autenticación que verifica los derechos de los abonados. Participa en la gestión de la red, pero también en el suministro de todos los teleservicios ofrecidos por la red: vocales, suplementarios y mensajería.

1.2.3.6 Registro de Abonados Locales HLR

El registro de abonados locales es una base de datos que contiene información relativa a los abonados de la red. Una red puede tener varias de estas bases, según la capacidad de las máquinas, la fiabilidad u otros criterios de explotación elegidos por el operador. En esta base de datos, un registro por cada uno de los abonados describe con detalle las opciones contratadas y los servicios suplementarios a los que tiene acceso el abonado. A esta información estática están asociadas otras informaciones dinámicas, como la última localización conocida del abonado, el estado de su terminal (en servicio, en comunicación, en reposo, fuera de servicio, etc) [8].

El HLR diferencia la entidad de abonado de la de terminal. Un abonado puede utilizar la terminal de otro abonado sin ningún problema de facturación, ya que un abonado es reconocido por la información contenida en su tarjeta, llamada Subscriber Identity Mode (SIM), que es una tarjeta con un microprocesador personal para cada abonado.

Cuando un abonado utiliza un servicio de red, una parte de la información contenida en esa tarjeta se transmite a su base de datos HLR que reconoce al abonado, de esta forma, la red distingue las dos entidades, abonado y terminal.

La información dinámica relativa al estado y a la localización de un abonado se actualiza constantemente, así, los mensajes que hay que enviar al abonado, el número de teléfono del destinatario en caso de un reenvío temporal se memorizan en el HLR. La información dinámica es particularmente útil cuando la red encamina una llamada hacia el abonado. Antes de nada, la red empieza por consultar su HLR para conocer la última localización conocida, el último estado de la terminal del abonado y la fecha de esos datos [8].

El HLR contiene también la clave secreta del abonado, que permite a la red verificar su identidad. Esta clave se guarda en un formato codificado que solo el centro de autenticación de red es capaz de descifrar [8].

1.2.3.7 Registro de Localización de Visitantes VLR

El registro de localización de visitantes es una base de datos asociada a un conmutador MSC [8]. Su misión es almacenar la información dinámica relativa a los abonados de paso por la red. Esta gestión es muy importante, ya que en cada instante la red debe conocer la localización de todos los abonados presentes en ella, es decir, debe saber en qué célula se encuentra cada uno de ellos.

En el VLR, un abonado se describe, en particular, por un identificativo y una localización. La red debe conocer esta información, que es fundamental para estar en condiciones de encaminar una llamada hacia un abonado o para establecer una comunicación requerida por un abonado visitante con destino a otro abonado.

Dado que la característica de los abonados GSM es la movilidad, es necesario tener localizados permanentemente a todos los abonados en la red y seguir su desplazamiento. Para cada cambio de célula de un abonado, la red debe de actualizar el VLR de la red visitada y el HLR del abonado, de ahí que se produzca un diálogo permanente entre las bases de datos de la red [8]. La actualización del HLR es importante para el tratamiento de las llamadas destinadas a un abonado. En efecto, cuando la red quiere localizar a un abonado, empieza por preguntar al HLR para conocer la última localización conocida de él para comprobar su presencia. La red estaría entonces en condiciones de trazar el camino entre el solicitante y el solicitado, es decir, de encaminar la llamada.

1.3 Generación 2.5 GPRS (General Packet Radio Service)

GPRS (Servicio General de Paquetes Vía Radio), es un estándar introducido por ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones), es un sistema que complementa a GSM, ya que permite un uso más eficiente de los recursos. El concepto principal de GPRS es un servicio basado en la conmutación de paquetes. Un usuario GPRS usará sus canales cuando envíe o reciba un paquete de información, en el tiempo que esté inactivo, los canales podrán ser utilizados por otros usuarios para enviar y recibir información.

1.3.1 Interfaz de aire GPRS

En GPRS la interfaz de radio que existe entre la estación base y las terminales móviles es conocida como interfaz Um y está basada en la división de tiempos que originalmente fue establecida por GSM para brindar servicios de voz y datos por conmutación de circuitos. GPRS comparte los recursos de radio con el sistema GSM por lo que la planificación de ambas redes está estrechamente relacionada.

Cada portadora de radio GSM está estructurada en 8 ranuras de tiempo, cada ranura soporta una comunicación telefónica o un canal de paquetes GPRS. GPRS admite una asignación asimétrica de ranuras para la transmisión de estación radiobase a móvil y viceversa, privilegiando, generalmente la dirección radiobase a móvil por las aplicaciones en las que se emplea. Cada ranura de tiempo constituye un canal de radio [10].

ETSI define dos formas de compartir los canales de radio entre GSM y GPRS: asignar los recursos de radio en forma fija, reservando canales para GPRS separados de los GSM, o dinámica, donde los canales de GSM, si no están en uso, pueden ser empleados temporalmente por sesiones GPRS. Esta forma de usar los canales casi no se ocupa porque las terminales móviles no soportan la asignación dinámica. En la asignación fija se determina el número de canales de la portadora de radio que se utilizarán para el tráfico de datos, por lo que también queda determinado el número de canales para llamadas GSM [10].

La interfaz Um define una estructura nueva de canales lógicos para la señalización y el flujo de tráfico, los cuales se tratarán en la siguiente sección.

1.3.2 Canales de tráfico de paquetes

El canal físico dedicado al tráfico de paquetes de datos es conocido como PDCH (Canal de Paquetes de Datos), hay que resaltar que el término PDCH es sólo una clasificación general ya que existen diferentes canales lógicos de paquetes de datos con funciones específicas. Diferentes tipos de canales lógicos pueden existir dentro de un mismo PDCH [11]. Estos canales lógicos son los siguientes:

Canal de tráfico para paquetes de datos (PDTCH) – En este canal viajan los paquetes de datos de los usuarios y es análogo al canal de transmisión (TCH) del sistema GSM. Es posible que muchos usuarios compartan uno de estos canales así como también es posible que un solo usuario utilice varios de estos canales de forma simultánea.

1.3.3 Canales de Control

Canal de control de paquetes comunes (PCCCH) – Existen dos tipos de estos canales: los que se utilizan para el enlace de subida (desde la terminal móvil hacia la estación base) y aquellos que se utilizan para en el enlace de bajada (desde la estación base hacia la estación móvil). De hecho, existe un solo canal PCCCH para el enlace de subida y es el Canal de Acceso para Paquetes Aleatorios (PRACH) el cual se utiliza para solicitar acceso al sistema GPRS para así poder iniciar la transferencia de datos [11]. Los siguientes son los canales utilizados el enlace de bajada:

- Canal de localización de paquetes (PPCH) – Este canal es utilizado por el sistema para informar a las terminales móviles de que hay datos que deben ser recibidos.

- Canal de admisión de paquetes de acceso (PAGCH) – Este canal es utilizado para asignarle a las terminales móviles un canal de tráfico de paquetes para iniciar la transferencia de datos, los mensajes de este canal son una respuesta a las solicitudes de acceso al sistema hechas por el canal PRACH.

- Canal de notificación de paquetes (PNCH) – Este canal se utiliza para alertar a varias terminales móviles de que una multidifusión de paquetes está a punto de ocurrir.

- Canal de control de paquetes de multidifusión (PBCCH) – Este canal se utiliza para proveer de información del sistema a todas las terminales móviles GPRS.

- Canal de Control de Paquetes Dedicados (PDCCH) – Estos canales son usados para transferir información concerniente al procesamiento de datos de una llamada a una terminal móvil específica. Este canal puede ser visto como si estuviera conformado por tres subtipos de canales lógicos:

1. Canal de control de paquetes asociados (PACCH) – Este canal comunica información de señalización, información para el control de la potencia de transmisión, asignación de recursos e información de reasignación. Este canal comparte la ranura de tiempo a la que es asignada con un PDTCH.
2. Canal de control de sincronización de paquetes de avanzada/subida (PTCCH/U) – Este canal es usado por las terminales móviles en pruebas de transmisión hacia la estación base para así poder estimar los ajustes necesarios en el proceso de sincronización. Varios de estos canales pueden estar pareados con un solo PTCCH de bajada.
3. Canal de control de sincronización de paquetes de avanzada/bajada (PTCCH/D) – Es usado para transmitir una configuración de sincronización de la estación base a una o varias terminales móviles.

1.3.4 Arquitectura de la Red

En la figura 1.5 se muestra la Arquitectura Lógica del sistema GPRS:

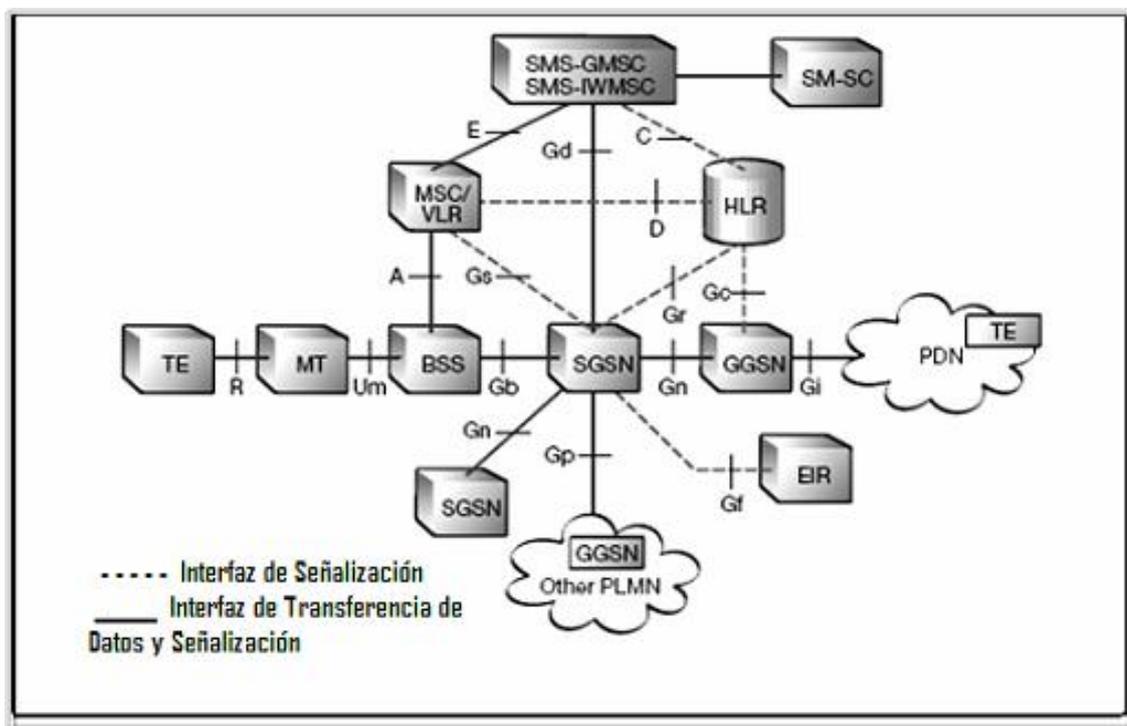


Figura 1.5 Arquitectura del sistema GPRS

Los elementos de la red GPRS son los siguientes:

Terminal Móvil (MT) – La cual se comunica con la estación base, la MT está equipada con software GPRS con el fin de poder establecer enlaces con un GSGN (Nodo de Soporte de la Pasarela GPRS). Las terminales móviles GPRS pueden contar con tarjetas SIM las cuales contienen la Identificación Internacional de Suscriptor Móvil (IMSI) que identifica a una terminal móvil en las bases de datos VLR, HLR y en los nodos de soporte GPRS (GSN).

El Sistema de Estación Base (BSS) – El cual consta de estación base (BTS), del controlador de la estación base (BSC) y una unidad de control de paquetes (PCU). La BSC se encarga de enviar las llamadas al centro de conmutación de servicios móviles (MSC) y los paquetes de datos hacia un nodo de servicio de soporte GPRS (SGSN) a través de la PCU.

Nodos de soporte de servicio GPRS (SGSN) - Se encargan de la gestión de la movilidad y del mantenimiento del enlace lógico entre móvil y red. Cada SGSN está conectado a la red de comunicaciones móviles GSM (típicamente a sistemas de estaciones base BSS) de forma que pueda proporcionar sus servicios a terminales móviles a través de varias estaciones base. Se encarga del enrutamiento y de la transferencia de paquetes de datos, de la tarificación y la gestión de movilidad.

Nodos de soporte de la pasarela GPRS (GGSN) - Traduce las Direcciones IP en la dirección móvil destino proporcionando así el acceso a las redes de datos basadas en IP.

El registro de abonados locales (HLR) y el registro de localización de visitantes (VLR) – Para acomodar la información de suscripción GPRS nuevos campos de información de las terminales móviles son introducidos en el HLR, estos nuevos campos de información son consultados por el SGSN y el GGSN a través de la IMSI [11]. Estos campos de información son utilizados para mapear a las terminales móviles en uno o más GGSN. Algunos de los campos de información que se generan y están relacionados con los nodos de soporte GPRS (GSN) son: IMSI de la terminales móviles, dirección IP del nodo SGSN que presta servicio a la terminal móvil, una bandera que indica si la terminal móvil puede ser alcanzada por los servicios GPRS.

En el VLR el campo de información que se añade sirve para indicar la localización del SGSN que actualmente presta sus servicios a una terminal móvil determinada.

La red troncal GPRS o backbone basado en IP. La función principal del GGSN es la de actuar como pasarela entre la red troncal GPRS y las redes externas. El GGSN es el elemento principal de la infraestructura de GPRS.

1.3.5 Operación Básica de GPRS

Los estados básicos de operación de una terminal móvil GPRS son 3: modo inactivo (idle), modo de espera (standby) y listo para transmitir/recibir datos (ready).

En el modo inactivo, la terminal se inicializa con la información proveniente de la estación base en un canal de multidifusión. La terminal móvil debe de realizar un proceso de actualización de su ubicación para poder iniciar o recibir una llamada. Para esto la terminal móvil intercambia mensajes con la estación base para que esta sepa su ubicación dentro del sistema. Mediante estos mensajes, el sistema es capaz de ubicar a la terminal móvil y verificar cuáles son los servicios a los que tiene acceso el usuario de la terminal [1].

En el modo de espera la terminal móvil continuamente entra al sistema para reportar su ubicación mientras se mueve dentro de las celdas. Periódicamente se revisa el PPCH para ver si hay información dirigida a la terminal móvil, los intervalos de tiempo en los que se revisa el canal están predeterminados por el sistema. La terminal móvil entra en un ciclo de dormir y despertar en el cual sólo despierta para revisar el PPCH y ver si hay información para la terminal [1].

Cuando la terminal móvil está lista para transmitir datos, el sistema crea una conexión virtual entre el SGSN y el GGSN. El GGSN se encarga de adaptar y rutear los datos a una red externa de datos [1].

Una terminal móvil puede recibir una llamada aún cuando esta se encuentra en una sesión de transmisión o recepción de paquetes. En este caso como el SGSN sabe que la terminal esta enviando y recibiendo paquetes, para alertar a la terminal móvil de que tiene una llamada por el PPCH, el SGSN manda una alerta por el canal de datos.

Si la terminal móvil tiene la capacidad de manejar datos y voz al mismo tiempo, el usuario recibirá una alerta de llamada.

Si el usuario acepta la llamada, se le asignara una ranura de tiempo (diferente a la que se está utilizando para enviar paquetes) para poder iniciar la llamada.

Los procesos pueden terminar de forma independiente sin afectarse en forma alguna.

Un proceso similar se utiliza cuando el usuario está en una llamada y se inicia una sesión de transmisión de datos, la alerta para iniciar la transmisión de datos llega por el FACCH. Cuando se inicia la sesión de transmisión de datos se le asigna a la terminal móvil otra ranura de tiempo.

1.4 Tercera Generación

3G (Tercera Generación) es un término puesto dentro de la comunidad global de celulares para indicar la siguiente generación de servicios móviles en donde se pretende mejorar muchas cosas con respecto a la segunda generación. Todo apunta a que la 3G se base en las soluciones técnicas del sistema GSM por dos razones: por un lado, la tecnología GSM domina el mercado y, por otro lado, debe sacarse el máximo rendimiento a las inmensas inversiones realizadas en este sistema.

1.4.1 Estandarización

Naturalmente, un sistema global y común de comunicaciones móviles suscita ambiciones políticas. En el caso de la 3G, este fenómeno puede observarse incluso en la política de denominación del sistema. El término más neutral es 'tercera generación' o '3G', pero en diferentes partes del mundo se hace énfasis en diferentes aspectos, por lo que el término general 3G posee sinónimos regionales.

1.4.2 Iniciativas Internacionales

En Europa, se ha adoptado para la 3G la expresión Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS), de acuerdo con la perspectiva del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI).

En Japón y en Estados Unidos, se suele utilizar el nombre Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000), propuesto por el proyecto de desarrollo de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

En Estados Unidos, el Acceso Múltiple por División de Código 2000 (CDMA2000) es también un aspecto de los sistemas celulares de 3G, una evolución del sistema IS-95. [12]

La creación del sistema de Tercera Generación requirió la participación de muchas compañías. Dado que las especificaciones del sistema son estándares internacionales, el desarrollo del sistema se realizó con la cooperación de los comités de estandarización que son líderes en la mayor parte de los países.

Para ayudar a coordinar este proceso, se creó un comité internacional llamado “Sociedad del Programa de Tercera Generación” (Third Generation Partnership Programa -3GPP-). Algunos de los grupos clave que forman parte de 3GPP incluyen al Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI); al Instituto de Investigación de Transmisión de Telecomunicaciones (RITT) en China; la Asociación de Industria de Telecomunicaciones (TIA), en Estados Unidos; entre otros. [12]

1.4.2.1 ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) es un estándar europeo desarrollado para redes móviles de tercera generación. UMTS, siglas que en inglés hacen referencia a los Servicios Universales de Telecomunicaciones Móviles, es miembro de la familia global IMT-2000 del sistema de comunicaciones móviles de tercera generación de la ITU.

UMTS es la propuesta de la ETSI para la tercera generación de telefonía celular, siendo éste el sucesor de GSM. UMTS ha sido planeado para funcionar en Europa y los países que deseen adoptarlo.

ESTI/Special Mobile Groups (SMG) ha sido el responsable para la estandarización de UMTS desde los 90's. [13]

1.4.2.2 TIA (Telecommunications Industry Association)

La TIA propuso también otro estándar, UWC-136, finalmente adoptado para garantizar la compatibilidad hacia atrás con los sistemas IS-136. Posteriormente el Universal Wireless Communications Consortium (UWCC) denominó a este estándar como TDMA-EDGE e IS-136HS. Cabe destacar que el estándar es compatible hacia atrás con IS-136 y GSM.

1.4.2.3 ITU (International Telecommunications Union)

Las Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000 (IMT-2000) son la norma mundial para la tercera generación (3G) de comunicaciones inalámbricas, definida por un conjunto de Recomendaciones interdependientes de la UIT. Las IMT-2000 constituyen un marco para el acceso inalámbrico a escala mundial, ya que permiten conectar diversos sistemas de redes terrenales y/o por satélite. Las IMT-2000 aprovechan la sinergia potencial entre las tecnologías y sistemas móviles digitales de telecomunicaciones en favor de los sistemas fijo y móvil de acceso inalámbrico.

Las actividades que realiza la UIT en lo que concierne a las IMT-2000 abarcan la normalización internacional, lo que incluye las especificaciones de espectro de radiofrecuencias de carácter técnico para los componentes radioeléctrico y de red, las tarifas y la facturación, la asistencia técnica y los estudios sobre aspectos de reglamentación y política. [14]

1.4.2.4 3GPP (Third Generation Partnership Project)

El Proyecto Conjunto de Tercera Generación (3GPP) se estableció para preparar y conservar un conjunto completo de especificaciones técnicas aplicables al nivel mundial para un sistema móvil de Tercera Generación (3G) basado en las redes centrales evolucionadas a partir de GSM y en las tecnologías de acceso radial apoyadas por los socios de 3GPP.

La asociación 3GPP se compone de tres categorías -Socios Organizativos, Socios de Representación del Mercado, y las Compañías de Miembros Individuales.

En este momento, más de 450 compañías de alrededor del mundo participan activamente como Miembros Individuales. [13]

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL DE TERCERA GENERACIÓN

2.1 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

La capa física de UMTS (Universal Mobile Telecommunication System - Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) está basada en la técnica de acceso múltiple por división de códigos de banda ancha WCDMA. CDMA tiene su fundamento teórico en las técnicas de espectro extendido (Spread Spectrum) donde la señal ocupa un ancho de banda muy superior a la que sería estrictamente necesaria para su transmisión. Para ensanchar la señal se utiliza una secuencia de código que es independiente de la señal de información.

WCDMA utiliza una modulación por Secuencia Directa (Direct Sequence, DS) que se realiza en banda base.

2.1.1 Antecedentes

Entre todas las tecnologías consideradas para la interfaz de aire de UMTS, ETSI eligió en enero de 1998 la tecnología WCDMA, una técnica de acceso múltiple por división de código que emplea canales de radio con un ancho de banda de 5 MHz. pudiendo soportar varias conexiones simultáneas como puede ser una conexión a Internet, una conversación telefónica, videoconferencia, etc. Además, emplea estructuras de protocolos de red similares a las usadas en GSM, por lo tanto tiene la capacidad de utilizar las redes ya existentes. [15]

WCDMA ofrece flexibilidad en los servicios, combinando conmutación de paquetes y conmutación de circuitos en el mismo canal con un promedio de velocidad entre 8 Kbps hasta 2 Mbps; soporta además conectividad IP, permitiendo accesos más rápidos en Internet.

2.1.2 Estandarización

En 1991 fecha de lanzamiento comercial del sistema GSM, la ETSI ya había comenzado el trabajo para estandarizar las redes de la siguiente generación, en el comité técnico Special Mobile Group (SMG). Este nuevo sistema fue llamado Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). [13]

El trabajo de estandarización no solo se realizó dentro de la ETSI, si no que hubo otras organizaciones y programas de desarrollo con el mismo objetivo. En el año 1996 se creó el Forum UMTS para acelerar la elaboración de los estándares requeridos. Adicionalmente a los trabajos realizados en Europa hubo programas 3G en Estados Unidos, Japón y Corea, además de las compañías de telecomunicaciones que tenían sus propias actividades de desarrollo. [13]

Un salto importante en el desarrollo se logró en los años 1996 y 1997 en que tanto la Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) de Japón y la ETSI de Europa eligieron el WCDMA como candidato para la interfaz de radio en 3G.

Posteriormente, las compañías más importantes de telecomunicaciones unieron sus fuerzas en el programa 3GPP, cuya meta es producir las especificaciones de un sistema 3G basado en el sistema Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) de ETSI para la interfaz de radio y el sistema avanzado GSM/GPRS Mobile Application Part (MAP) para el soporte de red. Hoy en día es la organización 3GPP quien lleva la mayor responsabilidad en el desarrollo de 3G. [13]

2.1.3 UMTS (Universal Mobile Telecommunication System - Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)

UMTS, siglas que en inglés hace referencia a Servicios Universales de Telecomunicaciones Móviles, es miembro de la familia global IMT-2000 del sistema de comunicaciones móviles de tercera generación de la UIT.

UMTS ha sido objeto de intensos esfuerzos de investigación y desarrollo en todo el mundo, y cuenta con el apoyo de numerosos e importantes fabricantes y operadores de telecomunicaciones, ya que representa una oportunidad única de crear un mercado masivo para el acceso a la Sociedad de la Información de servicios móviles altamente personalizados y de fácil uso.

[13]

2.1.4 Espectro

CDMA utiliza códigos de extendido únicos para lograr extender el ancho de banda de los datos en banda base antes de la transmisión. La señal es transmitida en un canal con un nivel bajo de ruido. En el receptor se utiliza el mismo código para recuperar la señal original, la cual pasa por un filtro pasa banda. Los códigos de extendido tienen la forma de una secuencia de unos y ceros diseñada cuidadosamente, de tal manera que la velocidad de estos códigos es mucho mayor (por lo menos el doble) que la velocidad de los datos en banda base. La velocidad de un código de extendido es llamada velocidad de chip, en vez de velocidad de bit.

Las ventajas de una señal de espectro extendido sobre otra en banda base son la seguridad, la resistencia a la interceptación, resistencia al desvanecimiento multiruta y son capaces de soportar las técnicas de acceso múltiple.

WCDMA utiliza muy eficientemente el espectro de radio disponible, mediante la reutilización de cada celda, la cual requiere de 2 a 5 MHz por cada capa, lo que quiere decir que una red necesitará de 2 a 15 MHz, en un espectro común de banda de 2GHz. [16]

2.1.5 Arquitectura

Las redes 3G requieren elementos nuevos en la red de radio y en la red central, ya que se ha diseñado una nueva interfaz aérea.

La arquitectura general de UMTS, al igual que en GSM, la podemos dividir en tres partes [17]:

- UE (User Equipment - Equipos de usuario).
- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network - Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS).
- CN (Core Network - Red Principal).

Tanto UTRAN como CN son considerados como la columna vertebral de UMTS; estos dos elementos están formados por todos los protocolos y modos físicos.

En la figura 2.1 podemos observar las partes ya mencionadas.

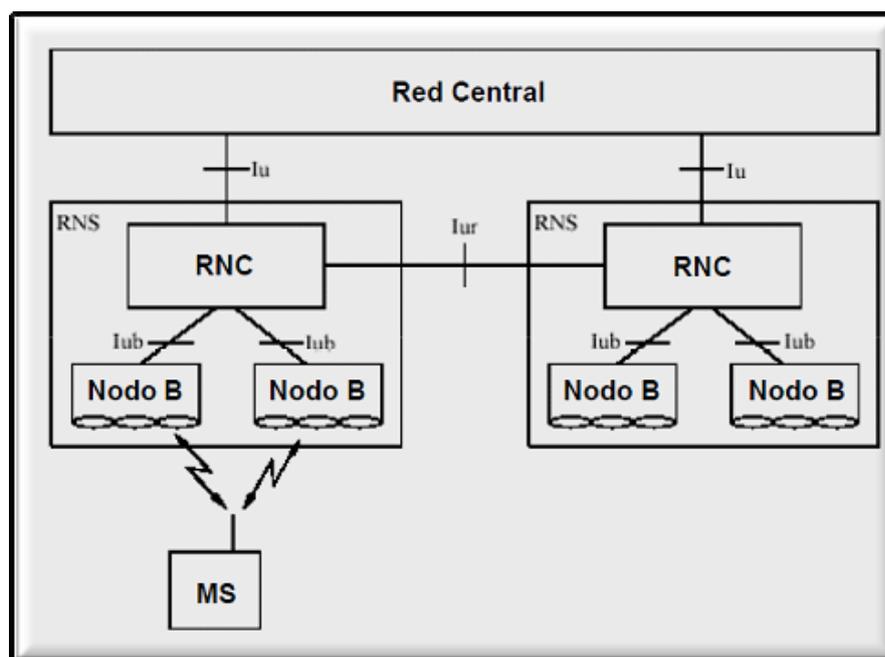


Figura 2.1: Arquitectura UMTS

2.1.5.1 Equipo de Usuario (UE)

El UE consiste en el equipo terminal del usuario formado por el ME (Terminal Móvil) y por el USTM (tarjeta que almacena la identidad del usuario y que lleva a cabo los algoritmos de autenticación y encriptación).

2.1.5.2 UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)

UTRAN consiste básicamente en un conjunto de Subsistemas de Red de Radio RNS (Radio Network Subsystems) conectados a la red central.

El RNS a su vez se divide en varias entidades:

- RNC (Radio Network Controller - Controlador de Red de Radio): Es el gestor entre el dominio de radio y el de la red, es decir, es el controlador.

- Nodo B: Supervisa un conjunto de células que podrán ser Frequency Division Duplex - FDD, Time Division Duplex - TDD, o ambas en conjunto.

El nodo B y el RNC permiten gestionar, la capacidad de los sistemas de radios móviles, que habilitan el mantenimiento de una conexión de radio cuando el usuario se mueve de una célula a otra (handover), y las condiciones para mantener una conexión entre el terminal móvil y la red, incluso con más de una estación base (macrodiversidad).

2.1.5.3 Red Central

Es la infraestructura de conmutación y routing (enrutamiento), también llamada núcleo de red. La red central es el componente de la red que establece la comunicación entre las múltiples secciones de la red de acceso, la cual recoge el tráfico directamente de varias estaciones base de radio.

2.1.6 Canales WCDMA

UTRAN tiene establecidos tres conceptos de tipos de canales, el físico que existe en la interfaz aérea y está definido por un código de ensanchamiento y una frecuencia; el de transporte, usado en la interfaz entre las capas 1 y 2 y define cómo será enviada la información (en canales dedicados o comunes), y los canales lógicos que existen en la capa 2 y especifican el tipo de información a enviar. Existen canales dedicados y comunes, los dedicados son para un solo usuario y los comunes son para varios usuarios.

2.1.6.1 Canales físicos

Los canales físicos corresponden a una frecuencia o un código. Los canales de transporte se definen con base a cómo y con qué características se transmitirá la información. Cada canal de transporte es asociado con un canal físico. Los canales físicos realizan diversas funciones tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada. La estructura de los canales físicos cuenta con una duración de trama de 10 ms, con un total de 38400 chips por trama; la trama está dividida en 15 ranuras de tiempo con duración de 0.667 ms y 2560 chips por ranura [12].

2.1.6.2 Canales de transporte

Existen dos tipos de canales de transporte: Los canales comunes y los canales dedicados, la principal diferencia entre ellos es que el canal común es un recurso compartido entre todos o un grupo de usuarios dentro de una celda; el canal dedicado es un recurso específicamente para un solo usuario.

2.1.6.2.1 Canal de transporte dedicado.

En el estándar WCDMA solamente está definido un canal de transporte dedicado DCH (Dedicated Channel). Este canal es bidireccional, es decir, empleado tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada. Este canal se encarga de llevar los datos y control de información de las capas superiores, tales como:

- Voz
- Video

- Datos
- Medidas de señalización para un usuario deseado
- Instrucciones para la transferencia de llamada sin interrupción
- Control rápido de potencia
- Cambio rápido de tasa de datos (cambio de trama en trama).

2.1.6.2.2 Canales de transporte comunes

A diferencia del canal de transporte dedicado, el canal de transporte común cuenta con varias derivaciones para el desempeño de acciones específicas. Existen varias acciones que tienen un punto en común entre ellas mismas, las cuales podrían ser ejecutadas a través de un mismo canal, pero esto traería como desventaja una reducción en el rendimiento del sistema debido a una saturación, es por ello que el canal de transporte común cuenta con varios canales para desempeñar una acción en particular, de esta manera se pretende regular la carga del sistema, ya que en ocasiones no todas las acciones que involucran la transferencia de datos son realizadas al mismo tiempo. [12]

2.1.6.3 Canales lógicos

Los canales lógicos proporcionan los servicios de transferencia de datos de la capa MAC. Una clasificación general de los canales lógicos es: canales de control y canales de tráfico. Los canales de control son usados para transferir la información de control y los canales de tráfico para la información de usuario.

2.1.7 Espectro disperso

El ancho de banda de la portadora en WCDMA es relativamente amplio en comparación con los sistemas de las generaciones anteriores. El uso de una portadora de 5 MHz reduce el desvanecimiento de las señales y tiene el potencial para trabajar a grandes tasas de transferencia [1].

WCDMA representa la información del usuario en forma de una señal codificada de muchos bits. Para tener una señal con una gran tasa de transferencia, cada señal es codificada de forma única mediante un proceso de ensanchamiento (spreading) que lo diferencia de otras señales que operan dentro del sistema. Esta señal codificada después se coloca en una portadora WCDMA para ser transmitida.

El spreading consiste en multiplicar la información digital del usuario por un código de expansión para producir una secuencia larga para cada bit de información, el resultado de la multiplicación es un conjunto de chips que se van a transmitir por cada bit de información.

El hecho de que un bit de información esté representado por una gran cantidad de chips implica que si algunos chips se pierden en la transmisión, la información aún podrá ser recreada en el extremo receptor.

Mientras más grande sea el factor de expansión más protección tendrán las señales transmitidas, pero también menor será la tasa de transferencia.

Para lograr el ancho de banda sobre demanda, el número de chips que representan un bit de información puede variar [1].

En forma general el spreading está integrado por dos operaciones: la canalización (channelization) y el cifrado (scrambling). La canalización es el proceso en el cual se multiplica la información por un código ortogonal para incrementar el ancho de banda de la señal. El cifrado es el proceso que le sigue a la canalización, en este proceso se utilizan códigos de pseudo ruido que permiten que un usuario sea identificado de entre todos los demás que ocupan la misma frecuencia para transmitir.

Cada canal de comunicación es identificado por un código de canalización. Los códigos de canalización elegidos para cada canal son parte de un conjunto de códigos especiales, estos códigos son llamados códigos ortogonales y no se interfieren durante una transmisión. Agrupar códigos ortogonales permite que varios de estos códigos sean utilizados en el mismo canal sin interferirse. Lo anterior se conoce como factor ortogonal de ensanchamiento variable (OVSF) [1].

2.1.8 Modulación

En WCDMA los enlaces de bajada y de subida se modulan de forma diferente. El enlace de bajada utiliza Modulación por Corrimiento de Fase en Cuadratura (QPSK) para todos los canales de control y los de datos. El enlace de subida utiliza QPSK de doble canal (dual Channel QPSK), un canal se utiliza para los datos y otro para el control [17].

La transmisión del enlace de bajada es continua, mientras que la transmisión del enlace de subida es programada para ser cíclica y discontinua. El enlace de bajada utiliza dos canales físicos para evitar interferencias audibles.

2.1.9 Codificación

El proceso de codificación se utiliza para proteger la información en contra de varios fenómenos (ruido, interferencias, multitrayectorias, etc.) con el fin de mejorar la calidad de la transmisión [17]. Para permitir que varios usuarios compartan la misma portadora, las señales de voz, antes de ser transmitidas, son codificadas y comprimidas, esto se conoce como codificación de voz (speech coding). Debido a que diferentes tasas de transmisión son permitidas, diferentes tipos de codificación son utilizados. Mientras menor sea la tasa de transferencia, mayor será la compresión de la voz [1].

La codificación de voz puede llevarse a cabo con fuentes a diferentes tasas de transmisión (10.2 kbps, 7.4 kbps, 6.7 kbps, etc.). La elección del tipo de codificación es llevada a cabo por el sistema, la combinación de diferentes tasas de transmisión es llamada codificación de voz AMR (adaptive multi rate). El uso de la codificación de voz AMR permite que la tasa de transferencia de cada usuario sea modificada cuando sea necesario. La máxima tasa de transferencia es determinada por el sistema.

2.1.10 Control de potencia

El control de la potencia de transmisión se lleva a cabo tanto en la estación base como en los equipos de los usuarios. Si en un sistema, las estaciones base y los equipos de los usuarios utilizan solo la potencia necesaria para mantenerse comunicados (con ciertos niveles de calidad), se tienen las siguientes ventajas [1]:

- Se minimiza la interferencia entre celdas operando con las mismas frecuencias
- Reduce las radiaciones fuera de banda.

- Se evita que existan señales de usuarios enmascaradas por señales de otros usuarios.
- Reduce el consumo de energía de los equipos del usuario.

El control de potencia consiste en hacer que cada usuario transmita con una potencia distinta en función de su distancia a la estación base, las condiciones de propagación y la carga del sistema. El control de potencia debe de poseer tres características [17]:

- Exactitud (1 dB)
- Rapidez para compensar fenómenos como el desvanecimiento.
- Un gran rango dinámico, para controlar a los equipos cercanos y los que están alejados.

Existen dos formas de llevar a cabo el control de potencia: Control de potencia de lazo abierto y control de potencia de lazo cerrado.

2.1.10.1 Control de potencia en Lazo Abierto

En esta técnica se trata de estimar las pérdidas del canal para calcular la potencia con la cual se debe transmitir, este control se utiliza para transmisiones de corta duración. Este tipo de control se produce cuando un usuario quiere acceder al sistema. El equipo del usuario comienza a transmitir con un nivel de potencia aleatorio. Si este nivel de potencia no es suficiente para que el equipo sea atendido por el sistema, la potencia de transmisión se incrementará hasta que sea suficiente para que el equipo tenga una respuesta del sistema [17].

2.1.10.2 Control de potencia en Lazo Cerrado

En el enlace de subida la estación base estima si la potencia de transmisión del usuario debe de ser incrementada o decrementada comparándola con una potencia de referencia que el sistema calcula. Esta comparación se realiza 1500 veces por segundo y recibe el nombre de lazo interno [1]. Por otra parte el sistema esta calculando cada 10ms el nivel de potencia de referencia, este proceso es conocido con el nombre de lazo exterior [17].

Los equipos móviles en los sistemas WCDMA son clasificados en clases de acuerdo con el nivel de potencia máximo permitido. La clasificación se muestra en la tabla 2.1:

Tabla 2.1 Clasificación de los equipos del usuario en función del nivel de potencia máximo [1]

Clase	Máximo nivel de potencia (dB)	Máximo nivel de potencia (Watts)
1	+33 dBm	2.0 Watts
2	+27 dBm	0.5 Watts
3	+24 dBm	0.25 Watts
4	+21 dBm	0.125 Watts

2.1.11 Transferencia de llamadas (Handoff)

El proceso de handoff es el proceso mediante el cual se transfiere una llamada entre celdas. En WCDMA el sistema permite que el equipo del usuario pueda transferir llamadas entre diferentes tipos de sistemas [1]. El sistema WCDMA tiene tres tipos básico de Handoff: dos tipos de traspaso suave (soft/softer handoff) y traspaso abrupto (hard handoff).

El proceso de handoff se da cuando el RNC determina que la calidad del canal ha alcanzado niveles por debajo del mínimo requerido y que hay otros canales disponibles. El RNC continuamente recibe información sobre la calidad del canal de parte de estación base y del equipo del usuario. Cuando hay una transferencia de llamada entre sistemas el equipo del usuario entrará en modo de compresión para permitir que se pueda medir la calidad de otros canales de frecuencia disponibles [17].

2.1.11.1 Hard Handoff

Es el proceso de transferir una llamada entre sistemas o un cambio en la frecuencia a la cual se está transmitiendo. En este caso el equipo del usuario deja de transmitir en una frecuencia antes de pasar a la otra y seguir transmitiendo, proceso que puede ser percibido por el usuario durante la llamada.

2.1.11.2 Soft / Softer Handoff

En el caso de soft handoff, el traspaso se realiza entre dos estaciones base. El equipo del usuario se comunica con una nueva estación base sin interrumpir la comunicación con la estación base actual. Sólo puede realizarse entre estaciones base que tengan una asignación de frecuencias idéntica [17].

En el caso de softer handoff, un equipo de usuario también tiene comunicación con dos estaciones base, pero sólo una de ellas tiene el control de la potencia.

2.2 CDMA 2000

CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000 o Acceso Múltiple por División de Código 2000) es un estándar que cumple con los objetivos marcados en la iniciativa IMT-2000 de la UIT, la cual establece los lineamientos requeridos por todo sistema de telefonía celular de tercera generación [1]. Al igual que los demás sistemas 3G, el sistema CDMA-2000 ofrece una convergencia de servicios a los usuarios gracias a las características que lo identifican, como son su tecnología de acceso múltiple, tecnología de radiotransmisión, arquitectura de red, entre otras.

2.2.1 Estandarización

Para estandarizar estas características, se formó un grupo de trabajo conocido como el grupo 3GPP2 (Third Generation Partnership Project Two o Proyecto de Asociación para Tercera Generación N°2).

Uno de los principales objetivos impuestos al grupo de trabajo 3GPP2 fue el de hacer compatible la interfaz aérea del estándar IS-95, con el nuevo estándar a desarrollar (CDMA2000).

Este objetivo es una de las grandes diferencias entre la creación del estándar CDMA2000 con respecto a la creación del estándar WCDMA por el grupo de trabajo 3GPP (Third Generation Partnership Project o Proyecto de Asociación para Tercera Generación). Debido a esta compatibilidad con el estándar IS-95, la RTT (Radio Transmission Technology o Tecnología de Radio Transmisión) usada en CDMA2000 es una extensión de la usada en el estándar IS-95 [17].

El estándar CDMA2000 fue influenciado por estándares de tecnologías de generaciones anteriores, como son AMPS, IS-54 TDMA, IS-136 TDMA y GSM. Además, el estándar CDMA2000 puede ser implementado en diversas fases. La primera es definida por el estándar CDMA2000 1XRTT e introduce un sistema que mejora el canal de 1.25 MHz usado en IS-95 (llamado 1XRTT) para proveer mayores tasas de transmisión. La segunda fase introduce nuevos canales, múltiplos de 1.25 MHz para ofrecer tasas de transmisión aún mayores y opciones de transmisión multicarrier y dispersión por secuencia directa.

La Figura 2.2 muestra esquemáticamente la evolución de los sistemas que influenciaron la creación de CDMA2000 hasta su segunda fase, en la cual se utilizan múltiplos de tres veces el canal 1XRTT. Versiones posteriores de CDMA2000 utilizan otros múltiplos del canal de radio RTT, incrementándose en la última revisión en doce veces este ancho de banda. [1]

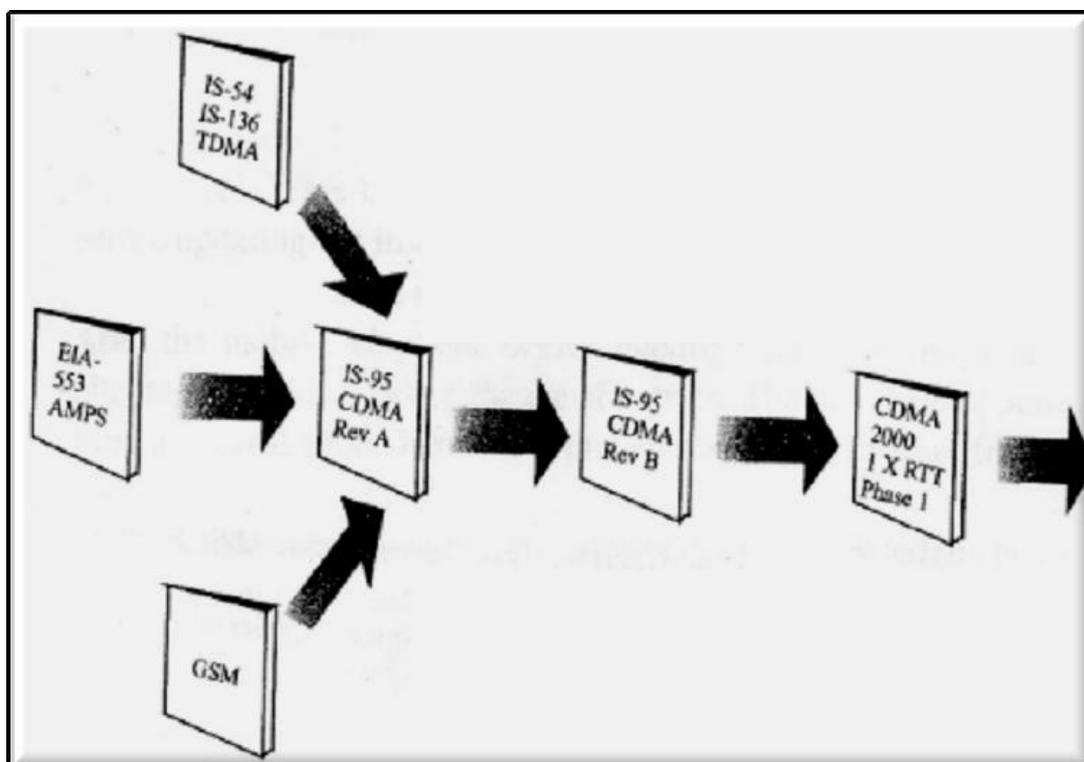


Figura 2.2. Diferentes sistemas que influenciaron las revisiones CDMA2000

2.2.2 Arquitectura

El sistema CDMA2000 es en esencia una mejora del sistema IS-95, y por tanto, hereda y mejora los canales de 1.25 MHz anteriormente usados.

2.2.2.1 Canales Físicos

En los canales se utiliza la dispersión de señales por secuencia directa, de tal forma que varios usuarios pueden utilizar el canal al mismo tiempo, debido a que los códigos dispersantes asignados a cada uno (códigos Walsh) son ortogonales entre sí. Cada uno de estos canales se divide a su vez en tramas de 5 a 20 msec y cada una de las tramas se divide en slots de tiempo de 1.25 msec [1].

De esta manera, el sistema opera bajo un esquema que combina CDMA con TDMA, ya que la terminal móvil puede decodificar simultáneamente varios canales si conoce los códigos correspondientes. Gracias a este esquema, un canal de bajada de 1.25 MHz puede ofrecer una tasa de transferencia de datos viable de 307.2 kps por usuario [1].

El sistema CDMA2000 no sólo mejora el canal de 1.25 MHz (1XRTT), sino que incorpora la posibilidad de utilizar múltiplos (en 3, 6, 9 o 12 veces) de éste [17]. Usando un esquema igual al descrito para un solo canal, al utilizar tres canales combinados en un ancho de banda total de 5 MHz, se puede ofrecer una tasa de transferencia de datos viable de hasta 1036.8 kps por usuario [1].

2.2.2.1.1 Esquemas de Asignación

Los sistemas CDMA2000 pueden tener uno de dos esquemas de asignación de canales físicos distintos, estableciéndose así dos esquemas CDMA2000: el FDD/CDMA2000 (Frecuency Division Duplex/CDMA 2000 o CDMA2000/Duplex por División de Frecuencia) y el TDD/CDMA2000 (Time Division Duplex/CDMA2000 o CDMA200/Duplex por División de Tiempo).

La diferencia entre estos dos esquemas radica en el número de canales asignados para el enlace de subida y para el enlace de bajada. Para el caso de FDD, se asignan pares de canales, ya sean canales simples 1XRTT o múltiples, utilizándose uno en el canal de subida y otro en el canal de bajada. Este esquema es el más sencillo, sin embargo utiliza el doble de recursos de radio en comparación con el esquema TDD. La Figura 2.3 muestra esquemáticamente la asignación de canales de radio para un esquema FDD, en el caso específico de 1XRTT y 3XRTT.

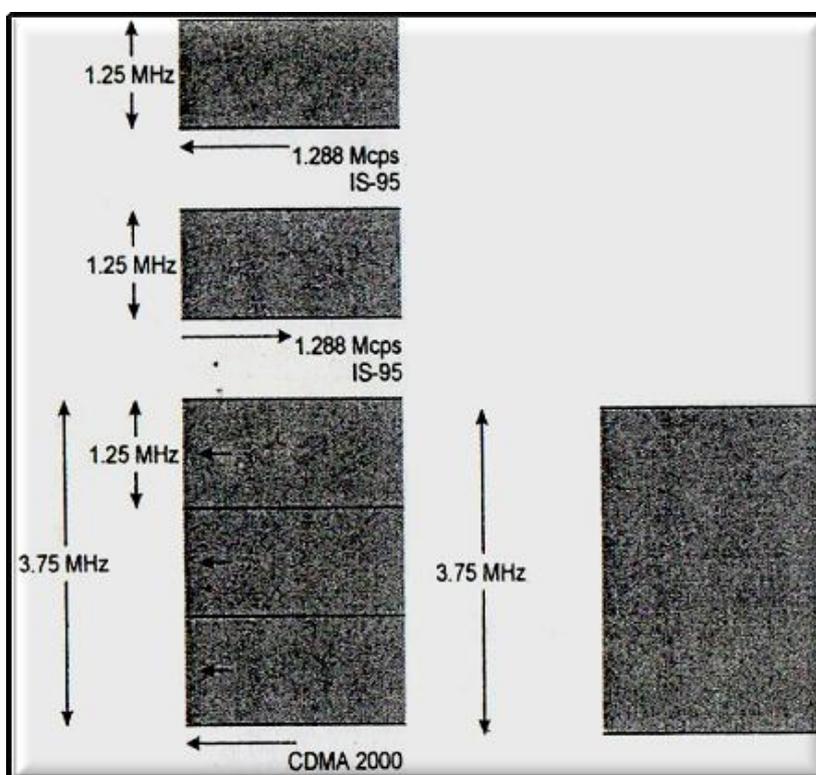


Figura 2.3. Canales de Radio CDMA2000 y IS-95

El esquema TDD hace uso de los slots de tiempo en los cuales están divididos los canales identificados por los distintos códigos Walsh para utilizar un solo canal de radio, ya sea 1XRTT o algún múltiplo, para el enlace de subida y bajada. Ciertos slots de tiempo se asignan para el canal de subida, y otros para el canal de bajada. Para que este sistema pueda operar se introducen tiempos de guarda, slots intermedios entre los slots de subida y bajada. Estos tiempos de guarda aumentan con la distancia, por lo tanto, el sistema TDD no es viable a distancias mayores a cierta cota, que en sistemas actuales es de 7 km [1].

2.2.2.2 Canales Lógicos

Un solo canal de radio en CDMA2000 puede transportar voz, datos, e información de control debido a que está subdividido en diferentes canales lógicos. Cada uno de estos canales se identifica por un código distinto, conocidos como códigos Walsh. Los códigos Walsh se combinan con la utilización de secuencias de pseudoruido para hacer la dispersión de las señales en el sistema CDMA2000.

Los códigos Walsh ya eran utilizados en el sistema IS-95, en el cual estaban definidos por un número fijo de 64, además de que existen 64 códigos Walsh diferentes en ese sistema [1]. En el sistema CDMA2000 el número de códigos Walsh distintos aumentó a 128 [1]. Otra característica de los códigos Walsh implementados en CDMA2000 es que su longitud es ahora variable dependiendo de los requerimientos de ancho de banda.

El proceso que se realiza en el sistema para compartir el canal de radio se puede explicar en términos del tratamiento que se le da a las señales digitales, ya sean de voz, datos o control, con las señales de pseudoruido. Las señales de pseudoruido son señales digitales con una velocidad de transmisión mucho más alta comparada con la de las señales de información.

Al multiplicar las señales de información con las señales de pseudoruido, se genera una nueva señal con una velocidad de transmisión muy alta, y por tanto, un espectro ensanchado en frecuencia. Esta señal se transmite por el canal de radio, y es decodificada en el destino gracias a un correlador que contiene, entre otros elementos, un generador local de la secuencia de pseudoruido.

Cada código Walsh identifica a una señal de pseudoruido diferente para cada usuario, de esta forma se tiene un sistema que aumenta su eficiencia tanto en seguridad, como en prevención de interferencia.

La prevención de interferencia en el sistema CDMA2000 se cuantifica en términos de colisión de chips. Un chip se define como un bit en la secuencia de pseudoruido generada a una alta frecuencia [1]. En otras palabras, un chip es la mínima variación posible en la señal de pseudoruido que forma a la señal dispersada.

Se puede asociar a cada uno de estos chips una cantidad de energía electromagnética, la cual puede hacer colisión con la energía asociada a un chip diferente si estas concuerdan en frecuencia. Sin embargo, al ser muy alto el número de chips generados por cada uno de los bits de información, aproximadamente de 134 a 536 por bit [1], en general no hay un número de colisiones suficientes para que la interferencia de la señal sea significativa.

Se puede afirmar que el sistema trabaja mediante una codificación ortogonal si se designan dos patrones de secuencias de chips de tal forma que no hay colisión completa entre ambos en el envío de un bit de información [1]. La Figura 2.4 muestra como se codifica un canal de radio, en donde las máscaras hacen referencia a los distintos códigos de pseudoruido que conforman a la señal dispersada.

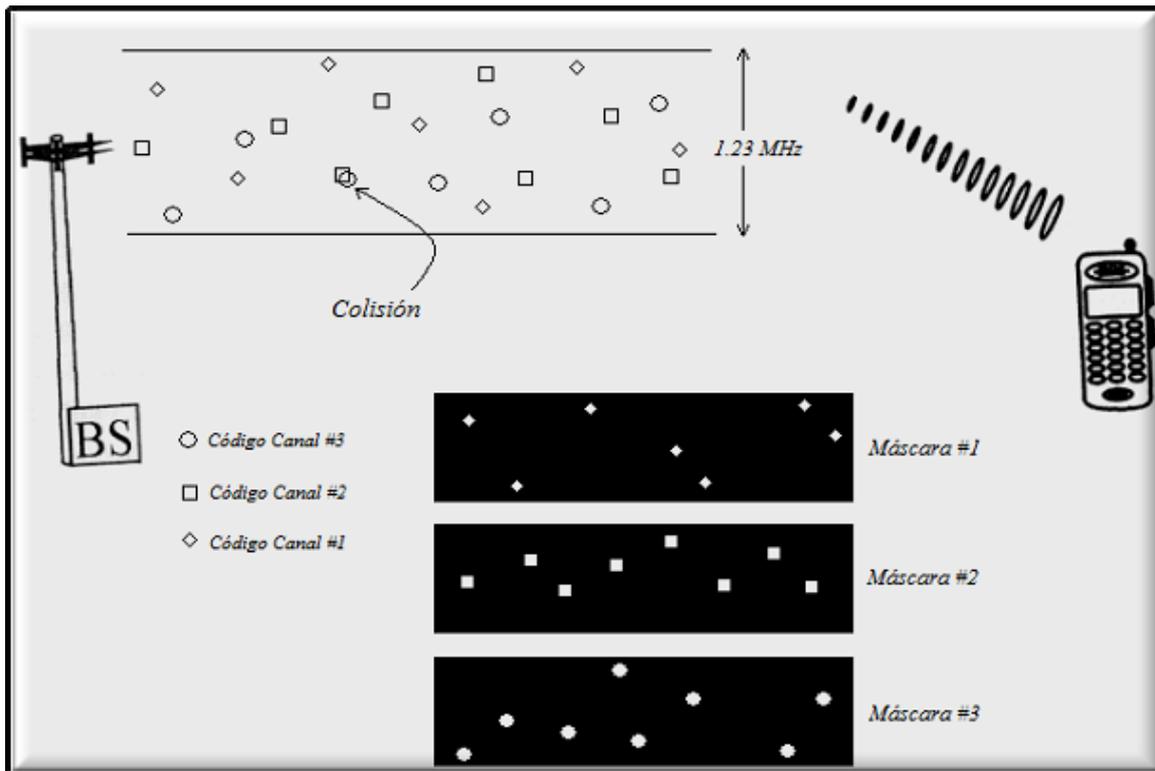


Figura 2.4. Códigos de un canal de radio CDMA2000

2.2.3 Modo Multicarrier

A través de cada uno de los canales básicos utilizados en CDMA2000, es decir, a través de cada uno de los canales 1XRTT, se puede transmitir cierta cantidad de información. Por lo general, esta cantidad de información transmitida se puede expresar en tasa de transmisión de chips, la cual, en sistemas actuales es de 1.288 millones de chips por segundo, para cada canal 1XRTT [1]. En el caso en que se quiera aumentar esta cantidad de información transmitida, se requieren más recursos radio.

La asignación de estos recursos de radio se puede realizar mediante dos enfoques distintos. En el primer enfoque se elaboran canales más anchos. El ancho de estos canales es un múltiplo del ancho de banda de un canal 1XRTT (1.25 MHz) y al igual que en este último, las señales transmitidas se dispersan por secuencia directa.

El segundo caso o enfoque que puede ser utilizado para aumentar la velocidad de transmisión es aquel en el cual se utilizan varios canales 1XRTT combinados para lograr dicho aumento.

Cuando se utiliza el enfoque de combinar varias portadoras 1XRTT, se dice que se lleva a cabo una transmisión multicarrier [1]. En ambos esquemas planteados, para aumentar la velocidad de transmisión, la tasa de chip resultante se puede obtener de la multiplicación de la tasa de 1.228 Mcps por el número de canales de radio combinados.

2.2.4 Señalización

Algunos canales lógicos identificados con códigos Walsh específicos se utilizan para señales de control dentro del sistema. Los códigos Walsh que identifican a estos canales son códigos fijos y tanto la estación radiobase como el usuario móvil los conocen. Las tareas que las señales de control realizan son diversas, por lo que en el presente trabajo se tratarán las primordiales. Para una descripción más amplia y detallada de todos los canales de señalización pertenecientes al sistema CDMA2000 consúltese la referencia [1].

2.2.4.1 Canal Piloto

El sistema CDMA2000 utiliza un canal piloto, *Forward Pilot Channel* (F-PICH), para asistir al teléfono en la demodulación de la portadora CDMA y para auxiliar a la terminal móvil en el proceso de búsqueda inicial de la celda. El canal piloto provee una secuencia de información conocida que el teléfono puede identificar fácilmente.

El canal piloto se distingue de otros canales codificados por una secuencia de pseudoruido en particular. Los móviles CDMA2000 miden simultáneamente la intensidad de todas las señales piloto de las celdas vecinas en el sistema, eligiendo así la que presenta una potencia más adecuada.

2.2.4.2 Canal de Sincronización

El canal de sincronización, Forward Sync Channel (F-sync) es usado para permitir a la terminal móvil el inicio de la sincronización con la estación radiobase, es decir, sincronizar la terminal móvil con respecto a la información de timing del sistema.

Existen dos tipos de canales F-sync usados en CDMA: el canal F-sync compartido y el canal F-sync de banda ancha. El canal F-sync compartido provee servicio tanto en móviles pertenecientes al sistema IS-95 como en móviles CDMA2000. El canal F-sync de banda ancha es transmitido a través del ancho de banda entero del canal.

2.2.4.3 Canal de Broadcast

El canal de broadcast, Forward Broadcast Common Channel (F-BCCH), provee continuamente información relacionada al sistema. El F-BCCH usa un código Walsh fijo el cual se proporciona al móvil mediante el canal de sincronía. El F-BCCH puede ser usado también para transmitir mensajes cortos de tipo broadcast.

2.2.4.4 Canal de Acceso Aleatorio

El canal de acceso aleatorio, *Reverse Random Access Channel* (R-ACH), es un canal de subida que permite al móvil transmitir peticiones (bursts) de acceso aleatorias cuando dicho móvil intenta acceder al sistema celular. Ya que estas peticiones son recibidas de forma aleatoria por el sistema, para ayudar a la estación base a decodificar el servicio de mensajes de petición, los intentos aleatorios se realizan durante intervalos específicos de tiempo (slots). Cada canal de radio CDMA2000 puede contener hasta 32 canales de acceso codificados. Los canales de acceso se agrupan en tramas de 20-msec y 88 bits de información. La tasa de transmisión total que conforman todos los canales de acceso es de 9600 bps. Los mensajes del canal de acceso se repiten dos veces, reduciendo la tasa efectiva a 4800 bps [1].

2.2.5 Control de Potencia

El control de potencia es el ajuste del nivel de potencia transmitido ya sea por la estación radio base o por el equipo móvil. Este control de potencia es de vital importancia en sistemas CDMA ya que estos sistemas limitan la comunicación realizada tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada a la potencia mínima requerida por el equipo receptor para procesar la llamada. Esta limitación de potencia ayuda en la reducción de la interferencia que un determinado canal ocasiona a otros.

El control de potencia para las señales de la estación radio base se realiza mediante la evaluación de mensajes de calidad de señal provenientes del móvil. Por otro lado, la estación radio base controla los niveles de potencia de las señales de móvil con mensajes específicos mezclados en el canal de tráfico. La potencia de ambos tipos de señales está en constante ajuste, para asegurar que se trabaje dentro de los niveles deseados y así atender a un mayor número de usuarios debido a la reducción de interferencia.

Al igual que en el caso de WCDMA, en el sistema CDMA2000 el control de potencia realiza dos operaciones simultáneas: la estimación a lazo abierto y a lazo cerrado. La estimación a lazo abierto es un ajuste burdo, mientras que la operación a lazo cerrado es un ajuste fino. El sistema de control de potencia mantiene las señales recibidas dentro de una variación de ± 1 dB (33%) entre ellas [1]. Cuando ocurre una fuerte interferencia de señales, el número de usuarios que la célula puede albergar disminuye, por tanto cuando esta interferencia es muy grande los móviles se traspasan (handed off) a otra célula.

2.2.6 Terminales

Existen varios dispositivos que pueden ser usados en el sistema CDMA2000. El primero de estos dispositivos son las terminales móviles CDMA2000, las cuales soportan las diferentes tecnologías de radiotransmisión (RTT) del sistema CDMA2000 antes mencionadas. Los teléfonos compatibles con el sistema IS-95 también pueden ser utilizados. En general, un teléfono móvil CDMA2000 es capaz de operar como un móvil del sistema IS-95 y como móvil CDMA2000. La Figura 2.5 muestra esquemáticamente las terminales antes mencionadas.

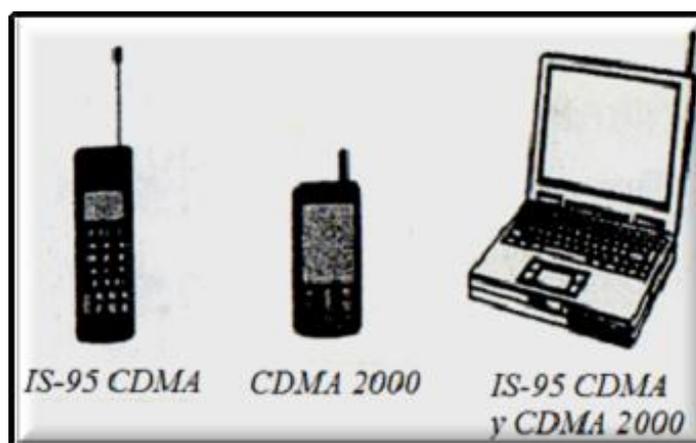


Figura 2.5. Terminales móviles usadas en CDMA 2000

CAPÍTULO 3

CALIDAD DE SERVICIO EN SISTEMAS DE TERCERA GENERACIÓN

3.1 Concepto de Calidad de Servicio

Se define la QoS como la calidad del servicio tal y como la percibe el usuario, y por tanto es siempre de extremo a extremo.

La QoS percibida por el usuario depende tanto de la eficiencia de los distintos elementos de las redes origen y destino, como de los equipos terminales y accesorios.

Por la razón anteriormente mencionada, la red servidora debe tener en cuenta no sólo la eficiencia de sus elementos, sino también reflejar la del equipo y añadir un margen suficiente que permita soportar la interferencia de las otras posibles redes que intervengan en la comunicación. [18]

3.2 Parámetros más comunes

Los atributos son las características y parámetros que determinan individualmente la QoS de cada servicio portador, y que por tanto determinan la QoS global de extremo a extremo.

En [18] se definen una serie de atributos de QoS así como el rango de valores que pueden tomar.

Se presenta un resumen en la tabla 3.1

Tabla 3.1: Atributos y parámetros de QoS en UMTS

<p>Clases Conversacional y Afluente (Streaming)</p>	<p>Clases Interactiva y Diferida (Background)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Clase de tráfico • Entrega ordenada • Tamaño máximo de SDU • Información de formato de SDU • Tasa de SDUs erróneas • Tasa de error de bit residual • Entrega de SDUs erróneas • Retardo de transferencia • Tasa de bit garantizada • Prioridad de asignación/retención • Descriptor estadístico de la fuente 	<ul style="list-style-type: none"> • Clase de tráfico • Entrega ordenada • Tamaño máximo de SDU • Tasa de SDUs erróneas • Tasa de error de bit residual • Entrega de SDUs erróneas • Prioridad de tráfico • Prioridad de asignación/retención • Indicación de señalización

Los valores requeridos de algunos parámetros de QoS deben ser traducidos para poder ser utilizados en diferentes secciones del entorno UMTS ya que en cada sección hay una portadora con diferentes características.

La definición de algunos atributos o grupos de éstos pueden ser encontrados en [19]. Los parámetros que tienen más impacto en QoS son [20]:

- Rango de error de bit residual: indica la cantidad de bits erróneos dentro de las SDUs (Service Data Units - Unidades de Datos de Servicio) que son entregadas debido a errores sin detectar.

- Rango de SDU erróneos: Es el conjunto de SDU que se pierden o se detectan como erróneos

- Retardo de Transferencia: Es el tiempo que transcurre desde la petición de transferencia del punto de acceso hasta que es recibido el SDU en el otro extremo.

Algunos parámetros para evaluar la eficiencia han sido especificados por 3GPP [21]. Estos parámetros, considerados para las diferentes clases de servicio se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Parámetros por tipo de servicio

Parámetros	Servicios			
	<i>Conversacional</i>	<i>Afluente</i>	<i>Interactivo</i>	<i>Diferido</i>
F	0.6	0.6	0.6	0.6
SF _i	De 4 a 256	De 4 a 256	De 4 a 256	De 4 a 256
(E _b /N ₀) _i (dB)	4.57	4.25	4.69	4.69
v _i	0.67	0.57	0.47	0.37
r	1/3	1/3	1/3	1/3
R _i (kbps)	64,144,384 y 2048	64,144,384 y 2048	64,144,384 y 2048	64,144,384 y 2048
η _{CD} (%)	0.8	0.8	0.8	0.8
η _{CR} (%)	0.7	0.7	0.7	0.7
η _{max}	0.6	0.6	0.6	0.6

Donde:

f – es la potencia de interferencia intercelular

SF_i - es la ganancia de procesado

(E_b/N₀)_i – Es la relación de energía de bit a ruido

v_i - es el factor de actividad de la fuente de tráfico

r – es la tasa de codificación

R_i – es la tasa de transmisión

η_{CD} – es el nivel del factor de carga umbral de congestión

η_{CR} – es el nivel del factor de carga umbral sin congestión

η_{max} – es el nivel del factor de carga umbral de admisión

3.3 Tipos de servicio

En UMTS, según el tipo de servicio, se definen cuatro clases de QoS siendo el factor distintivo más importante entre ellas la sensibilidad al retardo del tráfico. En una misma conexión, el usuario puede mantener una comunicación multiservicio, en la que el establecimiento y liberación de sus componentes son independientes.

Los cuatro tipos de servicios en UMTS se describen brevemente a continuación y a detalle en [19].

- *Clase Conversacional*

Las transmisiones de este tipo se caracterizan por ser simétricas y por requerir tiempos de retardo en la transmisión muy pequeños. La aplicación más utilizada en la clase conversacional es el servicio de voz.

- *Clase Afluente (Streaming)*

En esta clase, se transmite información multimedia de forma unidireccional para que sea procesada como un flujo de datos constante. Básicamente, este tipo de aplicación considera la transmisión de secuencias de video y audio en tiempo real.

- *Clase Interactiva*

Hay servicios que son asimétricos, es decir, que el usuario en uno de los extremos sólo está enviando pequeños comandos o solicitudes, las cuales liberan una gran descarga de información. Ejemplos de aplicaciones de esta categoría son: navegación web y acceso remoto a las computadoras.

- *Clase Diferida (Background)*

Correos electrónicos, envío de mensajes cortos y la descarga de bases de datos son ejemplos típicos de aplicaciones de este tipo de servicios. El retardo en la transmisión de datos puede ser del orden de segundos o incluso de minutos. A pesar de que el retardo no es una restricción en estos casos, la integridad de la información es un requisito indispensable para estas conexiones.

Las clases conversacional y afluente (streaming) están pensadas para ser utilizadas en flujos de tráfico en tiempo real. Difieren en su sensibilidad al retardo. Estas clases son consideradas servicios en tiempo real.

Las clases interactiva y diferida (background), están previstas para servicios tipo Internet, como navegadores, correo electrónico, Telnet, y FTP. Al ser menos restrictivas en cuanto a retardo, proporcionan una mayor robustez para la protección contra errores, al poder establecer mecanismos de codificación de canal y retransmisión. Estas clases no son servicios en tiempo real.

3.4 Mecanismos de control

Una red de comunicaciones móviles de tercera generación, como es UMTS, debe ser capaz de brindar una gran variedad de servicios multimedia cumpliendo así con la enmienda propuesta en la iniciativa IMT-2000 de la UIT.

Uno de los requerimientos más importantes para lograr este objetivo es que la red garantice, en el momento en que se establece una conexión, ciertos parámetros de calidad de servicio (QoS) que deben de mantenerse durante toda la conexión. En una red tan compleja como esta, es difícil definir un determinado número de parámetros que aseguren dicha QoS, por esta razón estos atributos han sido definidos por el grupo 3GPP en términos de aplicaciones finales [22].

Los proveedores de servicio, por tanto, han traducido el contenido de esas aplicaciones finales en ciertos atributos bajo los cuales se realizará el diseño de la red, y de los mecanismos a usar para controlarla [22].

Un enfoque que facilita asegurar una QoS adecuada en todo momento es el de diseñar la red teniendo como base ciertos algoritmos conocidos como mecanismos de gestión de recursos de radio.

Estos mecanismos actúan sobre ciertos parámetros o fenómenos presentes en la red, como son la admisión, la congestión, el control de potencia o el formato de transporte [23].

Todos estos mecanismos son necesarios para que la red opere bajo las normas de QoS en UMTS.

3.5 Control de admisión

Para el caso específico del control de admisión, se considera que cada nueva solicitud de conexión incrementa el nivel de interferencia de otras conexiones, afectando a su calidad en términos de (E_b / N_0) (Relación Energía de Bit a Densidad Espectral del Ruido).

Para controlar esta interferencia, y asegurar que todos los usuarios operen bajo la figura de mérito (E_b / N_0) mínima, se tiene el control de admisión.

La variabilidad de la tasa de transmisión de usuarios es otra de las causas por las cuales el control de admisión adquiere gran importancia, ya que debido a dicha variabilidad, el factor de carga en la celda también variará con el tiempo, y con el objetivo de garantizar la calidad de servicio en las conexiones se debería de controlar el número de usuarios que entran en el sistema, para que no se congestione. Esto se realiza mediante el control de admisión.

3.5.1 Estrategias de control de admisión

El control de admisión es el algoritmo que determina si una solicitud de conexión debe ser aceptada o rechazada en función de la interferencia (o carga) que añade a las conexiones ya existentes [24]. Por lo tanto, es responsable de decidir si una nueva RAB (Radio Access Bearer) puede ser establecida y cuál es el TFS (Transport Format Set) permitido. El TFS forma parte de un mecanismo de gestión diferente, que es la gestión del formato de transporte.

Un TFS está formado por un cierto número de TB (Transport Block). Los TB son las unidades de tráfico más pequeñas que pueden transmitirse a través del canal de transporte [3].

Antes de formar un TFS, al grupo de TBs se le agregan características de codificación, interleaving y rate matching que dan lugar a la definición del Formato de Transporte (TF) [24]. El número de TFs permitidos durante cierto tiempo de transmisión (TTI) forman un, ya mencionado, TFS. Cabe destacar que el número de TB transmitidos en un TTI está asociado a tasas de transmisión diferentes y es la red, mediante el mecanismo de control de admisión, quien asigna la lista de TF permitidos para cada usuario.

El control de admisión considerado hace uso del factor de carga y la estimación del incremento de carga que genera en la red el establecimiento de la solicitud de conexión [24]. Desde el punto de vista de implementación, las estrategias de control de admisión se pueden clasificar como basadas en modelos o basadas estadísticas [24]. La implementación de una estrategia basada en estadísticas consiste en calcular el factor de carga en base a la suma de la carga provocada por todos los demás usuarios. A continuación se explicará cómo se realiza el cálculo de dicho factor de carga.

3.5.2 Factor de carga

En el caso de que el factor de carga η sea estimado en términos estadísticos, asumiendo que se tienen K usuarios admitidos en el sistema antes de la nueva petición de conexión, el usuario (K+1) debe verificar la ecuación 3.1:

$$\eta = (1 + f) \sum_{i=1}^k \frac{1}{\frac{SF_i}{v_i \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_i r} + 1} + (1 + f) \frac{1}{\frac{SF_{K+1}}{v_{K+1} \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{K+1} r} + 1} \leq \eta_{\max} \quad (3.1)$$

Donde SF_i es la ganancia de procesamiento, v_i es el factor de actividad de la fuente de tráfico, $(E_b/N_0)_i$ es la calidad requerida para el usuario i-ésimo, r es la tasa de codificación [24]. La potencia de interferencia intercelular se modela como un factor proporcional, factor f , de la potencia de interferencia intracelular [24].

La aceptación de una petición de conexión a la red estará determinada por la suma del factor de carga del sistema en ese momento y la estimación del incremento de carga, la suma de los cuales no podrá sobrepasar el factor de carga de umbral impuesto, η_{\max} ya que en caso contrario el usuario no sería admitido.

3.5.3 Algoritmos de control de admisión

El sistema UMTS ofrece en esencia dos clases de servicios: el conversacional y el interactivo. El servicio de clase conversacional presenta requerimientos estrictos en cuanto a tiempos de retardo, mientras que el servicio de clase interactivo presenta requerimientos más flexibles en cuanto a tiempos de retardo pero más estrictos en cuanto a integridad de los datos.

Existen diferentes tipos de algoritmos de control de admisión dependiendo si se hace distinción entre estas dos clases de servicios.

3.5.3.1 Admisión sin priorización

El algoritmo de admisión no tiene en cuenta la clase de servicio del usuario que está solicitando la conexión. Para K_1 usuarios de clase conversacional y K_2 usuarios de clase interactiva, la ecuación para el cálculo del factor de carga se aplica de la misma manera independientemente de si el usuario que desea conexión es de clase conversacional o interactiva. Por lo tanto, se considera $K=K_1+K_2$ [24].

3.5.3.2 Admisión con priorización

El principio básico de este algoritmo es aceptar las solicitudes de los usuarios conversacionales a costa de reducir, si es necesario, el tráfico del servicio interactivo.

Para una solicitud de conexión de un usuario interactivo se debe comprobar la condición expresada en la ecuación del factor de carga umbral, ya que esta condición asegura una QoS adecuada en términos de tasa o retardo, sin embargo, en sentido estricto esta clase de servicio no es en tiempo real y, por tanto, es más tolerante al retardo [24].

El control de admisión para una solicitud de un usuario de la clase conversacional también debe de cumplir la condición expresada en la ecuación del factor de carga umbral. Si se cumple la condición, la solicitud es aceptada. En caso contrario, se deberá activar un nuevo mecanismo de gestión de recursos de radio conocido como control de congestión.

La activación de este mecanismo de congestión dependerá de la carga real instantánea. Su objetivo es reducir la carga provocada por los usuarios de clase interactiva y proporcionar espacio para la solicitud [24]. Únicamente si no es posible liberar suficiente capacidad de los usuarios interactivos se rechazará la solicitud de conexión conversacional.

3.6 Control de congestión

El control de congestión debe actuar cuando los usuarios admitidos no pueden satisfacer los requerimientos de calidad durante cierto periodo de tiempo debido a una sobrecarga en la red de radio [24]. El control de congestión también tiene el propósito de lograr que el tráfico del tipo conversacional pueda ser atendido por el sistema. Los mecanismos de control de congestión están divididos en varias partes, las cuales se describen a continuación.

3.6.1 Detección de la congestión

Normalmente se establece un criterio para determinar si la red está congestionada o no. El criterio que se utiliza para determinar que la red está congestionada es cuando el factor de carga es mayor a cierto umbral ($\eta > \eta_{CD}$) durante cierto periodo de tiempo ΔT_{CD} .

3.6.2 Resolución de la congestión

Cuando se ha determinado que el sistema está congestionado, se deben de tomar ciertas medidas para tratar de solucionar esta situación. Por lo general se llevan a cabo tres pasos para dar reducir la congestión: priorización, reducción de la carga y verificación de la carga.

Priorización – Los usuarios se ordenan en una tabla según la prioridad que estos tienen, se empieza por los usuarios de menor prioridad y se termina con los de mayor prioridad. La priorización consiste en dar menor prioridad a los usuarios que están transmitiendo a altas tasas de transferencia [24].

Reducción de la carga – Consiste en realizar dos acciones:

1. Durante la congestión no se aceptará ninguna petición de conexión hasta que el nivel de carga logre alcanzar el nivel permitido.
2. Se reduce la máxima tasa de transferencia de los usuarios ya admitidos en la red, se empieza por aquellos que tienen menor prioridad, es decir, los que están transmitiendo a altas velocidades. En algunos casos la reducción de la tasa máxima de transferencia puede llegar hasta el punto de no permitirle a ciertos usuarios transmitir durante la congestión.

Verificación de la carga – Después de llevar a cabo la reducción de la carga, el sistema verifica nuevamente la condición que activa el mecanismo de control de congestión. Si la congestión persiste se vuelve al algoritmo de reducción de la carga, limitando ahora, la máxima tasa de transferencia del siguiente grupo de usuarios de la tabla de prioridades. Se considera que la congestión se ha solucionado si el factor de carga es menor a cierto umbral ($\eta < \eta_{CD}$) durante cierto periodo de tiempo ΔT_{CD} [22].

3.6.3 Recuperación de la congestión

En la recuperación de la congestión el sistema vuelve a aceptar peticiones de conexión. Es necesario que después de la congestión también se restauren los parámetros de transmisión que tenían los usuarios antes de la congestión.

La forma en la que se lleva a cabo la recuperación de la congestión es muy importante ya que dependiendo de cómo suceda se podría generar una nueva congestión.

Se ha considerado que una buena opción es la recuperación usuario a usuario. En esta recuperación se incrementa la máxima tasa de transferencia de un usuario y cuando el usuario termina de transmitir, se incrementa la tasa de transferencia del siguiente usuario [24].

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE RECURSOS DE RADIO PARA GARANTIZAR LA QoS EN UMTS

4.1 Introducción al análisis de la gestión de recursos de radio.

En el capítulo anterior se enunciaron las características que se deben cubrir en un sistema UMTS para operar bajo condiciones de QoS adecuadas. Se describieron también mecanismos propuestos para asegurar que el sistema opere bajo dichas condiciones, mecanismos que en conjunto son conocidos como gestión de recursos de radio. La gestión de recursos de radio tiene, por tanto, una gran influencia en el comportamiento de una red telefónica inalámbrica y por consiguiente en la calidad de servicio que la red ofrece a sus usuarios. Si bien los parámetros que se utilizan para evaluar la calidad de servicio están bien especificados por 3GPP, la forma en la que debe llevarse a cabo la gestión de recursos no lo está. Por tal motivo la forma en la que se implementan los algoritmos de gestión de recursos depende en gran medida de los fabricantes de equipos y de los proveedores de servicios.

La gestión de recursos es un problema complejo en el que intervienen un gran número de factores y efectos que se interrelacionan. Debido a que los algoritmos utilizados deben de ser eficientes, se consideran sólo aquellos factores que son realmente importantes. Para evaluar la eficiencia de cualquier algoritmo de gestión de recursos se debe considerar su impacto sobre el funcionamiento general de la red, es decir, sobre las diferentes medidas que definen el comportamiento del sistema. El sistema sobre el cual se montará la gestión, debe estar perfectamente definido en términos del tipo de tráfico o servicios que brinda, ya que la gestión de recursos de radio actúa de forma específica según el servicio brindado. En el presente capítulo se analiza la eficiencia de algunos de los controles descritos en el capítulo anterior del presente trabajo, por tanto, se eligió un modelo que combina tráfico interactivo y conversacional, sobre el cual se montará la gestión. Dicho modelo se describe a continuación.

4.2 Descripción del modelo de tráfico considerado

La validez del análisis tradicional del tráfico depende en gran medida de la naturaleza Poissoniana del tráfico de datos. Sin embargo, se ha visto que existe una gran diferencia entre las predicciones hechas con los modelos de tráfico tradicionales y el desempeño real del tráfico. Se ha visto también que distribuciones como la de Pareto o la de Weibull son más apropiadas para modelar el tráfico de datos. En el modelo que utilizamos el tamaño de los paquetes así como el tiempo de transmisión de paquetes siguen una distribución de Pareto truncada.

Para el caso del tráfico de datos se considera que este consiste en grupos de paquetes y que éstos a su vez están agrupados en sesiones de paquetes.

Cada sesión puede contener uno o más grupos de paquetes dependiendo del tipo de aplicación [23]. Por ejemplo, la transmisión de un video puede requerir de un solo grupo de paquetes por sesión, mientras que una sesión de navegación en Internet puede requerir de varios grupos de paquetes.

Durante una transmisión existen tiempos de inactividad, estos son el tiempo entre paquetes (que es el tiempo que transcurre entre el final de la transmisión de un grupo de paquetes y el comienzo de la transmisión de otro grupo) y el tiempo entre sesiones (el cual es un tiempo de inactividad, generalmente mayor al tiempo entre paquetes) [23].

A continuación se presenta un resumen de las distribuciones estadísticas utilizadas para modelar algunos de los parámetros utilizados en nuestro modelo, basado en el modelo de tráfico de paquetes establecido por la ETSI [23]:

- Tiempo entre sesiones: Modelado mediante una variable aleatoria exponencial.
- Tiempo medio entre llegada de paquetes: Modelado mediante una variable aleatoria exponencial.
- Paquetes por sesión: Modelado mediante una variable aleatoria geométrica
- Tamaño de los paquetes: Modelado mediante una distribución de Pareto truncada
- Tiempo de servicio: Modelado con una variable aleatoria de Pareto truncada

Para el modelo de simulación se consideran servicios de clase interactiva y conversacional, los cuales son proporcionados por una RAB, con una tasa de transmisión máxima de 64 kbps en el enlace ascendente. Los formatos de transporte para el tráfico interactivo y el conversacional son detallados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1– Formatos de Transporte

Servicio		Interactivo	Conversacional
Tipo de TrCH		DCH	DCH
Tamaños TB, bit		336 (320 carga útil, 16 MAC/RLC cabecera)	640
TFS	TF0, bits	0x336	0x640
	TF1, bits	1x336 (16 kb/s, SF=64)	2x640 (64 kb/s, SF=16)
	TF2, bits	2x336 (32 kb/s, SF=32)	-
	TF3, bits	3x336 (48 kb/s, SF=16)	-
	TF4, bits	4x336 (64 kb/s, SF=16)	-
TTI, ms		20	20

En la tabla anterior se puede observar que bajo este modelo de tráfico los canales digitales (DCH) contendrán cierta tasa de transferencia dependiendo del Set de Formato de Transporte asignado (TFS). La tasa de transferencia en cada set es múltiplo de la unidad de tráfico básica, o Transport Block (TB), la cual varía según el tipo de servicio. Se comienza con el Set 0 (TF0) hasta llegar al Set 4 (TF4) para el caso de servicio interactivo, mientras que en servicios de clase conversacional se tienen sólo el set 0 y 1. El intervalo o tiempo de transmisión (TTI) para ambos tipos de servicio es el mismo.

En el modelo del tráfico interactivo se considera que hay periodos de actividad, durante estos periodos se generan paquetes de información y además hay un tiempo de lectura entre paquetes; de ésta forma se simula la interactividad de este tipo de servicio.

Los parámetros que se toman en cuenta son:

- Tiempo medio de lectura entre páginas: 30s
- Tiempo entre sesiones: 300s
- Tiempo medio entre llegada de paquetes: 0.125s (con distribución exponencial)
- Número medio de paquetes por página: 25
- Número medio de bytes por paquete: 368 bytes (máximo 6000 bytes)

En cuanto al modelo de tráfico conversacional, se consideró una fuente de tasa constante de 64 kbps con los siguientes parámetros:

- Tiempo medio de conexión de: 120s.
- La tasa de arribo de los usuarios de tipo conversacional de: 30 llamadas/hora.
- Factor de actividad de voz: 0.67
- La interferencia intercelular se modela como un factor proporcional a la interferencia intracelular: $f=0.6$

4.3 Análisis del impacto de la gestión de recursos de radio

A continuación se presentan los resultados obtenidos al considerar dos de los algoritmos de gestión de recursos: el control de admisión con priorización y sin priorización. Estos dos esquemas de control fueron descritos en el capítulo anterior y se aplicaron siguiendo dicho algoritmo.

Como se mencionó, los resultados se obtienen aplicando la gestión sobre el modelo descrito en el apartado anterior del presente capítulo. Las variables y factores de QoS empleados se tomaron de los que fueron presentados en el capítulo anterior. Se consideraron también los parámetros mostrados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Parámetros considerados

Umbral de control de admisión	0.6
Umbral de detección de congestión	0.7
Umbral de desactivación de control de congestión	0.7

Las medidas de comportamiento del sistema consideradas para evaluar la calidad de servicio son: la probabilidad de admisión, el retardo de paquete y el porcentaje de tiempo en congestión. A continuación se presentan los resultados obtenidos y del análisis de los mismos se podrá verificar la efectividad de la gestión elegida.

4.3.1 Análisis de la probabilidad de admisión

En el capítulo 3 del presente trabajo se describieron dos posibles estrategias de admisión: admisión sin priorización y admisión con priorización. Para poder hacer una primera comparación entre ellas, consideraremos la probabilidad de admisión tanto para usuarios del tipo conversacional como para usuarios del tipo interactivo.

Puede verse en las gráficas de las figuras 4.1 y 4.2 que el algoritmo de admisión sin priorización propicia un elevado número de rechazos de solicitudes de conexión, para usuarios conversacionales como interactivos. Puede verse también que el número de rechazos se incrementa conforme se incrementa la carga del sistema (el número de usuarios que son servidos).

Si ahora consideramos la priorización en el control de admisión, vemos que ésta asegura una probabilidad de admisión cercana al 100% para los usuarios del tipo conversacional (figura 4.1) cuando el sistema tiene relativamente pocos usuarios.

La probabilidad de admisión tiende a disminuir si la carga del sistema aumenta, pero no lo hace de forma tan dramática como en el caso en que no se considera priorización.

Asegurar un mayor número de admisiones para usuarios conversacionales se logra reduciendo la probabilidad de admisión para usuarios interactivos (figura 4.2), es decir, considerando priorización se toman parte de los recursos que están destinados a los usuarios interactivos para brindárselos a los usuarios conversacionales, garantizando de esa forma mayor calidad de servicio.

En cuanto al throughput del sistema, hay que señalar que éste es el mismo con y sin priorización, entonces el algoritmo de admisión con priorización sólo administra los recursos del sistema de forma más conveniente para los usuarios conversacionales.

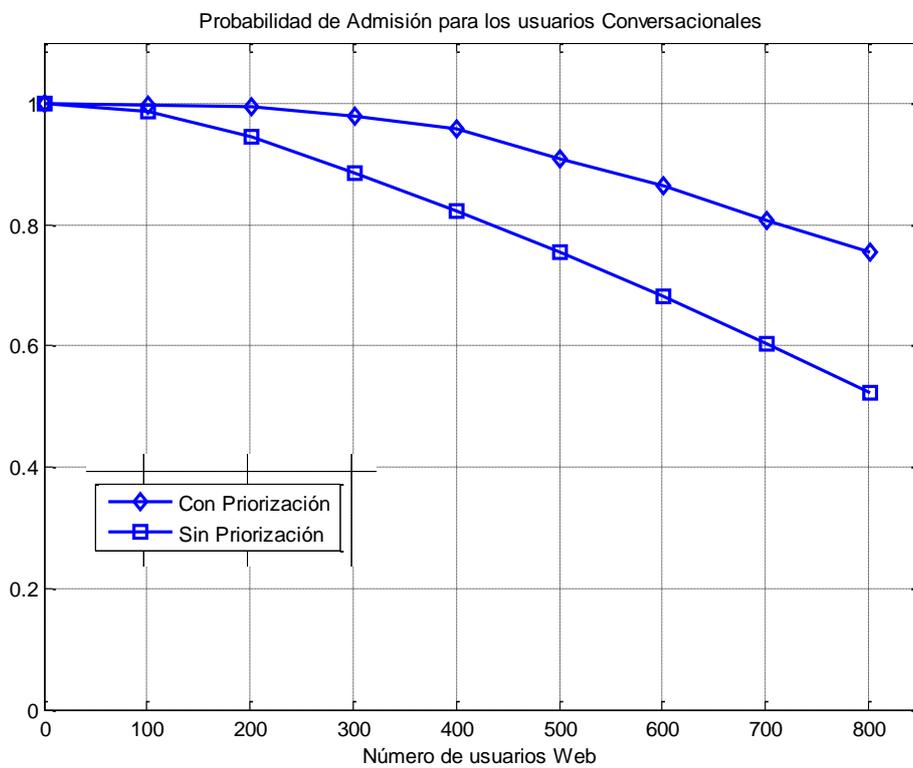


Figura 4.1. Probabilidad de admisión para usuarios conversacionales

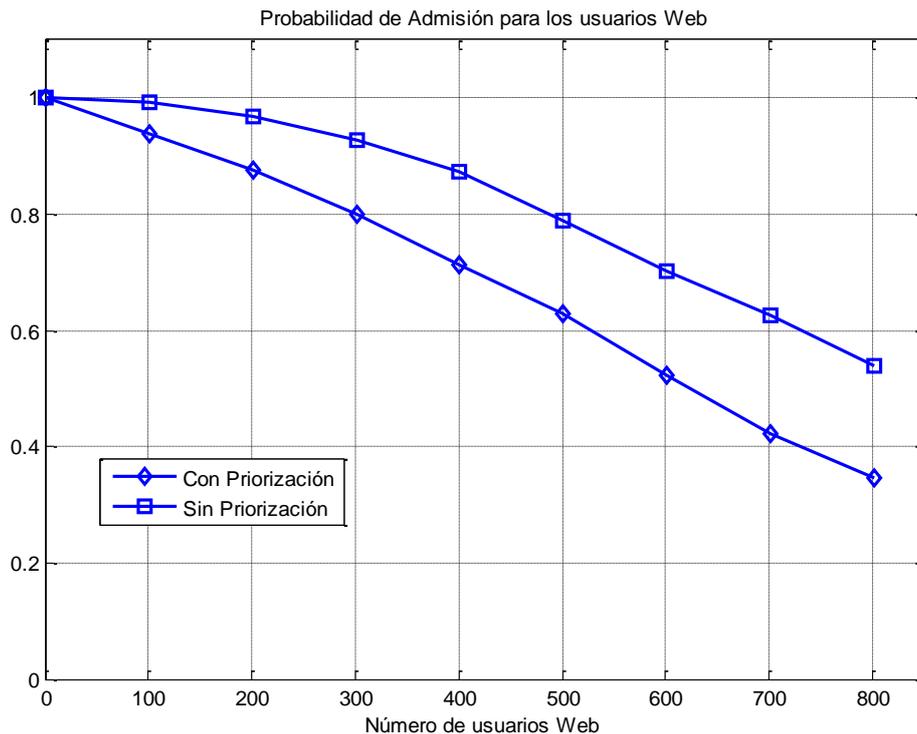


Figura 4.2. Probabilidad de admisión para los usuarios interactivos

4.3.2 Análisis del retardo de paquete

En el caso del tráfico interactivo, es posible analizar el retardo que tienen los paquetes haciendo una comparación de su comportamiento cuando se considera priorización. Es necesario recordar que para este tipo de tráfico debe garantizarse la integridad de los datos (como fue mencionado en el capítulo 3), y aunque el retardo no es una medida estricta, su análisis permite una mejor comprensión de los efectos del uso de priorización.

La priorización es el proceso que consiste en dar mayor prioridad a los usuarios que ocupan bajas tasas de transmisión, para que los usuarios de altas tasas de transmisión no monopolicen el sistema, de modo que se reduce la probabilidad de congestión (que se explica más adelante).

La figura 4.3 muestra el efecto que tiene el uso de priorización en el tiempo de retardo de paquetes. Obsérvese que conforme se va incrementando el número de usuarios de tráfico interactivo, la diferencia en el tiempo que presenta el retardo de paquetes, también va aumentando; de manera que a mayor cantidad de usuarios, el efecto de la priorización se distingue con más claridad. Se puede observar una disminución de tiempo en el retardo de los paquetes para el caso del tráfico interactivo de un sistema que utiliza un control de admisión con priorización.

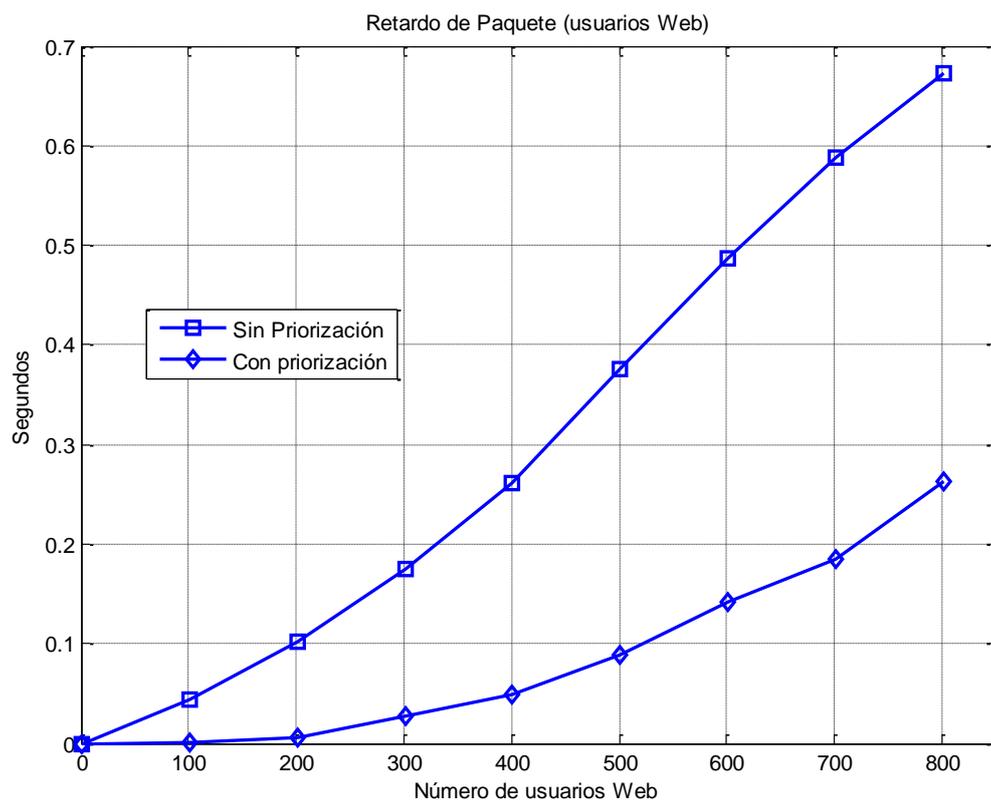


Figura 4.3 Retardo de paquete para usuarios del tráfico interactivo

4.3.3 Análisis del porcentaje en tiempo de congestión (probabilidad de congestión)

Esta medida del comportamiento del sistema indica la probabilidad de que exista congestión en la red. Recordemos que se considera que existe congestión cuando los usuarios admitidos no pueden satisfacer los requerimientos de calidad durante un cierto periodo de tiempo, debido a una sobrecarga en la red de radio [22]. En gran medida, estas sobrecargas se deben a las fluctuaciones de carga generadas por la aleatoriedad en la generación de tráfico correspondiente a los usuarios interactivos.

El control de congestión trata las sobrecargas del sistema siguiendo el algoritmo descrito en el capítulo 3. En dicho algoritmo primero se detecta y resuelve la congestión, recuperando después al sistema con los parámetros que tenía antes de la congestión. Además de los mecanismos usados en el control de congestión, en la figura 4.4 se observa que la probabilidad de dicha congestión es menor cuando se considera un control de admisión con priorización porque, en este caso, la probabilidad de admisión de los usuarios interactivos es menor (figura 4.2) y por lo tanto, la carga en el sistema puede ser controlada de mejor manera.

En conjunto, el control de admisión y congestión proporcionan una buena estabilidad del sistema, lo cual denota un buen comportamiento del modelo de gestión de recursos radio elegido, ya que por un lado, se tiene un mecanismo eficiente para controlar y resolver congestiones en la red (el control de congestión) reforzado por una baja probabilidad de congestión en caso de que se elija un control de admisión por priorización.

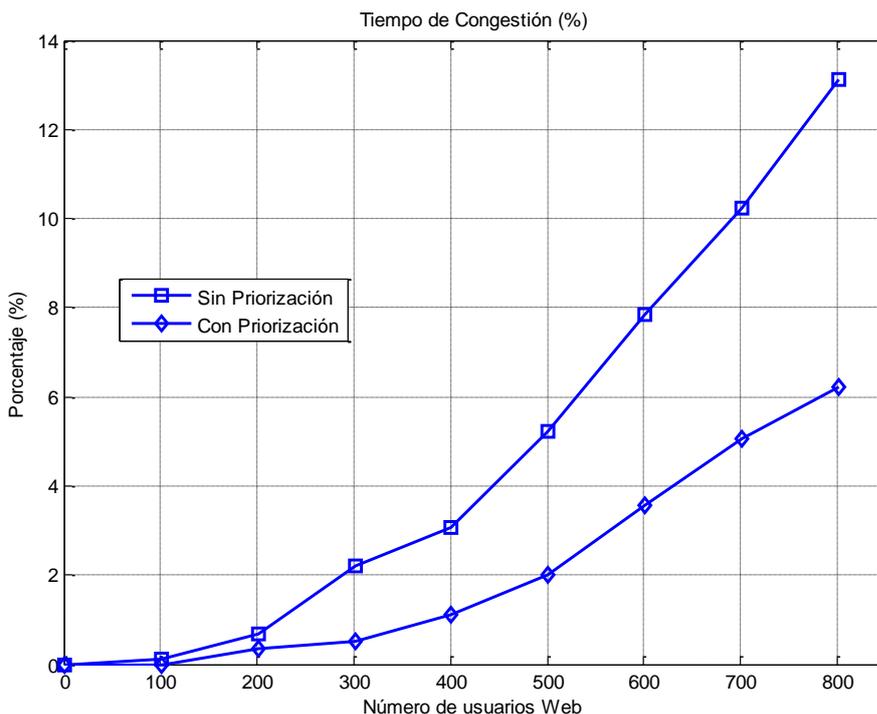


Figura 4.4 Porcentaje de tiempo en estado de resolución de la congestión

4.4 Conclusiones

Dentro de la Gestión de Recursos de Radio, la estrategia del control de admisión con priorización permite administrar los recursos de forma que el desempeño del sistema sea acorde a los requerimientos de Calidad de Servicio en UMTS.

Podemos observar que al asegurar los recursos para los usuarios conversacionales, cumplimos con un requerimiento importante de Calidad de Servicio puesto que este tipo de tráfico tiene mayor prioridad en el esquema de gestión de recursos considerado. Esta estrategia permite que el sistema se desempeñe de mejor forma a costa de disminuir la probabilidad de admisión para los usuarios interactivos. Aquí también se ve reflejada la ventaja de clasificar el tráfico que se está procesando con el fin de poder brindar prioridades distintas.

El hecho de reducir el número de usuarios interactivos trae además otros beneficios para el sistema además de asegurar la conexión de usuarios conversacionales como:

- Reducir la inestabilidad en la red debida la naturaleza del tráfico de paquetes ya que el número de usuarios interactivos está controlado.
- Al tener un número controlado de usuarios interactivos, el retardo que estos experimentan no es tan grave, además de que este tipo de tráfico por su naturaleza es más tolerante al retardo.
- Al tener una red estable, la probabilidad de una desconexión también debe disminuir.
- Cuando el sistema entra en congestión, el tiempo que el sistema dura en este estado disminuye de forma significativa.

Puede verse que todos los aspectos que se consideraron para el análisis están relacionados estrechamente y que los algoritmos de gestión de recursos presentan una solución efectiva a ciertos problemas de las redes de datos.

De lo anterior se concluye que las estrategias de gestión de recursos ayudan a mejorar el funcionamiento de la red y que los servicios no se degradan de forma tan rápida conforme aumenta el número de los usuarios. Estas estrategias también tienen sus limitantes, ya que a un número muy elevado de peticiones de servicio, la admisión de éstos se ve afectada, pero esto es debido a dos cosas: Las estrategias de gestión no producen ningún efecto sobre el problema de interferencia que se genera entre usuarios conforme el número de estos se eleva. En segundo lugar, el principal objetivo es que se privilegia a los usuarios que ya están siendo servidos, garantizando de esta manera la Calidad de Servicio.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Harte Lawrence, Roman Kitka, Richard Levine, "3G Wireless Demystified", McGraw –Hill, 2a edición, 2001, 532 páginas.

[2] Mac Donald V.H., "The Cellular Concept", The Bell System Technical Journal, 1997, 27 páginas.

[3] Tanenbaum, Andrew S., "Redes de computadoras", Pearson Educación, 4ª edición, México, 2003, 912 páginas

[4] Hernando Rábanos, José María, "Comunicaciones Móviles", Editorial Ramón Areces, 1ª edición, Madrid, 2004, 690 páginas.

[5] Blake, Roy, "Electronic Communication Systems", Thomson, 2ª edición, México, 2004, 985 páginas.

[6] Lawrence Harte, Morris Hoening, Daniel McLaughlin, "CDMA IS-95 for Cellular and PC'S", McGrawHill, 1ª edición, Estados Unidos, 1999, 273 páginas.

[7] Wayne, Tomasi, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1996, 858 páginas.

[8] Tisal, Joachim, "La Red GSM", Parafino Thomson Learning, 2ª edición, 2000, 184 páginas.

[9] Roldán Martínez, David, "Comunicaciones inalámbricas. Un enfoque aplicado", Alfaomega, Ra-Ma, 1ª edición, España, 2004, 384 páginas.

[10] Barla Gabriel, Rizzu Eduardo, Fontán Fernando, "Simulación y análisis de desempeño de GPRS", Uruguay, 2003, 7 páginas.

[11] Lin Yi-Bing, Chlamtac Imrich, "Wireless and Mobile Network Architectures", John Wiley & Sons Inc., 2º edición, Canadá, 2001, 560 páginas.

[12] Chevallier, Christopher, Brunner, Christopher, "WCDMA (UMTS) Deployment Handbook Planning and Optimization Aspects", John Wiley & Sons, 1ª edición, 2006, 387 páginas

[13] Documentación del 3GPP y 3GPP2 de los sitios web www.3gpp.org y www.3gpp2.org

[14] Documentación de IMT-2000 del sitio web: www.itu.int/home/imt-es.html

[15] Erik Dahlman, Bjorn Gudmundson, Mats Nilsson, and Johamn Skold, "UMTS and IMT-2000 Based on Wideband CDMA", IEEE Communications Magazine, Ericsson Radio Syst. AB, Sweden, 1998.

[16] Valenzuela González, José Luis, et al, "Principios de comunicaciones móviles", Ediciones UPC, 1ª edición, Barcelona, 2003, 226 páginas.

[17] Figueroa de la Cruz, Mario, "Introducción a los Sistemas de Telefonía Celular", Hasa, 1ª ed., Buenos Aires, 2008

[18] 3GPP, TS.23.107, "Quality of Service (QoS) concept and architecture"

[19] 3GPP. Technical Specification Group Services and System Aspects; Quality of Service (QoS) concept and architecture, (3G TS 23.107 V3.9.0).

[20] Dixit Sudhir et al. Resource management and Quality of Service in Third-generation wireless networks. IEEE Communications Magazine, 39 (2):125-133. February 2001.

[21] 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Development of the standards and specifications of the 3G networks: <http://www.3gpp.org>.

[22] E. Zaleta Alejandro, C.F. García Hernández, G Cahue Díaz, J.A. Pérez Díaz, P. Sibaja-Terán, “Esquema Eficiente de Administración de la Calidad de Servicio para el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales”, 2008, 17 páginas.

[23] Shun-Ren Yang, Sheng-Ying Yan, Hui-Nein Hung, “Modeling UMTS Powering Saving with Bursty Packet Data Traffic”, Taiwan, 2007, 12 páginas

[24] J. Sánchez, J. Pérez-Romero, O. Sallent, R. Agustí, “Integración del Tráfico Conversacional e Interactivo en la Red de Acceso Radio de UMTS”, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2002, 8 páginas.