
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

cenidet

ESQUEMA EFICIENTE DE ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD DE
SERVICIO PARA EL SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES MÓVILES
UNIVERSALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE :
**MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**
P R E S E N T A :
EFRAIN ZALET A ALEJANDRE

04-0235

DIRECTOR DE TESIS

CENTRO DE INFORMACION

M. C. CARLOS FELIPE GARCÍAHERNÁNDEZ

AT
400
8.2

ANEXO No.11

M110

ACEPTACIÓN DEL DOCUMENTO DE TESIS

Cuemavaca, Mor., a 12 de marzo del 2004

C. Dr. Enrique Quintero-Mármol Márquez
Jefe del departamento de Electrónica
Presente.


At'n C. Dr. Gerardo V. Guerrero Ramírez
Presidente de la Academia de Electrónica

Nos es grato **comunicarle**, que conforme a los lineamientos para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de este Centro, y después de haber **sometido** a revisión académica la *tesis* titulada: **“Esquema Eficiente de Administración de la Calidad de Servicio para el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal”**, realizada por el C. Efraín Zaleta Alejandro, y dirigida por el Dr. M.C. Carlos Felipe Garcia Hernández, y habiendo realizado las correcciones que le fueron indicadas, acordamos **ACEPTAR** el documento final de tesis. **así** mismo le solicitamos tenga a bien extender el **correspondiente oficio** de autorización de impresión.

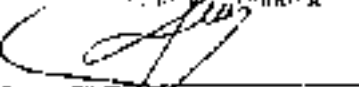
Atentamente
La Comisión de Revisión de Tesis




S. E. P.
CENTRO NACIONAL
DE INVESTIGACIÓN
Y DESARROLLO
TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA



M.C. Guillermo Cahde Díaz
Nombre y firma
Revisor



M. C. Pedro Saldaja Terán
Nombre y firma
Revisor



Dr. Jesus Arturo Perez Diaz
Nombre y firma
Revisor

cc p Subdirección Académica
Departamento de Servicios Escolares
Directores de tesis
Estudiante



ANEXO No. 12

M11

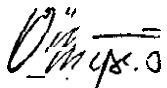
AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TESIS

Cuernavaca, Mor., a 18 de marzo del 20004

C. Ing. Efraín Zaleta Alejandro
Candidato al grado de Maestro en Ciencias
en Ingeniería Electrónica
Presente.

Después de haber atendido las indicaciones sugeridas por la Comisión Revisora de la Academia de Electrónica en relación a su trabajo de tesis cuyo título es: **“Esquema Eficiente de Administración de la Calidad de Servicio para el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales”**, me es grato comunicarle que conforme a los lineamientos establecidos para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en este centro se le concede la autorización para que proceda con la impresión de su tesis

Atentamente



C. Dr. Enrique Quiñero-Mármol Márquez
Jefe del Departamento de Electrónica

c.c.p. Subdirección Académica
Presidente de la Academia de Electrónica
Departamento de Servicios Escolares
Expediente



Dedicatoria

A Dios, porque vday misericordia me concedistey tu cuidado guardo de mi.

A mis padres: Vicente Zaleta Pérez y Juana Alejandro del Ángel, por hacerme una persona dé bien lo cualha servido para poder alcanzar mis metas.

A mis hermanos: Hortencia, Graciela, Vicente, Pedro David, Juan Gabriel, Esmeralda, Rubén y Javier Alberto, por todo el apoyo y cariño que siempre me han demostrado.



AGRADECIMIENTOS

Al **M.C. Carlos Felipe García Hernández**, por sus consejos y orientación durante la realización de este trabajo de investigación.

Al comité de revisión: **M.C. Guillermo Cahue Díaz**, **M.C. Pedro Sibaja Terán** y **Dr. Jesús Arturo Pérez Díaz**, por sus comentarios y sugerencias **que** contribuyeron a enriquecer este trabajo de investigación.

A mis **profesores del CENIDET**, por compartir sus conocimientos y experiencias que contribuyeron en la formación académica **que** recibí.

Al **personal del CENIDET**, por todo el apoyo recibido durante mi estancia en este centro de investigación.

A mis **amigos y compañeros de generación**: Arturo Sánchez, Braulio Márquez, Carlos Sanabria, Edson Estrada, Edwin Sulub, Efrén Flores, Gabriel Nava, Jaime Fernández, Janeth Alcalá, José Cruz, Luis Arceo, Mariano López, Mario Juárez, Mauricio Ángeles, Miguel Fonseca y Pablo Mendoza, por su amistad, su apoyo y momentos que pasamos juntos.

A mis **amigos**: Jesús Mina, Miguel Flores y Raúl Jiménez, por su amistad y apoyo durante mi estancia en Cuemavaca.

Al **CONACYT** y a la **SEP**, por ofrecerme el apoyo económico durante mis estudios de maestría.



CONTENIDO

Lista de figuras.....	v
Lista de tablas.....	vii

Introducción

Problemática	2
Motivación	2
Objetivo general	3
Objetivos particulares	3
Aportaciones	4
Organización de la tesis	4

Capítulo 1: Sistemas de tercera generación (3G)

Introducción.....	7
1.1 Evolución de los sistemas móviles.....	7
1.1.1 Sistemas de primera generación (1G)	8
1.1.2 Sistemas de segunda generación (2G).....	8
1.1.3 Sistemas de tercera generación (3G)	9
1.2 Sistemas de 3G	9
1.2.1 Proceso de estandarización	10
1.2.2 Asignación de frecuencias	11

1.2.3	Tecnologías de acceso de radio	13
1.3	El sistema UMTS	14
1.3.1	Fases de desarrollo de UMTS	14
1.3.2	Objetivos de servicio	15
1.3.3	Arquitectura y requerimientos	16
1.3.4	La interfaz aire UTRAN	17
1.3.5	Normalización de UMTS	18
1.3.6	Tecnología de acceso de radio para UMTS	19
1.3.7	Arquitectura de protocolos para la interfaz de radio	21
1.4	El sistema CDMA2000	23
1.5	El sistema UWC-136	24
1.6	Servicios y aplicaciones de los sistemas de 3G	25
1.7	Sumario.....	25

Capítulo 2: Esquemas de administración de la QoS

Introducción	27
2.1 Calidad de Servicio en UMTS	27
2.1.1 Arquitectura de servicios portadores	28
2.1.2 Clases de servicio en UMTS	29
2.1.2.1 Clase Conversacional	29
2.1.2.2 Clase Streaming (afluente)	29
2.1.2.3 Clase Interactiva	30
2.1.2.4 Clase Background (diferida)	30
2.1.3 Atributos de la QoS	31
2.1.4 Funciones de administración de la QoS	33
2.2 Nuevas características de IP para UMTS	34
2.2.1 Modelos de servicios	35
2.2.1.1 Modelo de servicios integrados	36
2.2.1.2 Modelo de servicios diferenciados	36
2.3 Esquemas de administración de la QoS	38
2.3.1 Administrador de recursos de radio	38
2.3.2 Algoritmo para la asignación de recursos de radio	39

2.3.3	IP para el modelado de administración de la QoS	41
2.3.4	El manipulador de paquetes	42
2.4	Sumario.....	43

Capítulo 3: Análisis y diseño del esquema RRM

Introducción	45
3.1 Esquema propuesto'.....	45
3.2 Estrategias consideradas	47
3.2.1 Controlador de admisión de conexión	48
3.2.2 Clasificador de tráfico	49
3.2.3 Planificador de recursos de radio	51
3.2.4 Despachador de tráfico	53
3.3 Modelo de radio propagación	54
3.4 Parámetros para evaluar la eficiencia	55
3.5 Eficiencia del RRM	56
3.6 Generador de paquetes	57
3.7 Diagrama de flujo	62
3.8 Sumario.....	63

Capítulo 4: Evaluación del esquema RRM

Introducción.....	65
4.1 Resultados de simulación	65
4.1.1 Resultados basados en el proyecto ARROWS	66
4.1.2 Impacto al variar el Factor de Spreading.....	70
4.1.3 Impacto al variar el umbral de admisión	71
4.1.4 Impacto al variar el porcentaje de separación entre η_{CR} y η_{CD}	72
4.1.5 Impacto al variar el tiempo entre despachos	73
4.1.5.1 Despachos cada 2 segundos	73
4.1.5.2 Despachos cada 4 segundos	74
4.1.6 Impacto al variar el nivel de los umbrales η_{CR} y η_{CD}	75

4.1.7	Impacto al variar el tamaño de los paquetes	76
4.1.7.1	Paquetes de 256 bytes	77
4.1.7.2	Paquetes de 1024 bytes	78
4.1.8	Parámetros para un mejor desempeño	79
4.2	Sumario	82

Capítulo 5: Conclusiones

Introducción	83
5.1 Conclusiones	83
5.2 Trabajos futuros	86

Lista de acrónimos	87
Referencias	93
Anexo	99

Lista de figuras

1-1 Evolución de los sistemas móviles	10
1-2 Organismos de estandarización de los sistemas de 3G	11
1-3 Asignación del espectro para las comunicaciones móviles de 3G	12
1-4 Evolución hacia el sistema UMTS	15
1-5 Escenarios para UMTS	16
1-6 Arquitectura básica UMTS	17
1-7 Modelo de la arquitectura UMTS	17
1-8 Calendario de normalización para UMTS	18
1-9 Modos de operación de la interfaz de radio UMTS	20
1-10 Arquitectura de protocolos para la interfaz de radio UMTS	21
2-1 Arquitectura de calidad de servicio para UMTS	28
2-2 Funciones de administración de la QoS en el plano de usuario	34
2-3 Administrador de Recursos de Radio (RRM).....	39
2-4 Algoritmo de RRA en la BS	40
2-5 El concepto del modelo planificador en QoS IP	41
2-6 Estructura interna de la compuerta en una red de paquetes	42
2-7 El manipulador de paquetes	43
3-1 Administrador de Recursos de Radio (RRM)	46
3-2 Byte correspondiente al campo TOS	49
3-3 Representación de la eficiencia del RRM	57
3-4 Ventana “Select Adapter” para la selección del adaptador de red	58
3-5 Ventana “Protocol Packet Analyst” para la captura de paquetes	59
3-6 Ventana “Packet Generator” para editar y enviar paquetes a la red	59
3-7 Ventana “Data Frame Editor” para cambiar parámetros en los paquetes	60
3-8 Ventana “Network Analyst Options” para filtrar paquetes	60
3-9 Ventana “Packet Generator Option” para configurar la velocidad de envío	61
3-10 Estructura de un paquete IP	61
3-11 Diagrama de flujo que muestra de forma general el programa desarrollado	63
4-1 Estrategia de control de la congestión (parámetros presentados en la tabla 4-1)	67
4-2 Estrategia de control de admisión (parámetros presentados en la tabla 4-1)	68
4-3 Usuarios admitidos por clase de servicio (parámetros presentados en la tabla 4-1).....	68

4-4	Carga del servicio background (parámetros presentados en la tabla 4-1)	69
4-5	Carga del servicio interactivo (parámetros presentados en la tabla 4-1)	69
4-6	Carga del servicio streaming (parámetros presentados en la tabla 4-1).....	70
4-7	Carga del servicio conversacional (parámetros presentados en la tabla 4-1)	70
4-8	Estrategia de control de la congestión ($SF_i = 128$ y $\eta_{max} = 0.6$).....	71
4-9	Estrategia de control de admisión ($SF_i = 128$ y $\eta_{max} = 0.6$).....	71
4-10	Estrategia de control de la congestión ($\eta_{max} = 0.95$).....	72
4-11	Estrategia de control de admisión ($\eta_{max} = 0.95$).....	72
4-12	Estrategia de control de la congestión (20% de separación entre η_{CR} y η_{CD}).....	73
4-13	Estrategia de control de admisión (20% de separación entre η_{CR} y η_{CD})	73
4-14	Estrategia de control de la congestión (despachos cada 2 segundos).....	74
4-15	Estrategia de control de admisión (despachos cada 2 segundos).....	74
4-16	Estrategia de control de la congestión (despachos cada 4 segundos).....	75
4-17	Estrategia de control de admisión (despachos cada 4 segundos).....	75
4-18	Estrategia de control de la congestión (η_{CR} al 20% y η_{CD} al 30%).....	76
4-19	Estrategia de control de admisión (η_{CR} al 20% y η_{CD} al 30%).....	76
4-20	Estrategia de control de la congestión (paquetes de 256 bytes).....	77
4-21	Estrategia de control de admisión (paquetes de 256 bytes).....	77
4-22	Estrategia de control de la congestión (paquetes de 1024 bytes).....	78
4-23	Estrategia de control de admisión (paquetes de 1024 bytes).....	78
4-24	Estrategia de control de la congestión (parámetros presentados en la tabla 4-2)	80
4-25	Estrategia de control de admisión (parámetros presentados en la tabla 4-2).....	80
4-26	Usuarios admitidos por clase de servicio (parámetros presentados en la tabla 4-2).....	80
4-27	Carga del servicio background (parámetros presentados en la tabla 4-2)	81
4-28	Carga del servicio interactivo (parámetros presentados en la tabla 4-2)	81
4-29	Carga del servicio streaming (parámetros presentados en la tabla 4-2).....	81
4-30	Carga del servicio conversacional (parámetros presentados en la tabla 4-2)	81

Lista de tablas

1-1	Objetivos de servicios en UMTS	15
1-2	Serie de especificaciones e informes UMTS/3GPP	19
2-1	Clases de servicio para UMTS	31
2-2	Atributos de la QoS del servicio RAB	32
2-3	Márgenes para los atributos de la QoS del servicio RAB	32
2-4	Funciones de administración de la QoS	33
2-5	Mapeo entre clases de servicio UMTS y PHB	37
3-1	Valores y características del campo TOS	50
3-2	Paquetes para las tasas de transmisión consideradas	51
3-3	Parámetros por clase de servicio	56
3-4	Parámetros por escenario	56
4-1	Parámetros base considerados	66
4-2	Parámetros para un mejor desempeño	79

Introducción

Las tecnologías inalámbricas han tenido mucho auge y desarrollo en estos últimos años. Una con gran desarrollo ha sido la telefonía celular, que desde sus inicios a finales de los 70s ha evolucionado enormemente. Los teléfonos celulares se han convertido en una herramienta primordial para la gente común y de negocios, las hace sentir más seguras y son más productivas.

A pesar de que la telefonía celular fue concebida para la voz únicamente, debido a las limitaciones tecnológicas de la época, la tecnología celular de hoy en día es capaz de brindar otro tipo de servicios, tales como: datos, audio y video aunque con algunas limitaciones, sin embargo se espera que en la telefonía inalámbrica del mañana sean posibles todas estas aplicaciones, las cuales requerirán un mayor consumo de ancho banda. Para ello, es importante que la tecnología tome en cuenta factores tales como: los índices de reutilización de frecuencias, los servicios que se pretenden ofrecer, costos y Calidad de Servicio (QoS).

En este sentido y con estas necesidades, nacen los sistemas de Tercera Generación (3G) con la idea de conjuntar un ámbito global de comunicaciones móviles y la oferta de una amplia gama de servicios de telecomunicaciones, cubriendo desde los más básicos (por ejemplo, voz o mensajes cortos) hasta los más avanzados como es el caso de los servicios multimedia (por ejemplo, videoconferencia).

Entre los factores que condicionan la aparición de la nueva generación de sistemas de comunicaciones móviles se encuentra el incremento de tráfico, motivado en parte por el éxito de

los sistemas celulares de Segunda Generación (2G) y la pretensión de ofrecer nuevos servicios a los usuarios. Por consiguiente no sólo surgen servicios que requieren mayores velocidades, sino que necesitan en muchos casos un control diferenciado de la QoS ofrecida por la red. Uno de los grandes alicientes para la introducción de este tipo de sistemas es, por ejemplo, el acceso móvil a internet, que se ve muy limitado en el caso de los sistemas móviles actuales.

Problemática

Si bien los sistemas celulares de 2G son capaces de ofrecer acceso a Internet, lo hacen en modo circuito, lo que presenta enormes limitaciones no sólo en términos de la velocidad de transmisión empleada, sino también de la eficiencia en el uso de los recursos, este tipo de aplicaciones se caracterizan por generar la información mediante ráfagas, con lo que durante buena parte del tiempo el circuito no es utilizado. Estas limitaciones redundan por un lado en una reducida capacidad para ofrecer este tipo de servicios y por el otro en un precio de conexión para los usuarios mucho más elevado del que se puede llegar a ofrecer en una red fija.

En consecuencia, es deseable el diseño de nuevos sistemas que sean capaces de hacer frente a estas limitaciones con un uso más efectivo de los recursos, capaces de adaptarse a las nuevas características del tráfico mediante técnicas de transmisión orientadas a paquetes, constituyendo éste uno de los retos al que los sistemas de 3G deberán hacer frente.

Por otra parte, la integración de todos los servicios dentro del marco de una red móvil, plantea también una serie de retos en los sistemas de 3G, pues se deben gestionar los escasos recursos radioeléctricos adecuadamente, para poder ofrecer dichos servicios bajo parámetros de QoS similares a los de la red fija, pero considerando las peculiaridades de la transmisión por radio en entornos móviles.

Por último, el interés en lograr un sistema de comunicaciones móviles verdaderamente global, que permita una movilidad universal con operación entre redes pertenecientes a países diferentes.

Motivación

Las nuevas redes de comunicaciones de banda ancha deben ser capaces de ofrecer todo tipo de servicios multimedia. Uno de los requisitos más importantes necesarios para poder ofrecer este

tipo de servicios, es que la red pueda garantizar en el momento de establecer una conexión, unos ciertos parámetros de QoS que deben mantenerse durante el tiempo que dure dicha conexión. En las redes de topología compleja, como son las de comunicaciones móviles, compuestas de múltiples conmutadores y enlaces, puede resultar difícil evaluar los parámetros de calidad del tráfico para poder garantizar, por ejemplo: valores bajos de retardo, de variaciones de retardo y de pérdidas de paquetes.

En particular, la gestión o administración de los recursos de radio, es una faceta de especial relevancia en el diseño de los sistemas de comunicaciones móviles de 3G. En este sentido, surge la necesidad de diseñar, estudiar y analizar las distintas disciplinas de servicio que debe tener cada estación base de la red, de cara a ser capaz de garantizar que una comunicación pueda cumplir los criterios de calidad de servicio establecidos.

Este aspecto será esencial a su vez, para poder diseñar correctamente políticas o estrategias de control de admisión y control de congestión en la red, lo que permitirá que la eficiencia general del sistema se mantenga en valores aceptablemente altos. Estas estrategias es lo que llamaremos genéricamente algoritmos de gestión de los recursos (algoritmos de “scheduling” o planificador). Al mismo tiempo, los nuevos sistemas de comunicación sustentan necesidades añadidas que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar estos algoritmos, en primer lugar, los recursos disponibles deben repartirse de la manera más equitativa posible entre las conexiones que transmiten información. Es decir, que para grados de prioridad iguales (que vendrán definidos por los parámetros que se negocien en el momento del establecimiento de la conexión), todas las conexiones deben recibir el mismo grado de QoS.

Objetivo general

Este trabajo de investigación tiene como objetivo general, el desarrollo de un esquema eficiente de administración de la Calidad de Servicio para el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales.

Objetivos particulares

Para lograr el objetivo general se deben cumplir un conjunto de objetivos parciales:

- Estudio del sistema UMTS de acuerdo al UMTS Forum.
- Revisión de la estandarización y tecnologías internacionales encaminadas hacia UMTS.
- Revisión del estado del arte sobre sistemas de administración de la QoS.
- Análisis de la eficiencia de la administración de la QoS y comparación entre esquemas propuestos.
- Proponer un esquema para lograr un mejor desempeño en la administración de la QoS del sistema UMTS.

Aportaciones

La primera aportación de este trabajo, consiste en una profunda investigación sobre el entorno actual de las comunicaciones inalámbricas en el mundo y en particular el sistema UMTS.

La segunda y principal aportación de este trabajo, se refiere al desarrollo de un esquema Administrador de Recursos de Radio (RRM), como esquema de administración de la QoS para el sistema UMTS, considerando la asignación de los recursos de radio la parte más importante para garantizar QoS.

Organización de la tesis

La tesis esta compuesta de 5 capítulos y su contenido es el siguiente:

Capítulo 1: **Sistemas de tercera generación (3G)**, ofrece los aspectos más importantes de los sistemas de 3G, dando una mayor profundidad a los conceptos y características del sistema UMTS.

Capítulo 2: **Esquemas de Administración de la QoS**, plantea los criterios considerados para la QoS en UMTS, además se presentan y analizan diferentes esquemas de administración de la QoS encontrados en el estado del arte.

Capítulo 3: **Análisis y diseño del esquema RRM**, describe el análisis y criterios de diseño realizados al esquema RRM propuesto para la administración de la QoS, así como las estrategias, los parámetros y los fundamentos considerados en la implementación.

Capítulo **4: Evaluación del esquema RRM**, muestra los resultados obtenidos mediante la simulación en MATLAB versión 6.0 del esquema desarrollado, apareciendo estos resultados gráficamente para su mejor comprensión.

Capítulo **5: Conclusiones**, se resumen los aspectos más importantes entorno al trabajo desarrollado, con una serie de recomendaciones y sugerencias para trabajos futuros relacionados con el tema.

Capítulo 1

Sistemas de tercera generación (3G)

Introducción

En este capítulo se presenta una visión general de los principales conceptos y características de los sistemas de 3G, los cuales han servido como base para el desarrollo de este trabajo de tesis. Primeramente en el apartado 1.1 se detalla la evolución que han tenido los sistemas móviles a través de los años y hasta nuestros días. En el apartado 1.2 se menciona todo lo relacionado a la estandarización de los sistemas de 3G: proceso de estandarización, asignación de frecuencias y tecnologías de acceso de radio. El apartado 1.3 se centra en el sistema UMTS como parte fundamental de estudio realizado en esta tesis: fases de desarrollo, objetivos de servicio, arquitectura y requerimientos, la interfaz aire **UTRAN**, normalización, tecnologías de acceso de radio y arquitectura de protocolos. Posteriormente en el punto 1.4 se mencionan las características del sistema CDMA2000 como estándar de 3G. El apartado 1.5 se presentan las principales características del sistema UWC-136. El apartado 1.6 se refiere a la gran gama de servicios y aplicaciones **que** paulatinamente serán proporcionados en los sistemas de 3G. Por último, en el apartado 1.7 se proporciona un resumen de las principales implicaciones y conceptos considerados en este capítulo.

1.1 Evolución de los sistemas móviles

En la evolución de los sistemas de comunicaciones móviles y en particular la telefonía celular, se consideran tres generaciones cuyas características más relevantes se resumen a continuación [1].

1.1.1 Sistemas de primera generación (1G)

Los sistemas de 1G hacen su aparición en el año 1979, se caracterizan por ser analógicos y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, así como su velocidad (2400 baudios), la transferencia entre células era muy imprecisa, tenían baja capacidad utilizando la tecnología de Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA) y la seguridad no existía. Dentro de esta generación los sistemas más representativos son: Telefonía Móvil Nórdica (NMT), Servicio Avanzado de Telefonía Móvil (AMPS), Sistema de Comunicación de Acceso Total (TACS) y sus variantes. El sistema más predominante de esta generación fue AMPS.

1.1.2 Sistemas de segunda generación (2G)

Los sistemas de 2G aparecieron hasta 1990 y a diferencia de la anterior se caracterizan por el empleo de transmisión digital en la interfaz de radio, además de ser concebida tanto para voz como para datos. Estos sistemas de telefonía celular son usados en la actualidad y muchos de ellos están sirviendo de base o evolucionando hacia los sistemas de 3G.

Los sistemas predominantes son: Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) en sus tres frecuencias: 900, 1800 y 1900 MHz, IS-136 (conocido también como TIA/EIA-136 ó ANSI-136), D-AMPS (sucesor digital de *AMPS*) y Celular Digital Personal (PDC).

Los sistemas de 2G utilizan protocolos de codificación más sofisticados, soportan velocidades de información más altas para voz, pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como: datos en modo circuito, fax y Servicio de Mensajes Cortos (SMS). La mayoría de los protocolos de 2G ofrecen diferentes niveles de seguridad por medio de encriptación y utilizan la tecnología de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).

A pesar del gran éxito de los sistemas de 2G, estos presentan algunas limitaciones importantes, específicamente en lo relacionado a la comunicación de datos (por ejemplo GSM ofrece servicios de datos en modo circuito hasta de 9600 bps). En este sentido con el objeto de ofrecer mayores velocidades, se han definido varias extensiones a los sistemas de 2G, dando lugar a lo que se conoce como sistemas de generación 2.5 (2.5G). Entre dichas extensiones se encuentran: Datos por Conmutación de Circuitos de Alta Velocidad (HSCSD), Servicio General de Radio por Paquetes (GPRS) y Tasas Mejoradas de Datos para la Evolución de GSM (EDGE). Todos estos sistemas se plantean como una extensión de los sistemas de 2G, donde el cambio fundamental se

presenta como un incremento de las velocidades de transmisión, para el tráfico de información de datos por medio de conmutación de paquetes.

1.1.3 Sistemas de tercera generación (3G)

Los sistemas de 3G se caracterizan por la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a internet, aplicaciones multimedia (audio, vídeo y datos) y altas transmisiones de datos. Estos servicios requieren una demanda de ancho de banda mucho mayor, por lo que es necesario un salto tecnológico importante, cuyo punto de partida es el empleo de una interfaz de radio de mayor capacidad. La principal finalidad en este nuevo sistema de comunicaciones se puede resumir en tres aspectos: el aumento en las tasas de transmisión tanto para voz como datos, la posibilidad de soportar una gran cantidad de aplicaciones y finalmente la convergencia mundial, en la cual pueda lograrse una armonía entre estándares, tecnologías y sistemas [2].

Se espera que los sistemas 3G empiecen a operar primeramente en Japón, posteriormente en Europa y parte de Asia, terminando en Estados Unidos y otros países. Los sistemas 3G alcanzarán velocidades en la transmisión de información hasta 384 Kbps, permitiendo una movilidad total a usuarios viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores y una velocidad máxima de 2 Mbps, permitiendo una movilidad limitada a usuarios caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o interiores. Entre los sistemas contendientes de 3G se encuentran: por el lado europeo el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales (UMTS) mientras que por el lado norteamericano el sistema CDMA2000 y el sistema de Comunicaciones Inalámbricas Universales-136 (UWC-136). La figura 1-1 muestra genéricamente los sistemas más representativos en esta evolución.

1.2 Sistemas de 3G

Actualmente la mayoría de los sistemas y estándares de 2G y 2.5G están evolucionando hacia la 3G, pero como se dijo los que se contemplan como principales contendientes para ser elegidos son: UMTS, CDMA2000 y UWC-136. En este sentido, aún *se* sigue discutiendo cual de estos sistemas será el indicado para englobar a las comunicaciones móviles de 3G, pero el que mayor auge y popularidad ha tenido hasta estos momentos y que en mucho se debe al éxito de su antecesor GSM/GPRS es el UMTS.

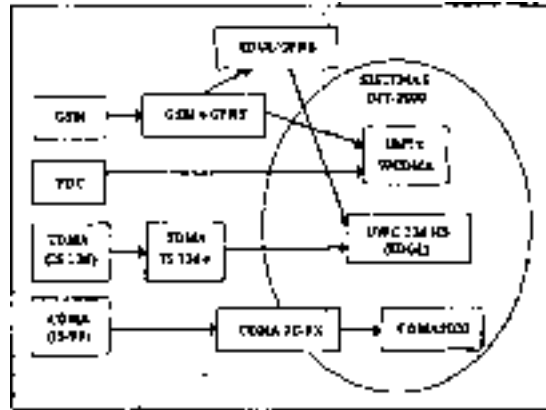


Figura 1-1 Evolución de los sistemas mvviles.

1.2.1 Proceso de estandarización

En un principio, el organismo encargado de la estandarización de los sistemas de 3G fue llamado Sistema de Telecomunicaciones Móviles Terrestres Públicos del Futuro (FPLMTS). Posteriormente el nombre fue cambiado a Telecomunicaciones Móviles internacionales-2000 (IMT-2000) [3]. Aquí se describen fundamentalmente los cambios que han tenido el desarrollo de estándares de telecomunicaciones inalámbricas y los rastros que ha dejado a su paso esta evolución. El desarrollo de las recomendaciones, especificaciones técnicas y estándares de las interfaces aéreas de la siguiente generación de los sistemas inalámbricos comerciales es usado como un ejemplo de este cambio. Así pues, la siguiente generación inalámbrica en la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) es conocida como IMT-2000 y también referida como la tercera generación inalámbrica (3G). En [4] se encuentra más información detalla relacionada al desarrollo de estándares.

Actualmente la ITU Sector Radiocomunicaciones (ITU-R) se basa en organizaciones de desarrollo de estándares nacionales, regionales e internacionales, en la construcción de consensos, proyectos en sociedad y proponentes de tecnologías, por lo que la ITU-R define los estándares y especificaciones de la interfaz de radio, que actualmente corresponde a la recomendación ITU-R M.1457 del grupo de trabajo 8F. Estos sistemas deben avanzar a una tecnología base ofreciendo soluciones comunes en los niveles de aplicación.

El organismo que desarrolla las especificaciones para los sistemas de 3G, basados en la interfaz aérea conocida como Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRA), es denominado Proyecto de

Sociedad para Tercera Generación (3GPP) [5], creado en Diciembre de 1998. Mientras que el 3GPP2 representa lo mismo en la parte de Norteamérica. En la figura 1-2 se muestran los principales organismos de estandarización con las tecnologías utilizadas en la interfaz aérea.

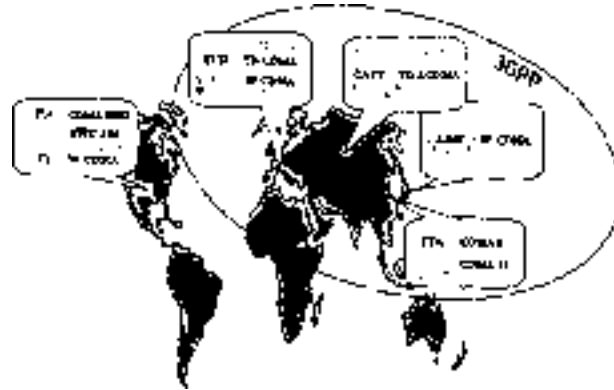


Figura 1-2 Organismos de estandarización de los sistemas de 3G [3].

Los organismos pertenecientes al 3GPP situados en su mayoría en el continente europeo y asiático, representan el área en donde el sistema UMTS tiene gran presencia. En este sentido los principales miembros pertenecientes al 3GPP son: el instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI), la Academia China para Tecnología de Telecomunicaciones (CATT), la Asociación de industrias de Radio y de Negocios (ARIB) y la Asociación de Tecnología de las Telecomunicaciones (TTA). Con respecto al 3GPP2 se tiene: la Asociación industrial de Telecomunicaciones (TIA) y el Comité de Normalización norteamericano (T1) con la extensión T1.P1 encargada de las redes sin hilos y móviles.

1.2.2 Asignación de frecuencias

El concepto de cobertura mundial en los sistemas de 3G no puede ser entendido sin la existencia de una banda de frecuencias de radio común a nivel mundial. Para ello, en la Conferencia Mundial realizada en 1992 se dispuso de 230 MHz en la banda de los 2 GHz (1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz) para uso mundial en la interfaz aire de IMT-2000, incluyendo tanto la componente terrestre como los Servicios Móviles por Satélite (MSS). Si bien esta banda es común tanto para Europa como para los países asiáticos de China y Japón, *no ocurre* lo mismo en Estados Unidos, donde esta banda ya estaba asignada a los operadores de 2G, sin disponer hasta el momento de más espectro para los sistemas de 3G, por lo que la solución planteada hasta el

La futura demanda de servicios de IMT-2000 considera una extensión de frecuencias para los sistemas de 3G, por esta razón en la conferencia mundial celebrada en Estambul en el año 2000 se definieron tres nuevas bandas de frecuencias.

- 806-960MHz en la banda de 1 GHz.
- 1710-1885 MHz en la banda de 1.7 GHz. Frecuencias en las que funcionan actualmente los sistemas de 2G, considerando la posible migración de estos sistemas a los de 3G.
- 2500-2690 MHz en la banda de 2.5 GHz. Estas frecuencias completan la gama ya asignada en la banda de 2 GHz identificada para IMT-2000.

1.2.3 Tecnologías de acceso de radio

Otro aspecto de crucial importancia en armonizar para el desarrollo de los sistemas de 3G, fue la decisión sobre la tecnología de acceso de radio más apropiada a ser utilizada. Dentro de este escenario, el ETSI bajo el marco de IMT-2000 definió en junio de 1997 cuatro grupos para el estudio de las propuestas planteadas hasta la fecha [7].

- CDMA de Banda Ancha (WCDMA): Está basada en la técnica de Acceso Múltiple por División de Código (CDMA), con espacio de 5 MHz entre canales e inicialmente con duplexado en FDD y TDD. Como principales ventajas presenta una interfaz de gran flexibilidad en la capa física, para alojar diferentes servicios con diferentes velocidades.
- TDMA de Banda Ancha (WTDMA): Planteada con un esquema puramente de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA), con portadoras espaciadas cada 1.6MHz, para poder ofrecer servicios de alta velocidad y el empleo de salto de frecuencia, en los modos FDD y TDD mediante fraccionamiento de la carga para una mejor calidad de transmisión. El principal inconveniente de esta propuesta es la menor longitud de la ráfaga en el caso de baja velocidad, pues se podía traducir en una muy elevada potencia pico o de lo contrario en una muy baja potencia media, lo que planteaba problemas de cobertura en servicios básicos como por ejemplo la voz.
- TDMNCDMA de Banda Ancha: Basada en un técnica híbrida TDMNCDMA con espacio entre portadoras de 1.6 MHz, haciendo uso de técnicas de reducción de la interferencia a través de la detección multiusuario entre ráfagas transmitidas simultáneamente en una misma ranura temporal y aceptando duplexado FDD y TDD. El inconveniente de esta tecnología de acceso radica en la complejidad asociada al receptor.

- OFDMA: Se basa en la técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA), que consiste en distribuir la información en diferentes portadoras ortogonales. El principal problema de esta propuesta se encuentra en el enlace ascendente, con variaciones muy grandes de envolvente que dan lugar a problemas en el diseño de los amplificadores de potencia.

Tras un proceso de evaluación de las diferentes propuestas, el ETSI decidió en Enero de 1998 seleccionar WCDMA como estándar para el modo de operación FDD y WTDMA/CDMA para el modo TDD, en las frecuencias ya mencionadas.

1.3 El sistema UMTS

Sin duda UMTS se presenta hoy en día como el principal sistema de 3G, gracias a la gran aceptación que éste ha tenido en toda Europa, Asia y parte de América. UMTS tendrá un papel protagonista en el mercado de las comunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad, con lo cual se busca extender las actuales tecnologías móviles, inalámbricas y satelitales, proporcionando mayor capacidad, transmisión de datos y una gama de servicios mucho más extensa. En un principio todo el tráfico será de voz, por lo tanto al comienzo no todas las calidades de servicio estarán implementadas. En la figura 1-4 se muestra la evolución hacia el sistema UMTS.

1.3.1 Fases de desarrollo de UMTS

La evolución de UMTS se dará paulatinamente y el máximo despliegue de las aplicaciones se alcanzará a través de los siguientes pasos [1]:

- Fase de extensión de la capacidad GSM mediante transmisión de datos de alta velocidad y de paquetes (los sistemas de la generación 2.5 se presentan como una realidad).
- Fase de prueba preliminar de UMTS ya sea en subconjuntos de redes GSM reales o en redes basadas en paquetes de datos aislados.
- Fase de despliegue básico a partir del año 2002, incluyendo la incorporación de estaciones base UTRA a redes activas y el lanzamiento de servicios UMTS basados en satélites.
- Fase completa (entre 2002 y 2005), con mejoras en cuanto a desempeño y capacidad, así como la introducción de nuevos y sofisticados servicios UMTS.

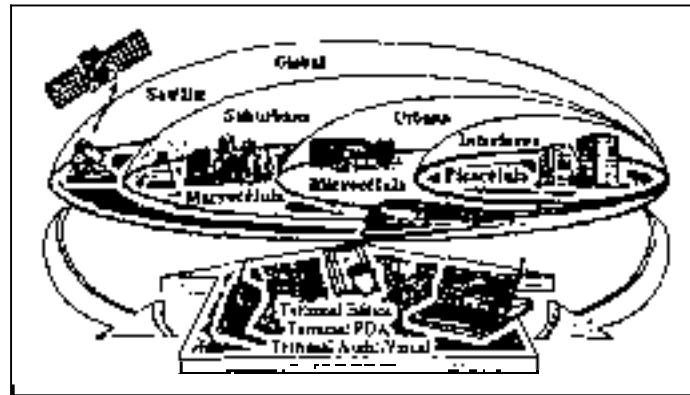


Figura 1-5 Escenarios para UMTS [1].

Estos escenarios cubren células de distintos tamaños [9] (macrocélulas, microcélulas y picocélulas, además de la cobertura vía satélite). Las macrocélulas son células grandes (en [10] se indica que el radio mínimo es de 1 Km), asociadas a entornos exteriores con velocidades altas de los móviles. Las microcélulas tienen una distancia de cobertura de unos 200 a 400 m (en [9] se indica que pueden alcanzar hasta 1 Km) y su ámbito de aplicación son los entornos urbanos. Las picocélulas se asocian a entornos interiores con alta demanda de tráfico, tienen un radio pequeño (en [9] se indica que es entre 70 a 80 m y en [10] se establece un máximo de 100m). Es en estas picocélulas en las que se puede alcanzar la tasa de bit de 2048 Kbps. En general se propone el despliegue de la red siguiendo una estructura celular jerárquica, con las células de menor tamaño dando servicios a las zonas de mayor demanda de tráfico.

1.3.3 Arquitectura y requerimientos

La arquitectura UMTS se presenta como uno de los cambios más significativos en la evolución hacia las nuevas redes de comunicaciones. El modelo simplificado de la arquitectura del sistema UMTS [11] se muestra en la figura 1-6, la cual está compuesta de tres componentes principales: las estaciones móviles o Equipos de Usuario (UEs), la Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRAN) y la red central o Núcleo de Red (CN).

El UE es el elemento que le permite al usuario acceder a los servicios que proporciona la red, a través de la interfaz de radio Uu basada en WCDMA. En [12, 13] se encuentra toda la información y Características referentes a los UE. La red de acceso de radio [14] es la encargada de transportar la información (tráfico de voz y datos) hasta el CN por la interfaz Iu, ya en el

núcleo de red, se encuentran los recursos de conmutación y transmisión que son necesarios para completar el trayecto de la comunicación con otro usuario, que puede pertenecer a la misma red UMTS o a una red externa (por ejemplo la Red Telefónica Conmutada (RTC), Internet, etc.).

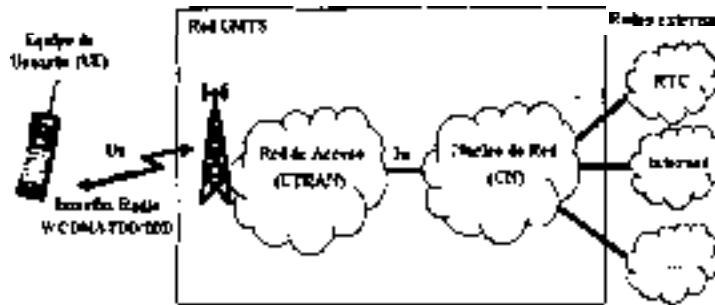


Figura 1-6 Arquitectura básica UMTS.

1.3.4 La interfaz aire UTRAN

En la figura 1-7 se muestra de forma más completa todos los componentes de la arquitectura UMTS [14]. La red de acceso UTRAN consta de uno o más Subsistemas de Red de Radio (RNSs), cada RNS tiene como función servir a un conjunto de células gestionando los recursos asociados a ellas. Un RNS está conformado de uno o vanos Nodos B, cada uno de ellos responsable de la comunicación vía radio con los UEs de una o vanas células y un Controlador de Red de Radio (RNC), responsable de gestionar los recursos de los Nodos B que de él dependen.

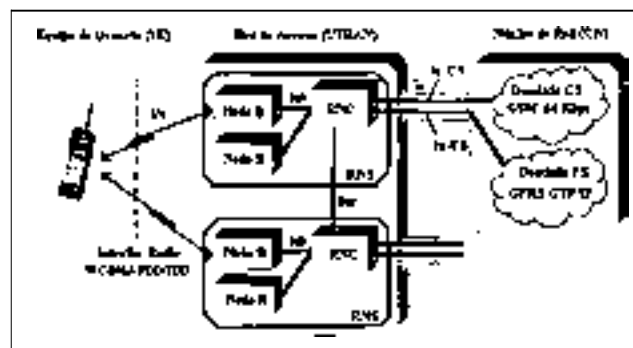


Figura 1-7 Modelo de la arquitectura UMTS.

Se definen dos tipos de interfaces internas en el RNS, éstas son: la interfaz Iub entre cada Nodo B y el RNC que lo controla, como también la interfaz Iur entre los RNCs. La interfaz Iub se encarga

de transportar la información (tramas de radio) en ambos sentidos y se puede considerar como una interfaz destinada a prolongar desde el Nodo B hasta el RNC los canales de transporte de radio. Por su parte la interfaz Iur (sin equivalente en las redes GSM), permite la comunicación directa entre los RNCs para el soporte de trasposos suaves (“soft-handovers”) como característica propia de las redes UMTS. La arquitectura posee además dos interfaces externas: la interfaz Uu basada como ya se comentó en WCDMA y la interfaz Iu para la comunicación entre la red de acceso y el CN. La interfaz Iu se divide en dos interfaces lógicas [15] que pueden o no compartir el mismo medio físico, éstas son: Iu-CS para soportar el dominio de conmutación de circuitos e Iu-PS para el dominio de conmutación de paquetes. Con respecto al núcleo de red, en [11] se encuentran todas las características de las que no se hacen mención en este trabajo, por no ser de importancia en el desarrollo del mismo.

1.3.5 Normalización de UMTS

La normalización del sistema UMTS se lleva a cabo dentro del foro 3GPP. La tarea del 3GPP consiste en la elaboración de las especificaciones técnicas de UMTS, con el propósito de que posteriormente cada organismo de normalización afiliado, pueda trasponerlas en los estándares correspondientes. En el caso de Europa, el organismo encargado de esta tarea es ETSI.

La normalización de UMTS está planteada en fases denominadas (“Releases”), hasta la fecha se han especificado completamente tres: Release 99 (R99), Release 4 (R4) y Release 5 (R5). El conjunto de especificaciones que componen un Release definen de manera completa el sistema UMTS para cada una de las fases. En la figura 1-8 se muestra el calendario de normalización. Las fechas indicadas corresponden a la congelación, que no indican que el estándar está completo, sino el momento a partir del cual no pueden añadirse nuevas funcionalidades. De hecho hasta el día de hoy siguen siendo completadas, incluso el Release 99 mediante nuevas versiones.

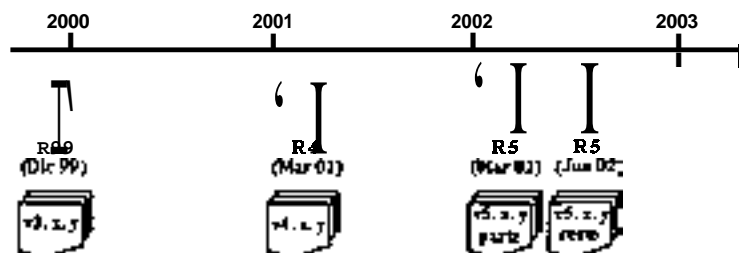


Figura 1-8 Calendario de normalización para UMTS.

Las especificaciones e informes así como los borradores y documentos de trabajo están disponibles públicamente en [5]. Las especificaciones así como los informes se organizan en quince series como se muestra en la tabla 1-2.

En las especificaciones [16-18] se pueden encontrar una lista de las especificaciones que conforman los Release 99, 4 y 5 respectivamente; así como también información detallada acerca de los Releases existentes o en fase de especificación y sobre la numeración. El proceso de generación de especificaciones UMTS está en [19]. Actualmente ya está en proceso el Release 6.

Tabla 1-2 Series de especificaciones e informes UMTS/3GPP [5].

Series	Aspectos de especificación
21.xxx	Requisitos
22.xxx	Aspectos de servicio
23.xxx	Realización técnica
24.xxx	Señalización (Equipo de Usuario-Núcleo de Red)
25.xxx	Aspectos de acceso de radio
26.xxx	Decodificadores
27.xxx	Aplicaciones de datos
28.xxx	Señalización (Subsistema de Radio-Núcleo de Red)
29.xxx	Señalización del núcleo de red
30.xxx	Gestión del proyecto
31.xxx	SIM/UIM (Subscriber/User Identity Module)
32.xxx	Tarifación y OAM&P
33.xxx	Aspectos de seguridad
34.xxx	Especificaciones de pruebas
35.xxx	Algoritmos de seguridad

1.3.6 Tecnología de acceso de radio para UMTS

El acceso de radio utilizado en UMTS, está basado en la tecnología WCDMA a una tasa de operación de 3.84 Mchip/s empleando portadoras de 5 MHz de anchura espectral. En esta tecnología están contemplados dos modos de operación como se muestra en la figura 1-9.

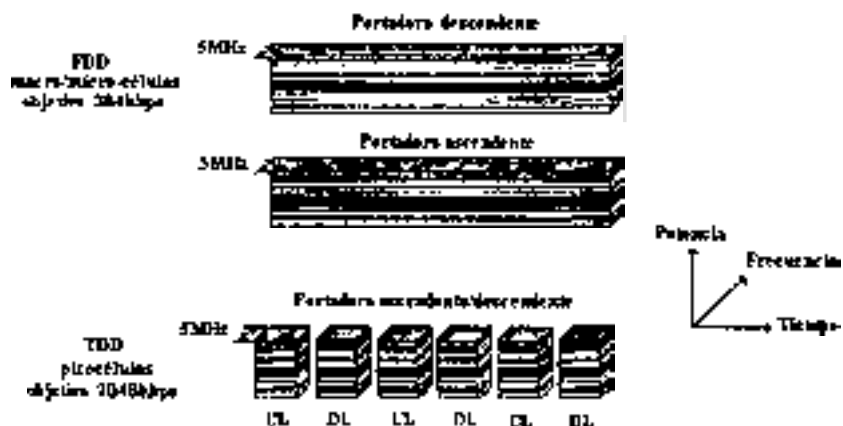


Figura 1-9 Modos de operación de la interfaz de radio UMTS.

- Modo de operación FDD: El modo FDD está basado en el empleo de diferentes portadoras para el enlace ascendente y descendente. Cada portadora es capaz de soportar múltiples canales mediante el empleo de diferentes códigos CDMA. Más específicamente, la técnica de multiplexación de código que utiliza es DS-SS-SS (SS de Secuencia Directa).
- Modo de operación TDD: En el modo TDD los enlaces ascendente y descendente comparten una única portadora de 5 MHz mediante división de tiempo. La técnica de acceso utilizada en este caso es una combinación de TDMA y DS-SS-SS. Además el modo TDD, contempla la posibilidad de asignar una mayor porción de ranuras temporales en un sentido que en el otro (típicamente en el descendente), permitiendo una mejor adaptación ante situaciones de tráfico asimétrico. En general, este modo de operación resulta adecuado para enlaces reducidos (picocélulas).

El empleo de Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) en UMTS, en el que las estaciones emiten simultáneamente utilizando la misma frecuencia portadora, lleva asociada la aparición de nuevos tipos de traspaso, principalmente para evitar escenarios en que las emisiones de unas estaciones, pueden impedir la correcta recepción de las de otras (definidos en ocasiones como escenarios cerca-lejos). Estos nuevos traspasos se denominan traspasos suaves ("soft-handovers") y consisten en permitir que el móvil pueda transmitir y recibir simultáneamente, información de varias estaciones base mientras se encuentra en una zona intermedia entre ellas, lo que asociado a técnicas de combinación y selección de tramas, permite disminuir la interferencia global en la interfaz aire. Dependiendo del Nodo B y el controlador RNC del que dependan cada una de las estaciones base con las que el móvil se está comunicando, una situación de traspaso

suave puede provocar la replicación del flujo de información en alguna de las interfaces terrestres de la red de acceso. Para más información sobre este tipo de trasposos consultar [20].

1.3.7 Arquitectura de protocolos para la interfaz de radio

La arquitectura de protocolos se describe en [21] y se observa en la figura 1-10. La arquitectura de protocolos se dividen en tres niveles: nivel 1 (físico), nivel 2 (de enlace) y 3 (de red), aunque el plano de usuario se considera hasta el nivel 2. El servicio que ofrece el nivel 2 de los protocolos de radio para el transporte de información es llamado Portador de Radio (RB), tanto en el plano de control (señalización) como en el plano de usuario.

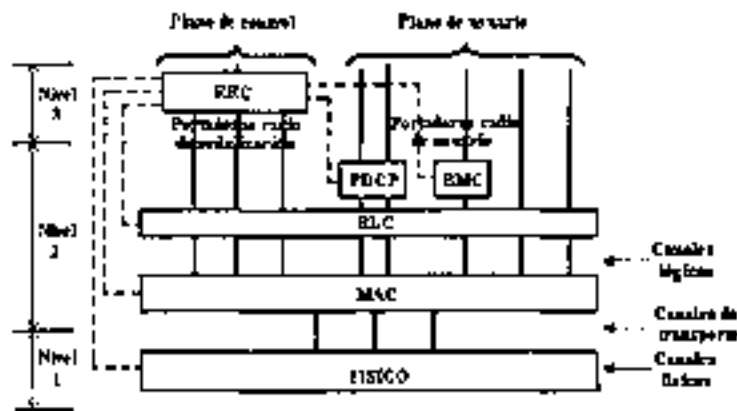


Figura 1-10 Arquitectura de protocolos para la interfaz de radio UMTS [21].

A continuación se describen las características y funciones principales que son llevadas a cabo por cada uno de los protocolos de la arquitectura de la interfaz de radio.

Nivel Físico: Se encarga de transmitir la información a través de la interfaz aire teniendo en cuenta la técnica de acceso empleada. Entre sus funcionalidades cabe destacar la modulación y el proceso de Dispersión (Spreading), haciendo uso de las secuencias de código apropiadas en cada caso, el procesado de la señal de radiofrecuencia, la sincronización temporal y frecuencial a nivel de chip, bit y estructura de trama, el control de potencia, la codificación y entrelazado, la toma de medidas de potencia y el soft-handover.

Nivel MAC: La capa de Control de Acceso al Medio (MAC), es la encargada de ofrecer a los niveles superiores servicios de transferencia de información, que entregan y reciben en forma de

Unidades de Datos de Protocolo (PDUs), efectuando el multiplexado y demultiplexado de las mismas en bloques de transporte que son entregados al nivel físico. Entre sus funciones se encuentran: la selección de los formatos de transporte adecuados, la gestión de prioridades entre flujos de información diferentes, la identificación de terminales en los canales comunes y en ciertos casos el cifrado (cuando no se lleva a cabo por el nivel RLC).

Nivel RLC: El Control de Enlace de Radio (RLC) ofrece a los niveles superiores servicios de control de las PDUs transferidas en el nivel MAC. Entre sus funciones destacan: la segmentación y el reensamblado de la información de los niveles superiores, el relleno con bits hasta completar el tamaño específico para las unidades de transmisión, la retransmisión de las PDUs erróneas, el control del secuenciamiento, el cifrado y el control de flujo.

Nivel RRC: El Control de Recursos de Radio (RRC) lleva a cabo funciones de control tales como: el establecimiento, mantenimiento y liberación de conexiones, así como medidas reportadas por las terminales.

Nivel PDCP: El Protocolo de Convergencia de Datos por Paquetes (PDCP), existe únicamente en servicios orientados a transmisión de paquetes y su funcionalidad principal es la de efectuar la compresión y descompresión de la información, como por ejemplo la asociada a las cabeceras de los protocolos TCP/IP de Internet.

Nivel BMC: En lo que respecta al Control de Difusión/Multicast (BMC), se encarga de las funciones relacionadas con la transmisión de mensajes asociados a servicios de difusión.

De acuerdo con la arquitectura planteada se contemplan tres tipos genéricos de canales para la comunicación entre niveles, según su ubicación en dicha arquitectura.

Canales físicos: Constituyen el soporte físico para el envío de información a través de la interfaz aire en función de la estructura de trama definida, el formato de las ráfagas de bits empleado y finalmente, las secuencias de código que permiten diferenciar unos canales físicos del resto.

Canales de transporte: Proporcionan a la capa MAC un servicio de transporte de información sobre los canales físicos. Están definidos por las características a nivel de formato de transmisión (codificación, entrelazado, cantidad de información, etc.), con que los datos serán enviados a través de la interfaz aire, con independencia del contenido de esta información. Cada canal de transporte viaja sobre uno o varios canales físicos.

Canales lógicos: Son aquellos canales de los que se sirve la capa MAC para proporcionar servicios de transferencia de datos a las capas superiores. Cada canal lógico está descrito por el tipo de información que transfiere y viajan sobre canales de transporte.

1.4 El sistema CDMA2000

El sistema CDMA2000 [22] es un sistema de 3G que cumple los requerimientos de IMT-2000. Fue desarrollado por el foro 3GPP2, como una evolución del sistema CDMA de banda angosta (1.25 MHz) también conocido como IS-95A, el cual, actualmente soporta datos por conmutación de paquetes de hasta **64 Kbps** (IS-95B).

Con el objeto de facilitar la transición, el sistema CDMA2000 especifica dos soluciones: 1X y 3X, sobre portadoras de 1.25 MHz y 3.75 (3×1.25) MHz respectivamente. Con la misma finalidad, el 3GPP2 también está normalizando los sistemas 1xEV-DO propuesto por el fabricante Qualcomm para datos por conmutación de paquetes (acceso a Internet) y el 1xEV-DV propuesto por Motorola (en fase de desarrollo), que incluye servicio de voz por conmutación de paquetes. Estos como una evolución de CDMA20001X para datos de alta velocidad.

En este sentido al principio evolucionará a CDMA20001X, que brinda voz (por conmutación de circuitos) y datos (por conmutación de paquetes). Posteriormente se podrá implementar la fase dos de CDMA2000, denominada CDMA20001xEV-DO y CDMA20001xEV-DV.

En el caso de CDMA20001xEV-DO (portadora 1x, EV-Evolución, DO-Solo Datos), se presenta como una fase que permite ofrecer en forma dinámica velocidades de datos pico de 2.4 Mbps en el enlace descendente, pero solamente de 153 Kbps en el enlace ascendente cuando un usuario se encuentra realizando una transmisión de datos Únicamente. Así también soporta servicios asimétricos no sensibles al retardo (típicamente navegación por internet), pero no soporta servicios simétricos sensibles al retardo (servicios conversacionales o de voz). El transporte está basado en la tecnología IP. Además, el sistema mantiene la compatibilidad con los estándares IS-95 y CDMA20001X.

Con respecto a CDMA20001xEV-DV (portadora 1x, EV-Evolución, DV-Datos y Voz), se presenta como una fase que permite velocidades de datos pico para un usuario en entornos de alta movilidad, de 2,4 Mbps en el enlace descendente y de 1,2 Mbps en el enlace ascendente; ambos simultáneamente. Es compatible con CDMA20001X soportando los servicios de voz y datos,

asegurando la itinerancia entre sistemas. Con el paso del tiempo soportará cualquier combinación de servicios (voz, vídeo y datos) con diferentes requerimientos de QoS. Requiere cambios mínimos en los terminales, así como en la compatibilidad e interoperabilidad con el resto de los sistemas CDMA2000 e IS-95B.

Con respecto a la especificación, en Abril de 2000 se publicó lo que se conoce como versión A del sistema CDMA2000 1X y 3X, que está compuesta de 6 documentos (3GPP2 C.S0001 a 6) que especifican las capas bajas del sistema. Actualmente se está trabajando en lo que será la versión B.

Por último mencionar que un sistema con tecnología WCDMA requiere 3 portadoras CDMA (3X). Por lo que se concluye que CDMA20001xEV-DV podrá estar a un nivel tecnológico similar a UMTS.

1.5 El sistema UWC-136

El sistema de Comunicaciones Inalámbricas Universales (UWC-136), es una especificación de 3G que cumple los requisitos IMT-2000 de la ITU [6]. El sistema UWC-136 se elabora en la TIA TR45.3, a partir de propuestas del Consorcio de Comunicaciones Inalámbricas Universales (UWCC) y se publica como el estándar americano TIA/EIA-136.

El sistema UWC-136 se concibió como una evolución hacia 3G del sistema 2G americano TDMA IS-136, que a su vez provenía del sistema analógico *AMPS*. Sigue manteniendo la filosofía de compatibilidad y añade la convergencia con la evolución del GSM, adoptando las tecnologías GPRS y EDGE para los servicios por conmutación de paquetes.

Actualmente la especificación UWC-136 se puede considerar terminada, con la publicación en Marzo de 2000 de la EIA/TIA-136 Versión B. Quedan pendientes algunos aspectos como la especificación de los codificadores vocales y los mecanismos de control de potencia rápidos. Por último, el sistema UWC-136 es el que se encuentra más atrasado con respecto a los sistemas actuales de 3G, no habiéndose logrado aún el despliegue del estándar GPRS-136.

1.6 Servicios y aplicaciones de los sistemas de 3G

Para asegurar el éxito de los sistemas de 3G, se ha de proporcionar a los usuarios comunicaciones muy eficientes, con una alta velocidad, calidad y fácil de usar [2]. Los servicios y aplicaciones que paulatinamente se esperan ofrecer en estos sistemas son:

- a Hasta **384** Kbps en espacios abiertos y 2 Mbps con baja movilidad.
- e Transmisión simétrica/asimétrica de alta confiabilidad.
- Uso dinámico del ancho de banda en función de la aplicación.
- a Soporte tanto de conmutación de paquetes como de circuitos.
- Vídeo y audio en tiempo real, acceso a Internet, videojuegos y comercio electrónico.
- e Diferentes servicios simultáneos en una sola conexión.
- e Calidad de voz como en la red fija.
- e Mayor capacidad y uso eficiente del espectro.
- Personalización de los servicios, según el perfil del usuario.
- Servicios dependientes de la posición.
- incorporación gradual en coexistencia con los sistemas actuales de 2G.
- a Itinerancia o cobertura (roaming) internacional entre diferentes operadores.
- Estándar global y abierto que cubra las necesidades de un mercado de masas.
- a Cobertura mundial con servicios terrestres y por satélite.

1.7 Sumario

En este capítulo se proporcionó un panorama general sobre los sistemas de 3G, siendo las características del sistema UMTS las más importantes a considerar en el desarrollo de este trabajo de tesis. En este sentido, la tecnología de acceso de radio, el incremento en la tasa de bit que es posible transmitir, la visión de un estándar mundial y la **gran** gama de aplicaciones **que** se esperan, se presentan como el cambio más significativo en esta nueva generación de sistemas móviles. Por último mencionar que si bien estos sistemas están empezando a ser implementados en los países mas desarrollados, en el caso de México, aun no se sabe con exactitud cuando empezaran a operar, esto debido a la falta de infraestructura tecnológica necesaria, que existe actualmente para soportar los sistemas de 3G.

Capítulo 2

Esquemas de administración de la QoS

Introducción

En este capítulo se proporciona toda la información relacionada a la QoS en el sistema UMTS, así como los esquemas más representativos para la administración de la QoS encontrados en el estado del arte. En primer lugar, en el apartado 2.1 se presentan los principales aspectos sobre la QoS en UMTS como son: arquitecturas de servicios portadores, clases de servicio, atributos de la QoS y funciones de administración de la QoS. En el apartado 2.2, se mencionan las características de UMTS sobre IP y modelos de servicios que se han desarrollado recientemente para la QoS utilizando tráfico de paquetes IP. Posteriormente en el apartado 2.3, se proporcionan algunos de los esquemas más representativos para la administración de la QoS en UMTS. Finalmente en el apartado 2.4, se resumen los principales aspectos abordados en este capítulo.

2.1 Calidad de Servicio en UMTS

A diferencia de otros sistemas de comunicaciones, en UMTS no se realiza una especificación cerrada de los servicios a proporcionar, sino que se aborda el problema desde una perspectiva abierta, definiendo de manera genérica servicios portadores del sistema, clases de tráfico (con sus requisitos de QoS) y funciones de gestión de la QoS proporcionada. Todos estos aspectos forman parte de un marco genérico de la QoS, cuyas principales características se mencionan en los siguientes puntos.

2.1.1 Arquitectura de servicios portadores

El soporte de servicios en UMTS se basa en la arquitectura de servicios portadores jerárquica definida en [23, 24]. Un servicio portador se define como el medio por el cual se transmite la información. La arquitectura considera la descomposición en capas del servicio extremo a extremo ofrecido al usuario, teniendo en cuenta los distintos tramos que están involucrados. La arquitectura es recurrente, de modo que los servicios portadores dentro de una capa se apoyan en los que ofrecen las capas inferiores. La arquitectura se muestra en la figura 2-1.

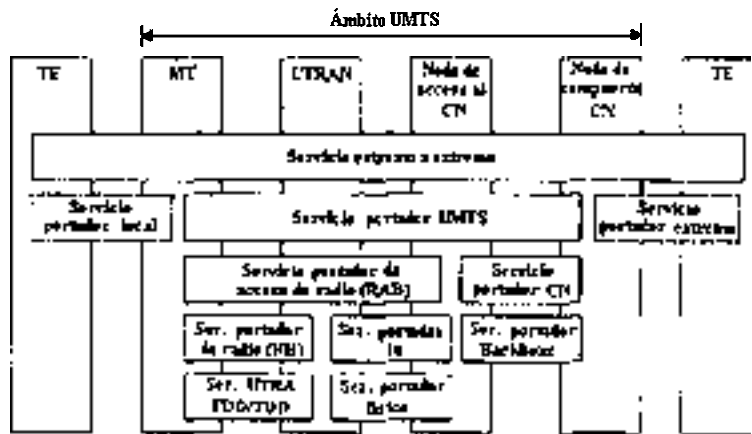


Figura 2-1 Arquitectura de calidad de servicio para UMTS [23].

En este sentido, la QoS extremo a extremo se basa o sustenta en la calidad proporcionada por tres servicios portadores: servicio portador local, servicio portador UMTS y servicio portador externo. Esta primera división tiene como objetivo no limitar innecesariamente los equipos terminales a utilizar (por ejemplo, una computadora personal) y las posibles redes destino (por ejemplo, Internet) con las que comunicarse. Por este motivo, la especificación no considera la QoS de los servicios portadores local y externo, centrándose únicamente en la normalización del servicio portador UMTS.

En la segunda descomposición, el servicio portador UMTS se sustenta en la calidad proporcionada por el servicio Portador de Acceso de Radio (RAB) y el servicio Portador CN. El primero cubre el trayecto comprendido entre el Terminal Móvil (MT) y el nodo de acceso al núcleo de red, esto incluye por lo tanto todas las interfaces de la red de acceso UMTS. Este es un servicio determinante en la provisión de la QoS en **UMTS**, ya que en el tramo de acceso a la red es donde se presentan las mayores limitaciones de recursos. Siguiendo se observa que el servicio

portador RAB a su vez depende del servicio Portador de Radio (RB) y el servicio portador Iu. Se tiene que considerar que el servicio RB no solo incluye la interfaz aire, si no también el tramo entre el Nodo B y el RNC. Para más información sobre los servicios portadores de todos los tramos de la red consultar [23], esto no es incluido ya que para este trabajo, únicamente se considera la parte del acceso, esto es, las características relacionadas al servicio RB.

2.1.2 Clases de **servicio en UMTS**

Desde el punto de vista de los requisitos de la QoS y considerando fundamentalmente el criterio de tolerancia de retardo, en UMTS se han definido de forma genérica cuatro clases de servicio, de las que a continuación se mencionan las características más relevantes, estando más ampliamente abordadas en [23, 25].

2.1.2.1 Clase Conversacional

La aplicación más utilizada de la clase de servicio conversacional es el servicio de voz. El auge del Internet y del mundo multimedia aumentará más la necesidad de este tipo de aplicaciones. La telefonía sobre IP está teniendo una importancia creciente, en buena parte por el descenso que esto supone en el costo de las comunicaciones. Las transmisiones de este tipo se caracterizan por ser prácticamente simétricas y requerir retardos de transmisión extremo a extremo muy pequeños. El valor de este retardo máximo viene limitado por la percepción humana. Evaluaciones subjetivas indican que para que se pueda llevar una conversación de un modo aceptable, el retardo extremo a extremo no debe ser mayor de 400 ms. El no cumplimiento de ésta estricta condición implica que la calidad de la transmisión no sea suficiente para cumplir el cometido de la aplicación,

2.1.2.2 Clase Streaming (afluente)

Las transmisiones de flujo continuo o streaming, son aquellas en las que se transfiere información multimedia de modo unidireccional de manera que pueda ser procesada como un flujo estable de datos. El incremento de la demanda de este tipo de servicios, como los de descarga de archivos multimedia para ser vistos **en** tiempo real, está ocasionando que cada vez más usuarios no dispongan de capacidad de transmisión suficiente, para alcanzar la calidad final mínima

requerida. Por lo tanto, cada vez se hace más necesario implementar mecanismos que permitan asegurar a un usuario la calidad de transmisión necesaria para este tipo de servicio. Básicamente este tipo de aplicaciones contempla la transmisión de secuencias de vídeo y audio en tiempo real. Otra característica importante de este tipo de servicios, es que toleran en mayor medida las variaciones del retardo de transmisión que la clase de servicio conversacional. Por último, mencionar que la distribución de vídeo bajo demanda, es con certeza una de las aplicaciones más importantes que basarán su funcionamiento en este tipo de servicios.

2.1.2.3 Clase Interactiva

En este tipo de servicios se requiere de un grado de interacción entre el usuario y el equipo situado al otro extremo de la conexión, aunque sin llegar a una situación de tipo conversacional. Por consiguiente, existirá un cierto límite en el máximo retardo tolerado para la información, que dependerá de cada aplicación en concreto y además, se requerirá de un elevado grado de integridad en la información recibida. Son servicios que en general presentan una fuerte asimetría, pues mientras que el usuario de un extremo únicamente suele enviar pequeños comandos, éstos desencadenan en el extremo remoto en la descarga de información de mucho mayor volumen. Ejemplos de aplicaciones bajo esta categoría son: la navegación web, la consulta a base de datos, así como el acceso remoto a computadoras.

2.1.2.4 Clase Background (diferida)

El correo electrónico, el envío de mensajes cortos y de postales electrónicas, la descarga de información de bases de datos o la lectura de medidas remotas, son ejemplos típicos de aplicaciones de esta clase de servicio. El retardo de transmisión de los datos puede ser del orden de segundos, decenas de segundos o incluso minutos. De hecho, todo el tráfico de internet funciona con esta filosofía llamada Best Effort (BE), **que** quiere decir que el sistema hace lo que puede para transmitir la información con el menor retardo posible, pero sin garantizar ningún valor acotado. Aunque el retardo no es una restricción en estos casos, la integridad de los datos es un requisito indispensable para estas conexiones.

En general las dos primeras clases consideran los servicios llamados en tiempo real, mientras que las dos últimas representan los servicios en tiempo no real. A continuación en la tabla 2-1 se presenta un resumen de las cuatro clases de servicio.

Tabla 2-1 Clases de servicio para UMTS [23].

Clase de servicio	Conversacional	Streaming	Interactiva	Background
Características principales	- Mantener la relación temporal entre entidades de información de flujo. - Patrón conversacional (bajo retardo, muy crítico).	- Mantener la relación temporal entre entidades de información de flujo.	- Patrón de petición/respuesta - Mantener la integridad del contenido.	- No hay un límite del tiempo de transferencia de los datos. - Mantener la integridad del contenido.
Ejemplo de aplicación	voz	Difusión de video	Navegar por WWW	Descarga de correos

2.1.3 Atributos de la QoS

En [8], se dan algunos valores de requisitos de la QoS extremo a extremo para ejemplos de aplicaciones finales. Sin embargo, estos requisitos deben ser traducidos de alguna manera a valores a imponer en los distintos tramos del ámbito UMTS, ya que como se mencionó anteriormente en cada tramo existe un correspondiente portador con características distintas. En este sentido, en [23] se puede encontrar la definición de un conjunto de atributos (parámetros), así como el margen de valores que estos pueden tomar para los servicios portadores UMTS y de acceso de radio. De los atributos mostrados en la tabla 2-2, se destacan los siguientes [26]:

- Tasa de error de bit residual: indica la cantidad de bits erróneos dentro de las Unidades de Datos de Servicio (SDUs) entregadas, debido a errores no detectados.
- Tasa de SDUs erróneas: se trata de la fracción de SDUs perdidas o detectadas como erróneas.
- Retardo de transferencia: el retardo de transferencia de una SDU, es el tiempo que transcurre desde que se solicita su transferencia en el punto de acceso, hasta que es recibida en el otro extremo. El 3GPP especifica los valores máximos para el 95% de la distribución de retardo de las SDUs entregadas. Como se observa en la tabla 2-2, este atributo está únicamente definido para las clases de servicio en tiempo real.

Tabla 2-2 Atributos de la QoS del servicio RAB [23].

Atributos de QoS	Clase de servicio			
	Conversacional	Streaming	Interactiva	Background
Tasa de bit máxima (Kbps)	x	x	x	x
Entrega ordenada	x	x	x	x
Tamaño SDU máximo (octetos)	x	x	x	x
Información del formato SDU	x	x		
Entrega de SDUs erróneas	x	x	x	x
Tasa de error de bit residual	x	x	x	x
Tasa de SDUs erróneas	x	x	x	x
Retardo de transferencia (ms)	x	x		
Tasa de bit garantizada	x	x		
Prioridad del tráfico			x	
Prioridad de asignación/retención	x	x	x	x

De los márgenes definidos por el 3GPP que se muestran en la tabla 2-3, los que indiscutiblemente son considerados de QoS, debido a que influyen directamente en el proceso de dimensionado de los recursos de transmisión son: la tasa de errores y el retardo de transferencia. Éstos y demás atributos se encuentran detallados en [23].

Tabla 2-3 Márgenes para los atributos de la QoS del servicio RAB [23].

Atributos de QoS	Clase de servicio			
	Conversacional	Streaming	Interactiva	Background
Tasa de bit máxima (Kbps)	< 2048	< 2048	< 2048	< 2048
Entrega ordenada	Si/No	Si/No	Si/No	Si/No
Tamaño SDU máximo (octetos)	<= 1500 ó 1502	<= 1500 ó 1502	<= 1500 ó 1502	<= 1500 ó 1502
Información del formato SDU	A definir	A definir	A definir	A definir
Entrega de SDUs erróneas	Si/No/-	Si/No/-	Si/No/-	Si/No/-
Tasa de error de bit residual	$5 \cdot 10^{-2}$ a	$5 \cdot 10^{-2}$ a	$4 \cdot 10^{-3}$ a	$4 \cdot 10^{-3}$ a
	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-8}$
Tasa de SDUs erróneas	$1 \cdot 10^{-2}$ a	$1 \cdot 10^{-2}$ a	$1 \cdot 10^{-3}$ a	$1 \cdot 10^{-3}$ a
	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Retardo de transferencia (ms)	100	250		
Tasa de bit garantizada	< 2048	< 2048		
Prioridad del tráfico			1,2,3	
Prioridad de asignación/retención	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3

2.1.4 Funciones de administración de la QoS

En [23], se propone una arquitectura funcional genérica para la administración de recursos de la QoS en una red UMTS. En la arquitectura tan solo se identifican las funciones necesarias y su ubicación genérica, dejando libertad absoluta en lo referente a los detalles de implementación.

Las funciones de administración de la QoS se encuentran tanto en el plano de control como en el plano de usuario. En la tabla 2-4 se indican que funciones se incluyen dentro de cada plano, junto con una breve descripción de sus principales tareas, mientras que en la figura 2-2 se ilustra la ubicación que el 3GPP propone para las distintas funciones de la QoS en el plano de usuario, dejando evidencia del alto grado de libertad que se tiene a la hora de implementarlas en la UTRAN.

Tabla 2-4 Funciones de administración de la QoS [23].

	Nombre de la función	Descripción
Plano de Control	Administrador de servicios	Coordina las funciones del plano de control para establecer, modificar y mantener el servicio.
	Función de traducción	Convierte primitivas de control de servicio UMTS a las de redes externas,
	Control de admisión	Decide si acepta o no una conexión en función de los recursos disponibles.
	Control de suscripción	Comprueba si se cumplen los permisos administrativos necesarios para acceder al servicio.
Plano de Usuario	Función de correspondencia	Marca las unidades de datos en función de la QoS requerida.
	Función de clasificación	Distribuye las unidades de datos sobre los servicios portadores en curso según su QoS.
	Administrador de recursos	Administra la utilización de recursos según la QoS requerida (por ejemplo: planificación)
	Acondicionador de tráfico	Adapta el tráfico al perfil de la QoS negociada.

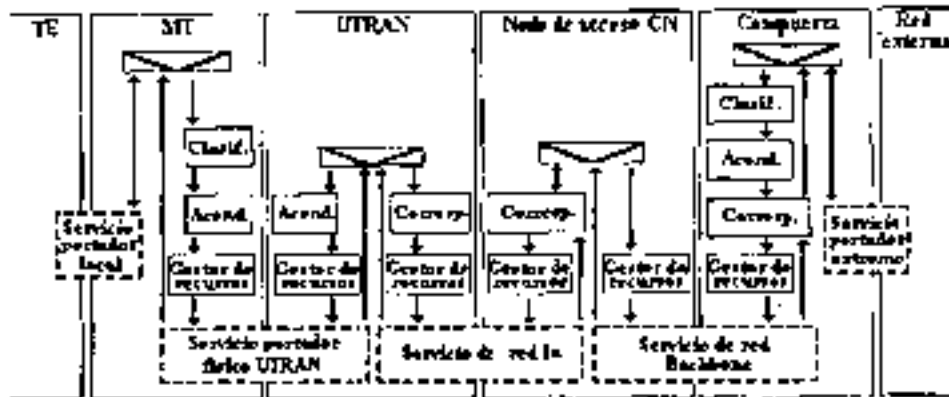


Figura 2-2 Funciones de administración de la QoS en el plano de usuario [23].

2.2 Nuevas características de IP para UMTS

La introducción de IP en UMTS concepto ("All IP") proporcionará un gran abanico de posibilidades, que permitirá a cualquier usuario de UMTS acceder desde cualquier lugar a todo tipo de información a través de Internet. En este sentido, se plantean un gran número de nuevos retos para la familia de protocolos IP, tales como:

- Necesidades de técnicas de conmutaciones más rápidas, capaces de soportar servicios multimedia cada vez más complejos y con mayores requisitos de ancho de banda.
- Implementación de mecanismos de la QoS, que permitan transportar de forma diferenciada los distintos tipos de tráfico que va a soportar el protocolo IP. Como son: administración de tráfico, tráfico de señalización y control, tráfico de usuarios con distintos requisitos de retardo, integridad de los datos, etc.
- Los problemas derivados de la movilidad de los usuarios, que suponen estar conectados a la red en puntos de acceso muy distintos y la necesidad de ser vistos siempre con la misma dirección IP.
- La falta de espacio de direccionamiento IP que nace del crecimiento exponencial de usuarios de internet.
- Necesidades de seguridad.

Estos nuevos retos han hecho necesaria una evolución de IP. Algunos de los problemas han encontrado solución en mecanismos adicionales como: DiffServ para QoS, Mobile IP para la movilidad de los usuarios, IPSec para la seguridad y la Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo

(MPLS) que aumenta el rendimiento de las redes de transporte. Mientras que otros problemas como la escasez de direcciones, aunque ha sido minimizada por el uso de técnicas o métodos de transición (por ejemplo: doble pila IPv4/IPv6, tunelización y protocolo traductor IPv4/IPv6), sólo se podrá resolver con la nueva versión de E' (IPv6).

Así también, las redes basadas en paquetes IP tienen como objetivo maximizar la utilización de la red. Además pueden proporcionar comunicación multipunto, y robustez adaptándose a la dinámica de la red. Sin embargo, este funcionamiento hace que el comportamiento sea difícilmente predecible. Por el contrario las redes basadas en conexión proporcionan un servicio garantizado, pero con un uso no eficiente de los recursos de la red, no se adaptan a los fallos de la red y no soportan comunicaciones multipunto. Por lo tanto, el desarrollo de las redes IP requieren de distintos aspectos que incluyen [27]:

1. Especificación del flujo: una especificación del flujo definiendo el tipo del tráfico, los requerimientos del receptor y la QoS que se va a proporcionar.
2. Encaminamiento: la red debe decidir como transportar los paquetes desde la fuente al destino.
3. Reserva de recursos: para mantener un flujo con cierta QoS, se requiere un protocolo de reserva para crear y mantener las reservas de recursos, como son el ancho de banda o número de buffers.
4. Control de admisión: un algoritmo de control de admisión para mantener la carga de la red a un determinado nivel.
5. Planificador de paquetes: un algoritmo de servicio de paquetes para planificar la transmisión de los paquetes, con el objetivo de mantener el servicio garantizado para cada flujo.

2.2.1 Modelos de servicios

Un modelo de servicio, define las propiedades que debe tener un servicio y que éste ofrece a las aplicaciones que lo usan. En general se puede hablar de dos modelos: Servicios integrados (IntServ) y Servicios Diferenciados (DiffServ) [28].

2.2.1.1 Modelo de servicios integrados

El modelo de Servicios integrados (IntServ), es un estándar que propone una reservación de recursos para garantizar el flujo de datos con QoS. El nivel de QoS es programable de acuerdo al requerimiento de las aplicaciones finales. El modelo IntServ intenta integrar todos los tipos de tráfico posibles en una misma red de uso general. Este modelo está típicamente asociado a mecanismos de admisión y reserva de recursos en la red.

El modelo de reserva describe cómo una aplicación negocia el nivel de QoS. El modelo más simple es que una aplicación solicite una QoS en particular y que la red se la proporcione o la rechace. Sin embargo, más que rechazar la petición, la red podría conceder un nivel de recursos menor al solicitado. En este caso únicamente dos servicios han sido especificados para un protocolo de reservación.

- Servicio garantizado: asegura un nivel de ancho de banda extremo a extremo, se garantiza que los retardos solamente se dan por factores como velocidad de propagación de las ondas, o mecanismos de configuración que no son controlados, el retardo entre paquetes no es controlado sólo minimizado.
- Carga de servicio controlada: entrega un flujo de datos para el cliente extremo a extremo con el mejor esfuerzo dentro de parámetros ambiente. El retardo y pérdida de paquetes es controlado por el flujo de carga que tiene la red, pero a la larga no se controla el deterioro de la red a medida que el flujo se vuelve mayor.

Para proveer los mecanismos de señalización de flujo, se usan protocolos como el clásico Protocolo de Reservación de Recursos (RSVP). Debe quedar claro que éste no es un protocolo de enrutamiento si no un protocolo de reservación de recursos.

2.2.1.2 Modelo de servicios diferenciados

El Grupo de Tareas de ingeniería en internet (IETF), ha definido este campo llamándolo Servicios Diferenciados (DiffServ). En este caso no se reservan recursos por lo que no se puede garantizar una QoS. El modelo DiffServ, propone una arquitectura de servicios diferenciados basada en la separación del tráfico en diferentes clases, dichas clases son tratadas de forma diferente en los nodos de la red con el objetivo de proporcionar distintos niveles de QoS. De este modo, se pueden tener varias clases de servicio para tiempo real con varios niveles de retraso.

También habrá niveles con servicio predictivo y otros sólo con garantía de entrega. Como ventaja este modelo es poco complejo en su implementación y de fácil integración con los protocolos IP, en el que cada paquete puede ser marcado con la QoS que requiere. En IP versión 4 (IPv4) se establece un campo de 8 bits denominado Tipo de Servicio (TOS), el cual puede ser usado para este propósito. En este campo los 2 bits más significativos se han reservado para usos futuros, mientras que los 6 bits restantes pueden ser usados por DiffServ. Estos 6 bits se denominan Punto de Código de Servicios Diferenciados (DSCP) [29]. Los enrutadores y las aplicaciones interpretan estos bits, donde se dice si lo que se necesita es por ejemplo: poco retardo o poca variación del mismo. Con estos bits el flujo puede dividirse en diferentes prioridades (256 clases), entonces la red debe saber que hacer con estas prioridades, este proceder de la red es llamado Comportamiento Por Salto (PHB). Para un PHB se definen los siguientes servicios según el IETF.

- Reenvío Expedito (EF): minimiza el retardo, la variación en el retardo y provee el más alto nivel de QoS. Aplicado para tráfico en tiempo real, con bajo retardo por paquete.
- Reenvío Asegurado (AF): reenvío de paquetes IP en N clases y dentro de cada clase, a los paquetes se les asigna de 1 a M niveles de precedencia. Aplicado para flujos elásticos con control de caudal y bajas pérdidas.
- Mejor Esfuerzo (BE): característica sobre la que esta fundamentada Internet, en la cual la red hace el mejor esfuerzo para entregar los paquetes pero sin ninguna garantía. Aplicado a flujos flexibles según el estado de la red.

Servicios PHB	Clases de servicio en UMTS			
	Conversacional	Streaming	interactiva	Background
Reenvío Expedito	x	x		
Reenvío Asegurado			x	
Mejor Esfuerzo				x

Por último hacer mención que aplicando el modelo DiffServ y el mapeo entre clases de servicio de la tabla 2-5, se implementó el proceso de clasificación de paquetes del esquema propuesto.

2.3 Esquemas de administración de la QoS

Los problemas motivados por mejorar las características de las comunicaciones actuales, sin duda han generado una gran atención y estudio por parte de investigadores. Actualmente se plantean algunas formas de solucionar o por lo menos alcanzar, un comportamiento aceptable en la QoS de las aplicaciones que las nuevas comunicaciones pretenden ofrecer. En este sentido, se han diseñado varios esquemas como propuestas para la administración de la QoS. De los esquemas encontrados en el estado del arte, los aspectos más importantes que estos consideran son:

1. La administración de la QoS en la parte del acceso de radio, originado por las nuevas tecnologías utilizadas.
2. La administración de la QoS con mecanismos para el soporte de tráfico de paquetes IP.
3. La administración de la QoS con modelos de servicio IntServ y DiffServ.

Los esquemas encontrados están conformados por una serie de elementos característicos, entre los que destacan:

- Un elemento de control de acceso.
- Un elemento clasificador.
- Un elemento planificador (Scheduling).
- Un elemento de transmisión o despacho.

Así pues, a continuación se presentan cuatro de los esquemas más representativos encontrados en el estado del arte para la administración de la QoS.

2.3.1 Administrador de recursos de radio

Continuamente internet no provee una garantía de QoS, no obstante esto cambiará mediante mecanismos que proveerán alguna forma de asignación o reparto de recursos. En la arquitectura UMTS cada una de las estaciones base¹ tienen un módulo Administrador de Recursos de Radio (RRM), para preservar los requerimientos de la QoS del tráfico [31].

¹ El término estaciones base corresponde al Nodo B en la interfaz aire UTRAN presentada en el capítulo I. Nodo B es el nombre correcto de este elemento en la arquitectura del sistema UMTS, aunque en este capítulo será frecuentemente encontrado con el nombre de estación base.

La función principal del RRM es la asignación de recursos a los usuarios de acuerdo a los requerimientos de la QoS. Como se muestra en la figura 2-3, la misión del RRM inicia con el Controlador de Admisión de Conexión (CAC). Desde la decisión basada en la disponibilidad de recursos, el CAC consulta al Planificador de Recursos de Radio (RRS) para aceptar o rechazar la llamada de solicitud; si es aceptada, el Clasificador de Tráfico (TC) otro componente del RRM, categoriza el ingreso de tráfico de acuerdo a la especificación de QoS, la cual está incluida típicamente en cada encabezado de los paquetes (por ejemplo: DSCP del IETF). Los flujos de datos son entonces dirigidos a un buffer correspondiente de acuerdo a la QoS. Cada una de las clases de servicio es representada por al menos un buffer. Finalmente el Despachador de Tráfico (TD), vacía los múltiples buffers de acuerdo con alguna lógica de prioridad después de recibir los recursos de radio asignados por el RRS, el cual confía en las condiciones del canal (enlace inalámbrico) y la QoS solicitada en su contestación.

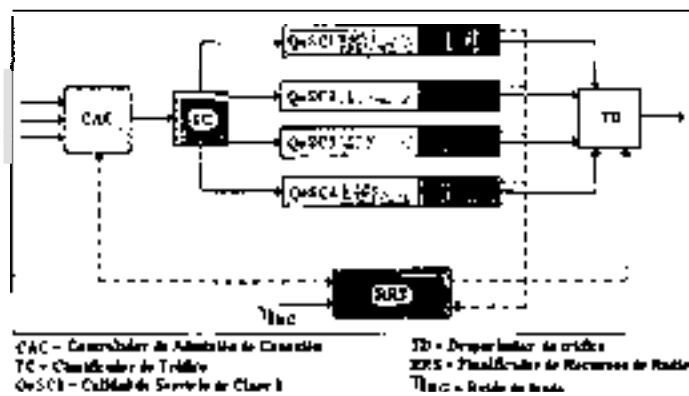


Figura 2-3 Administrador de Recursos de Radio (RRM)[31].

2.3.2 Algoritmo para la asignación de recursos de radio

Otro esquema de QoS el cual tiene gran semejanza con el RRM es explicado a continuación, nuevamente el factor de la interferencia resulta ser de gran importancia en este esquema. El algoritmo de Asignación de Recursos de Radio (RRA) tiene como objetivo utilizar óptimamente la capacidad de la tecnología CDMA [32].

Indicado con $M(t)$ el número de móviles en el área de cobertura. Este número cambia dependiendo de la carga ofrecida. El grupo de todas las estaciones base es $B = \{1, 2, \dots, B\}$. Mientras $C = \{1, 2, \dots, C\}$ es el número de todos los canales disponibles. La ganancia de la matriz G , la cual describe el entorno de radio es definida como $G = [G(t)_{i,j}]_{B \times C}$. Así pues $G(t)_{i,j}$ es

la ganancia de conexión o enlace entre la Estación Base (BS)_{*i*} y la Estación Móvil (MS)_{*j*}, la cual varía con la cantidad de móviles.

El algoritmo RRA examina la ganancia de la matriz G y realiza las siguientes tareas representadas en la figura 2-4.

- Asigna una o más BS del conjunto B . El control de admisión decide si y cuando la nueva sesión (petición de un móvil) es aceptada o rechazada.
- Asigna uno o más canales (por ejemplo: CDMA de banda ancha (WCDMA) y combinación mediante división de tiempo TD-CDMA) del conjunto C . La tasa de transferencia planificada asigna el código apropiado para las sesiones y el Planificador de Tiempo (TS) decide cuando estos recursos pueden ser usados.
- Asigna potencia de transmisión para la BS y móvil. El planificador de potencia decide el nivel apropiado de potencia, considerando las condiciones del canal de radio y los requerimientos de calidad de la sesión.
- Distingue en asignar recursos entre varias clases de tráfico. El TS decide el momento exacto y la cantidad de recursos usados basado en los requerimientos de calidad de sesión.

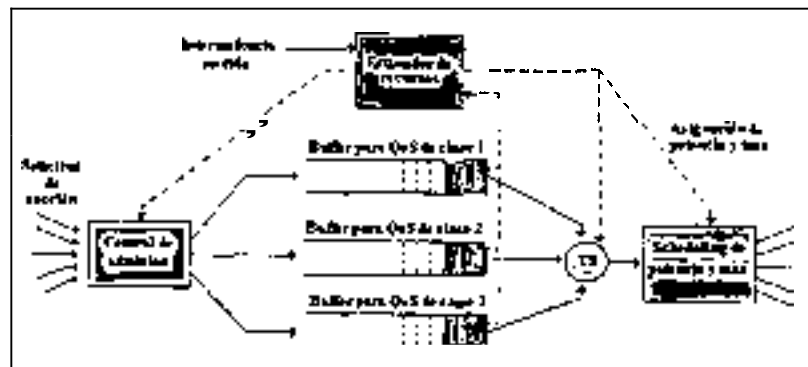


Figura 2-4 Algoritmo de RRA en la BS [32].

El algoritmo RRA deberá maximizar el número de usuarios satisfechos dentro del ancho de banda disponible. Un usuario es o está satisfecho, sí la calidad de la sesión esta debajo del nivel aceptable durante una cantidad de tiempo insignificante. Considerando todas estas asignaciones, la naturaleza dinámica de la ganancia del enlace de la matriz G y el amplio rango de requerimientos de calidad, el algoritmo RRA deberá realizar tareas muy complejas.

Como se muestra en la figura 2-4, un Estimador de Recursos (RE) controla los algoritmos del RRA representado por las flechas discontinuas. Las flechas continuas representan el flujo de información de los usuarios. El RE tiene varias entradas tales como: las condiciones de interferencia, las características del canal de radio, el flujo de carga en la BS , las características de las secciones de tráfico y los requerimientos de calidad. Con estas entradas y modelos de capacidad integrados el RE desarrolla las siguientes tareas de control.

- Las características del canal de radio y los requerimientos de calidad en una sesión, se usan para optimizar la potencia y la asignación de tasas de transmisión.
- El flujo de carga en la BS , las características de sesión de tráfico y los requerimientos de calidad, se usan para controlar el planificador de tiempo.
- Con los modelos de capacidad integrados el RE ayuda al control de admisión, en aceptar o rechazar nuevas sesiones.

2.3.3 IP para el modelado de administración de la QoS

En la figura 2-5, se presenta un esquema con dos niveles de planificación, como estrategia para una mejor administración de los recursos [33].

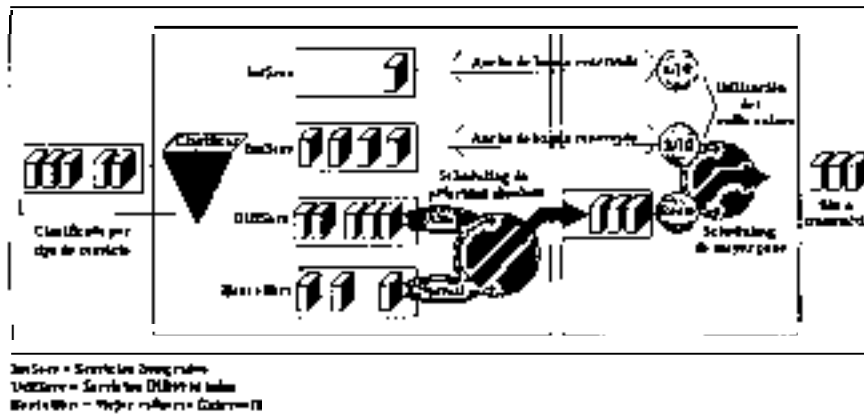


Figura 2-5 El concepto de un modelo de planificador en QoS IP [33].

Con la finalidad de soportar QoS en la capa de Control de Enlace de Datos (DLC) para IntServ, DiffServ y BE, la planificación basada en priorización y reservación debe ser considerada. Para enfrentarse a este reto, se llevan a cabo dos estrategias de planificación. En la primera etapa la planificación basada en priorización es implementada para las clases BE y DiffServ, mientras que

el tráfico IntServ es pasado a una segunda etapa. En esta segunda etapa una planificación basada en reservación de recursos transporta el tráfico hacia afuera, en donde cantidades específicas de la calidad son asignadas al flujo de tráfico IntServ. Por último la calidad restante es usada por el tráfico que resulta de la primera etapa de planificación.

La planificación es realizada usando las siguientes reglas: la primera prioridad es para el control de transmisión, la segunda para las retransmisiones a nivel de enlace y otro control, la tercera para los flujos IntServ teniendo una reservación para el actual marco MAC, la cuarta para todos los flujos que no son BE y la quinta prioridad para los flujos BE. Un paquete TCP/IP es desechado cuando no es entregado en 400 ms. Las reservaciones de tipo IntServ son ejecutadas mediante la política de admisión a nivel del DLC.

2.3.4 El manipulador de paquetes

En este último esquema de administración de la QoS, se presenta un diseño para redes basadas en el protocolo IP. Como se observa en la figura 2-6, el plano de datos incluye dos bloques funcionales: el manipulador de paquetes y el planificador. El manipulador de paquetes, es el responsable de la administración del tráfico agregado en la compuerta de entrada; éste cambia el tráfico agregado DiffServ a flujos individuales IntServ [34].

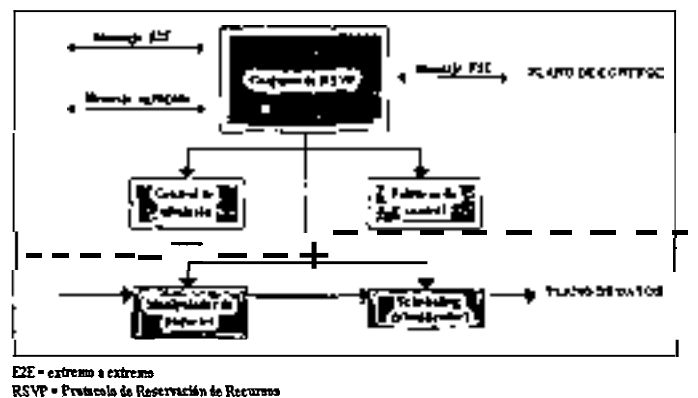


Figura 2-6 Estructura interna de la compuerta en una red de paquetes [34].

En lo que corresponde al manipulador de paquetes, la figura 2-7 muestra el funcionamiento a detalle. Inicialmente cualquier ingreso de tráfico agregado es vigilado durante el acceso conforme

a los parámetros declarados. Fuera de este perfil el tráfico puede ser dejado, modificado o manipulado como tráfico de tipo BE.

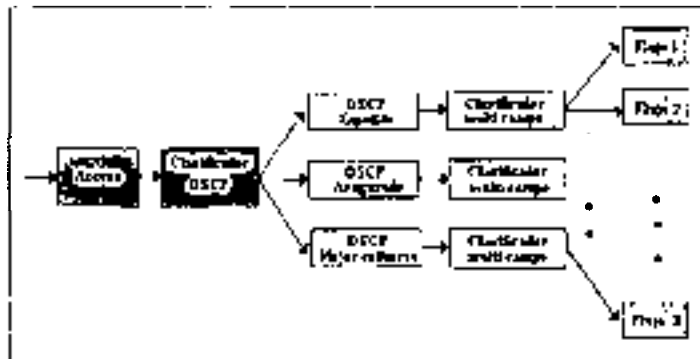


Figura 2-7 El manipulador de paquetes [34].

Posteriormente el clasificador DSCP, procesa el valor de DSCP del tráfico agregado y reenvía el paquete a uno de los buffers, en este caso se provee un buffer para cada tipo de valor DSCP (BE, AF y EF).

En este punto el tráfico es todavía agregado. Los siguientes pasos implican la separación de los flujos del cual está compuesto. Esta separación es realizada por el clasificador Multicampo (MF), el cual clasifica los flujos basándose en una combinación de algunos campos del encabezado IP, como son: dirección fuente, dirección destino, campo DS, protocolo IP, puerto fuente y puerto destino. El clasificador MF asigna los paquetes de cada buffer a una clase de servicio IntServ y entonces los reenvía al buffer apropiado.

Los flujos individuales IntServ donde los paquetes son separados de acuerdo al buffer para cada tipo de flujo (flujo 1, flujo 2, ...), representa el tráfico de salida del manipulador de paquetes. Por último, el planificador de paquetes es responsable de transmitirlos desde los buffers del manipulador de paquetes, de acuerdo con una política de programación definida. Esto determina la administración de los diferentes paquetes en la capa de red, basada en la QoS deseada.

2.4 Sumario

En este capítulo se presentó lo relacionado a la QoS en UMTS. Lo más importante a destacar es una arquitectura de QoS dividida en tramos jerárquicos, una división en clases de servicio para

las diferentes aplicaciones siendo la integridad de los datos y el retardo en la transmisión los parámetros de mayor impacto en la QoS, así también la importancia del protocolo **IP** como el principal soporte de tráfico de paquetes en **UMTS** y la implementación de nuevos modelos de administración para una QoS extremo a extremo. Con respecto a los esquemas de administración de la QoS, se destaca la importancia que tiene la administración de los recursos de radio como la parte más crítica y de mayor impacto en la red. Por último mencionar que debido a las carencias encontradas en los esquemas de los sistemas actuales (por ejemplo: la utilización de un buffer FIFO único, en donde no es posible clasificar ni planificar paquetes), surge la necesidad que motiva y justifica el caso de estudio, así como el esquema que se propone (capítulo 3).

Capítulo 3

Análisis y diseño del esquema RRM

Introducción

En este capítulo se detallan todos los aspectos considerados en el diseño del esquema propuesto. Primeramente en el apartado 3.1 son mencionados los criterios considerados en la selección y propuesta de solución del esquema RRM. Posteriormente en el apartado 3.2 se mencionan las estrategias de solución implementadas en cada uno de los elementos o módulos que integran el RRM. Más adelante en el apartado 3.3 se presenta el modelo de radio propagación, el cual sirvió como escenario de aplicación del esquema desarrollado. En el apartado 3.4 se proporcionan los parámetros utilizados para evaluar la eficiencia del esquema propuesto. En lo que respecta al apartado 3.5 se muestra una representación de la estrategia de control de la congestión implementada sobre un simulador de eventos discretos. En el apartado 3.6 se proporciona lo relacionado a la herramienta utilizada para la generación de paquetes IP, que sirvieron como tráfico para la simulación del esquema propuesto. En el apartado 3.7 se presenta un diagrama de flujo en el cual se observa de forma general la lógica de programación efectuada. Por último en el apartado 3.8 se resumen las principales consideraciones y aspectos abordados en este capítulo.

3.1 Esquema propuesto

El esquema propuesto para la administración de la QoS es mostrado en la figura 3-1. Aunque el esquema mostrado se seleccionó del análisis realizado a los diagramas presentados en el capítulo

2; la solución, los procedimientos y los criterios que son implementados en el mismo corresponden a un nuevo planteamiento de solución y por este motivo, a un nuevo esquema propuesto como principal aportación realizada en este trabajo de tesis.

Por lo tanto, primeramente se mencionan los criterios que fueron considerados en la selección del RRM como esquema para la evaluación de la QoS, para posteriormente señalar la propuesta de solución realizada al mismo.

Los criterios más importantes en la selección del esquema RRM son:

- La decisión de utilizar el esquema RRM se fundamenta principalmente, en la importancia que la administración de recursos de radio tiene para la tecnología de acceso utilizada en las nuevas redes de banda ancha.
- Otra razón por la que se decidió seleccionar el RRM en este trabajo, radica en el hecho de haber encontrado un proyecto realizado sobre la administración de recursos de radio, en el cual se presenta gran cantidad de información relacionada con el tema. Este proyecto es conocido como Administración de Recursos de Radio Avanzado para Servicios inalámbricos (ARROWS) recientemente desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña[35].
- Así también porque en el proyecto ARROWS se presentan algunas estrategias para la administración de la QoS que ayudaron a dar solución al esquema RRM, ya que en un principio los fundamentos y bases para llevar a cabo la evaluación del esquema eran insuficientes.

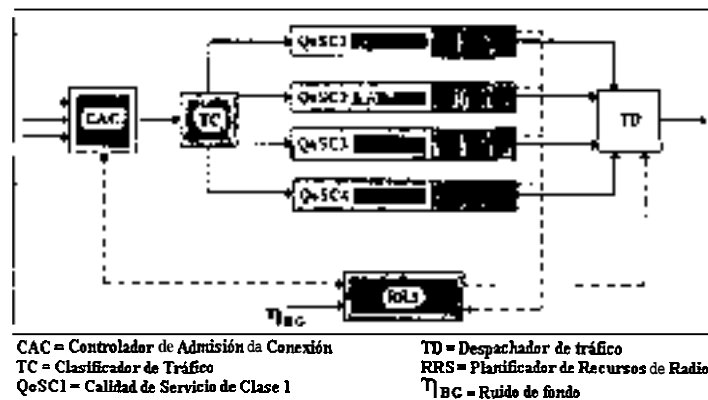


Figura 3-1 Administrador de Recursos de Radio (RRM) [31].

Por consiguiente la propuesta de solución es la siguiente:

- Llevar a cabo la implementación de estrategias para cada uno de los elementos que conforman el RRM. Estas estrategias vienen dadas mediante algoritmos de solución.
- Con un generador de paquetes IP como fuente de tráfico, obtener cuatro archivos (cada uno representando a una clase de servicio) que servirán como fuente de paquetes de datos para la simulación [36] del esquema en MATLAB versión 6.0.
- Evaluar la eficiencia del RRM considerando los tres incisos siguientes:
 - a) Mantener bajo condiciones estables al RRM (esto es, fuera de congestión la mayor parte del tiempo).
 - b) Tener una tasa de pérdida de paquetes lo más baja posible en función del parámetro de retardo máximo permitido o retardo de transferencia (ver tabla 2-3, para las clases de servicio en tiempo real), que depende de la lógica implementada en el TD.
 - c) Aceptar la mayor cantidad de usuarios.

El planteamiento de solución que se presenta está basado en las necesidades encontradas para poder llevar a cabo la evaluación de la QoS en el esquema que fue seleccionado. Algunos de los aspectos del diseño son los presentados en el proyecto ARROWS, como el caso de las estrategias de control de admisión y control de la congestión [37, 38], sin embargo, *otros* aspectos como la elección del generador de paquetes o la plataforma de simulación a utilizar, están basados en las decisiones que se consideraron adecuadas para usar uno u otro software. Estas decisiones se fundamentan tanto en los análisis efectuados como en las limitaciones de no poder utilizar herramientas que por su costo están fuera de alcance.

3.2 Estrategias consideradas

En un entorno WCDMA uno de los aspectos más importantes es el control de potencia, que es parte de lo que se denomina la gestión de los recursos de radio. Los sistemas de RRM tienen como misión mantener la cobertura del área, ofrecer sobre ella la máxima capacidad de usuarios y garantizar la QoS. Además del control de potencia, las estrategias utilizadas para ello son: el control de admisión, el control de congestión, el control de (“handover” o “handoff”) y funcionalidades de planificación de paquetes [35]. En este diseño, a excepción de la estrategia del control de handover, las demás son consideradas. A continuación se presentan cada uno de los elementos o módulos que conforman al RRM y la estrategia implementada en cada uno de ellos.

3.2.1 Controlador de admisión de conexión

Los criterios que seguirá este elemento están basados en una estrategia de control de admisión presentada en el proyecto ARROWS [35], la cual después de ser analizada se consideró que podía ser utilizada en este primer elemento del RRM. Por lo tanto la estrategia de control de admisión de conexión o únicamente control de admisión, es implementada mediante un algoritmo **que** determina si una solicitud de conexión debe ser aceptada o rechazada, en función de la interferencia o carga (η) que esta conexión añade a las ya existentes. **Así** pues, es responsable de decidir si un nuevo Portador de Radio (RB) puede ser establecido. El control de admisión considerado hace uso del factor de carga y la estimación del incremento de carga, que genera en la red de radio el establecimiento de la solicitud de conexión. Desde el punto de vista de implementación, las estrategias de control de admisión se pueden clasificar como basadas en modelos o basadas en estadísticas [37].

En el caso que el factor de carga en la interfaz aire sea estimado en términos estadísticos y asumiendo que se tienen k usuarios admitidos en el sistema, el usuario $(k + 1)$ deberá verificar la condición de la ecuación (3-1).

$$(1 + f) \sum_{i=1}^k \frac{1}{\frac{SF_i}{v_i \cdot \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i \cdot r} + 1} + (1 + f) \sum_{i=1}^k \frac{1}{\frac{SF_{k+1}}{v_{k+1} \cdot \left(\frac{E_b}{N_o}\right)_{k+1} \cdot r} + 1} \leq \eta_{max} \quad (3-1)$$

Donde:

SF_i = Factor de Spreading (Dispersión) del móvil i-ésimo.

f = Factor f (interferencia intercelular).

$\left(\frac{E_b}{N_o}\right)_i$ = Energía de bit entre densidad espectral de potencia del ruido del móvil i-ésimo.

v_i = Factor de actividad de la fuente de tráfico del móvil i-ésimo.

r = Tasa de codificación.

k = Número de móviles.

η_{max} = Umbral del control de admisión.

Con respecto a la ecuación (3-1) descrita en [39, 40], lo más importante es tratar de incrementar la cantidad de usuarios que son aceptados en el área determinada, esto se puede lograr al variar SF_i , ya que resulta ser el parámetro más importante y que permite que más usuarios puedan ser acomodados para un valor de η_{max} definido. Sin embargo, es lógico pensar que si todos los usuarios transmiten a la misma frecuencia, cada uno de ellos se convierte en una interferencia para el resto y viceversa, es por esto que el ruido térmico contenido en el ancho de banda se convierte en la principal restricción a la hora de entregar los paquetes a los usuarios móviles.

3.2.2 Clasificador de tráfico

Primeramente es importante mencionar que la solución planteada en este elemento del RRM, no fue tomada del proyecto ARROWS, ni tampoco de ningún trabajo desarrollado con anterioridad. La propuesta de solución presentada nace como una idea del estudio realizado a las nuevas características de IP en UMTS bajo el concepto (“All IP”).

Este módulo es el encargado de clasificar las diferentes clases de tráfico que son aceptadas por el RRM. El tráfico es dividido en cuatro tipos de servicio diferentes (conversacional, streaming, interactivo y background). Una vez que el tráfico (paquetes) se clasifica, es enviado a través de “buffers” al despachador de paquetes. Así pues, el clasificar tráfico permite diferenciar a cada uno de ellos, considerando que sus características principalmente de retardo no son las mismas y así poder dar prioridades al momento de despacharlos. El campo Tipo de Servicio (TOS) en el encabezado de los paquetes IP es utilizado para el proceso de clasificación, este campo contiene un valor distinto para cada clase de servicio.

En la figura 3-2 se muestra la forma en que está compuesto el byte correspondiente al campo TOS. Para más información en [29] se encuentran aspectos relacionados a este campo y al modelo de servicio DiffServ.

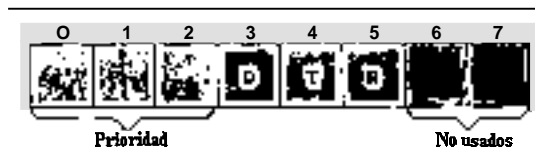


Figura 3-2 Byte correspondiente al campo TOS [29].

La descripción de los 7 bits del byte **TOS** es la siguiente:

Prioridad (**3** bits): 0 (cero) indica la prioridad **más** baja y
7 (siete) indica la prioridad más alta.

Los siguientes **3** bits indican como se quiere transmitir el mensaje.

- Bit D (Delay): Solicita retardos cortos (enviar rápido).
- Bit T (Throughput): Solicita un alto rendimiento.
- Bit R (Reliability): Solicita que se miniinice la probabilidad de que el paquete se pierda o resulte dañado (enviar bien).

En nuestra aplicación la tabla 3-1 resume los valores y características que toma este campo.

Tabla 3-1 Valores y características del campo TOS.

Clase de servicio	Valor binario		Valor hexadecimal	Característica de la transmisión	Prioridad
	LSB	MSB			
Clase Conversacional	0	0 1 1 0 0 0 0	0C	Mínimo retardo	4
Clase Streaming	1	1 0 0 1 0 0 0	13	Máxima capacidad	3
Clase Interactiva	0	1 0 0 0 0 0 0	02	Servicio normal	2
Clase Background	1	0 0 0 0 1 0 0	21	Máxima confiabilidad	1

Por otra parte, la cantidad de paquetes que será entregada dependiendo de la tasa de transmisión solicitada **por** el móvil *i*-ésimo se obtiene con la ecuación (3-2).

$$\text{Cantidad de paquetes} = \text{Tasa de transmisión} / \text{Tamaño de los paquetes (en bits)} \quad (3-2)$$

Este procedimiento se aplica para las cuatro clases de servicio implementadas en el RRM. Por tanto, la cantidad de paquetes entregados a los móviles estará en función de la tasa de transmisión solicitada sin importar el tipo de servicio. La tabla 3-2 muestra la cantidad de paquetes necesarios en las diferentes tasas de transmisión consideradas. Las simulaciones se realizaron para tres tamaños diferentes de paquetes.

Tabla 3-2 Paquetes para las tasas de transmisión consideradas.

Tasa de transmisión	Tamaño de paquetes		
	256 bytes	512 bytes	1024 bytes
64 kbps	31 paquetes	16 paquetes	8 paquetes
144 kbps	70 paquetes	35 paquetes	18 paquetes
384 kbps	188 paquetes	94 paquetes	47 paquetes

3.2.3 Planificador de recursos de radio

En este elemento se considera la estrategia de control de la congestión la cual es tomada del proyecto ARROWS. Este elemento es considerado el más importante ya que lleva a cabo el control del esquema RRM. Por lo tanto, en este elemento se considera el control de la congestión como una de las estrategias que toma gran importancia, para garantizar o mantener una QoS aceptable a las conexiones establecidas. En este sentido, el algoritmo de control de la congestión debe actuar cuando los usuarios admitidos, no pueden satisfacer los requerimientos de calidad durante cierto periodo de tiempo, debido a una sobre carga en los buffers. El algoritmo de control de la congestión incluye las siguientes partes [39].

1.- Detección de la congestión: se debe establecer algún criterio para decidir si la red está en congestión o no. El criterio para detectar si el sistema ha entrado en una situación de congestión, es cuando el factor de carga es superior a cierto umbral ($\eta \geq \eta_{CD}$) durante un cierto periodo de tiempo ΔT_{CD} .

2.- Resolución de la congestión: cuando se asume que existe una congestión se deben llevar a cabo ciertas acciones para recuperar la estabilidad. El algoritmo de resolución de la congestión toma ciertas medidas para tratar de solucionar estas situaciones. Existen múltiples posibilidades a la hora de llevar a cabo una resolución de la congestión, pero en general se pueden diferenciar tres pasos: priorización, reducción de la carga y verificación de la carga.

- a) Priorización: en éste caso se considera la priorización para el despacho de paquetes pero no exactamente para reducir la congestión, aunque de alguna manera ayuda a la estabilidad y principalmente, evita que se descarten paquetes por exceder su retardo máximo permitido.

- b) Reducción de la carga: se lleva a cabo mediante no aceptar ninguna solicitud de conexión hasta que la carga tenga cierto valor permitido. Esto es, el RRS indicará al CAC que no acepte más llamadas durante cierto tiempo porque se está en congestión.
- c) Verificación de la carga: después del inciso b), la verificación de la carga consiste en comprobar la condición que guardan los cuatro buffers (uno para cada clase de servicio) y activar o desactivar el control de la congestión. Si la congestión persiste se debe volver al inciso (b). Se considera que la congestión se **ha** solucionado si el factor de carga es inferior a cierto umbral $(\eta \ll \eta_{CR})$ durante cierto intervalo de tiempo ΔT_{CR} .

3.- Recuperación de la congestión: resulta necesario un paso de recuperación de la congestión. Este paso consiste en volver a aceptar llamadas una vez que la congestión se ha solucionado, en este momento el RRS indicará al CAC que puede aceptar más llamadas.

Por otra parte, el RRS también estará encargado de sensar cada cierto periodo de tiempo el estado que guarda el canal inalámbrico en función de η_{BG} (ruido de fondo que indica las condiciones del canal inalámbrico). Esto servirá para que el RRS informe al TD de las condiciones del canal y éste pueda despachar los paquetes contenidos en los buffers. Si las condiciones del canal inalámbrico son las adecuadas, el TD despachará los paquetes a la máxima tasa de despacho o transmisión permitida R_i , en caso contrario, el TD reducirá la velocidad de transmisión según el valor de η_{BG} . En caso de que las condiciones malas del canal persistan, se tiene como alternativa no aceptar llamadas durante un instante de tiempo (fracciones de segundo), ya que de no hacer esto se podría entrar en congestión. En este sentido el mínimo ruido que puede ser sensado por el RRS, se obtiene por la fórmula general de potencia de ruido térmico descrita en [41] y que se muestra en la ecuación (3-3).

$$N_T = 10 \log_{10}(KTB) \quad (3-3)$$

Donde:

N_T = Potencia de ruido térmico en (dBW).

K = Proporcionalidad de la constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23} J/^{\circ}K$)

T = Temperatura (290°K).

B = Ancho de banda ($5 \times 10^6 Hz$).

Calculando se tiene que: $N_T = -136.98 \text{ dBW} = -106.98 \text{ dBm}$ siendo este valor la referencia para la máxima tasa de despacho. Así pues, para un valor de η_{BG} sensado por el RRS, existirá un valor correspondiente de paquetes que serán despachos.

3.2.4 Despachador de tráfico

En este módulo se presenta una solución que considera dos partes. Primeramente el algoritmo para calcular el ruido de fondo agregado por una nueva conexión, que se realiza mediante la evaluación de la ecuación (3-5); la cual es obtenida de la ecuación (3-4) presentada en [31, 42]. Posteriormente la parte para llevar a cabo el despacho de los paquetes, se realiza mediante una solución propuesta en este trabajo.

Así pues, este elemento es el encargado de despachar los paquetes de los buffers y como se mencionó anteriormente, la velocidad o tasa de despacho estará sujeta al valor de η_{BG} medido por el RRS. En este sentido la ecuación (3-4) es considerada.

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_i = \frac{\frac{G_{bi} P_i}{R_i}}{\left(\sum_{j \neq i}^M G_{bj} P_j + \eta_{BG} \right) / W} \quad (3-4)$$

De la ecuación (3-4) se despeja el parámetro η_{BG} y de esta forma se tiene que:

$$\eta_{BG} = \left[\frac{G_{bi} P_i}{R_i} \right] \left[\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_i \right] W - \sum_{j \neq i}^M G_{bj} P_j \quad (3-5)$$

Donde:

p_i = Nivel de potencia del móvil i-ésimo (limitado por un valor de potencia máximo p^{\max}).

p_j = Nivel de potencia en función del número de móviles M .

G_{bi} = Pérdidas del enlace en la trayectoria entre la estación móvil i y la estación base b .

G_{bj} = Pérdidas del enlace en función del número de móviles M .

M = Número de usuarios móviles.

R_i = Tasa de bit transmitida del móvil i -ésimo.

W = Ancho de banda.

η_{BG} = Ruido de fondo debido al ruido térmico contenido en W .

$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)$ = Energía de bit entre densidad espectral de potencia del ruido del móvil i -ésimo.

Para el despacho se presenta una solución en la cual el despacho de los paquetes está considerado bajo un esquema de prioridades, considerando los servicios con características de retardo más estrictas, en este sentido, el servicio conversacional será el de mayor prioridad (primero en ser despachado), por el contrario, el servicio background será el de menor prioridad (último en ser despachado). Así también la cantidad de paquetes que serán despachados para cada clase de servicio estará en función a esta prioridad; esto quiere decir, que para una cierta cantidad de paquetes despachados el 40% serán de tipo conversacional, el 30% de tipo streaming, el 20% de tipo interactivo y el 10% de tipo background. Por lo que es claro darse cuenta que el retardo máximo permitido es el principal criterio considerado y en el cual está basada la lógica de despacho implementada.

3.3 Modelo de radio propagación

Los mecanismos detrás de la propagación de ondas electromagnéticas son diversos, pero generalmente pueden ser atribuidos a: reflexión, difracción y dispersión. En la actualidad la mayoría de los sistemas de radio celular, operan en áreas donde no hay línea de vista directa entre el transmisor y el receptor.

En ambientes exteriores se consideran parámetros como: el perfil topográfico, la presencia de árboles, edificios y otros obstáculos. Los métodos varían ampliamente en su complejidad y aproximación, ya que la mayoría están basados en una interpretación sistemática de mediciones de datos obtenidos del área de servicio.

La radio propagación de interiores es caracterizada por los mismos mecanismos que la de exteriores. Sin embargo, las condiciones varían mucho más en función de diferentes factores físicos, que involucran tanto el diseño de los edificios, como su altura y los materiales con los que son construidos, provocando severas pérdidas por difracción.

Partiendo de lo anterior dichas características deben ser tomadas en cuenta para poder estimar las pérdidas por propagación. Los modelos de radio propagación son herramientas muy útiles para estas situaciones. Así pues, para llevar nuestra aplicación a un ambiente real de simulación, fue necesaria la búsqueda de un modelo que aplicara a las características propias del sistema UMTS.

El modelo de radio propagación considerado es el de Manhattan descrito en [42]. Para este modelo el cálculo de las pérdidas en la trayectoria se obtiene con la ecuación (3-6).

$$P_L(R_K) = 142.37 + 29.74 \log f_G + 50.37 \log R_K \quad (3-6)$$

Donde:

P_L = Pérdidas de trayectoria sin línea de vista en (dB).

R_K = Separación entre la estación móvil y la estación base en Km ($0.05 < R_K < 3$)

f_G = Frecuencia central o de portadora en GHz ($0.9 < f_G < 2$).

Aplicando la ecuación anterior se obtienen las pérdidas de trayectoria para los escenarios en UMTS y que se utilizan para el cálculo de η_{BG} .

- Picocélula (0.1 Km): $P_L = G_{bi} = 100.790 \text{ dB}$.
- Microcélula (1 Km): $P_L = G_{bi} = 151.160 \text{ dB}$.
- Macrocélula (3 Km): $P_L = G_{bi} = 175.192 \text{ dB}$.

Las razones por las cuales se eligió este modelo son:

- Porque la ecuación (3-4) que sirve de base para el cálculo de η_{BG} , es aplicada sobre un modelo de radio propagación Manhattan.
- También porque este modelo es aplicado en algunos trabajos desarrollados por la Universidad Politécnica de Madrid referentes a sistemas de 2.5G y 3G.

3.4 Parámetros para evaluar la eficiencia

A continuación se muestran los parámetros para las estrategias consideradas en la administración de la QoS del esquema RRM. Los valores que se presentan son obtenidos en su gran mayoría de las especificaciones 3GPP [5] y del proyecto ARROWS [35]. No obstante algunos parámetros

son propuestos en este trabajo como es el caso de la tasa de transmisión de 64 Kbps. La tabla 3-3 resume los parámetros considerados para las diferentes clases de servicio.

Tabla 3-3 Parámetros por clase de servicio.

Parámetros	Servicios			
	Conversacional	Streaming	Interactivo	Background
f	0.6 [35]	0.6 [35]	0.6 [35]	0.6 [35]
SF_1	de 4 a 256 [5]	de 4 a 256 [5]	de 4 a 256 [5]	de 4 a 256 [5]
$\left(\frac{E_b}{N_0}\right) (dB)$	4.57 [5]	4.25 [5]	4.69 [5]	4.69 [5]
v_i	0.67 [35]	0.57 [35]	0.47 [35]	0.37 [35]
r	1/3 [5]	1/3 [5]	1/3 [5]	1/3 [5]
$R_i (Kbps)$	64, 144, 384 y 2048 [5]	64, 144, 384 y 2048 [5]	64, 144, 384 y 2048 [5]	64, 144, 384 y 2048 [5]
$\eta_{CD} (\%)$	0.8 [35]	0.8 [35]	0.8 [35]	0.8 [35]
$\eta_{CR} (\%)$	0.7 [35]	0.7 [35]	0.7 [35]	0.7 [35]
η_{max}	0.6 [35]	0.6 [35]	0.6 [35]	0.6 [35]

La tabla 3-4 contiene los parámetros de los escenarios del sistema UMTS.

Tabla 3-4 Parámetros por escenario.

Parámetros	Escenario		
	Picocélula	Microcélula	Macrocélula
$p_i (dBm)$	14 [5]	14 [5]	21 [5]
$p^{max} (dBm)$	21 [5]	21 [5]	21 [5]
$R_x (km)$	0.1 [42]	1 [42]	3 [42]
$f_0 (GHz)$	1.975 [42]	1.975 [42]	1.975 [42]
$W (MHz)$	5 [5]	5 [5]	5 [5]

3.5 Eficiencia del RRM

La eficiencia del RRM estará dada en función de la capacidad para mantener la carga en un valor adecuado, esto es, si las condiciones $(\eta \leq \eta_{CR})$ y $(\eta \geq \eta_{CD})$ no se presentan o en su defecto se

presentan durante un periodo de tiempo muy pequeño (menor a ΔT_{CR} y ΔT_{CD} respectivamente) el sistema será eficiente, en caso contrario no lo será; así también se buscará que el tiempo entre congestión sea lo más grande posible. Así pues se trata de tener al sistema trabajando de forma estable, con la máxima capacidad de aceptación de llamadas (usuarios móviles), pero sin sobrepasar los factores de los umbrales de carga permitidos. En la figura 3-3 se muestra la forma de representar la eficiencia del esquema RRM en la estrategia de control de congestión [40]. Considerando que la figura mostrada fue obtenida con un simulador de eventos discretos (OPNET), es importante mencionar que únicamente ha servido como una forma de representar el comportamiento de la carga en los diferentes niveles o estados de la misma, ya que para los resultados obtenidos en este trabajo no existe una comparación directa.

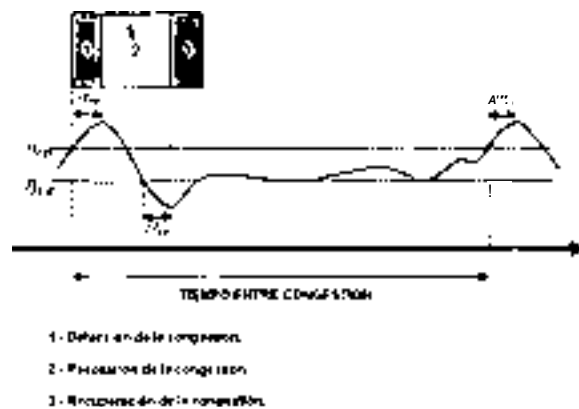


Figura 3-3 Representación de la eficiencia del RRM [40].

3.6 Generador de paquetes

Para llevar a cabo la simulación del esquema propuesto se decidió utilizar paquetes IP como tráfico de información, por lo que fue necesario llevar a cabo la búsqueda de algún generador de paquetes para dar solución a esta parte del trabajo. En este sentido se analizaron y revisaron varias herramientas de software encontradas para este fin. Después de considerar varias herramientas para la generación de paquetes IP, se concluyó que el Software *“Ultra Network Sniffer”* cumple con las necesidades requeridas de versatilidad y uso sencillo para nuestra aplicación[43]. Sus características más importantes son:

- 1.- Monitorear y capturar tráfico de red en tiempo real.
- 2.- Filtrar paquetes por tipo de protocolo y/o por tipo de dirección IP

- 3.- Guardar en un documento de texto (*.txt) los paquetes para después ser utilizados.
- 4.- Enviar paquetes en tiempo real desde el generador de paquetes.
- 5.- Versatilidad porque es posible modificar desde la ventana “Data Frame Editor” los parámetros del paquete.
- 6.- Manejar diferentes protocolos como son: ETHERNET, TCP, UDP, IP, etc.
- 7.- Guardar tráfico de red en archivos (*.npd) para su posterior análisis.
- 8.- Operar sobre plataforma Windows 95, 98, 2000, NT, ME y XP.

Considerando lo anterior, se adquirió una licencia para uso ilimitado tanto en capacidad como en tiempo, la cual está a disposición en el disco incluido con este documento para trabajos futuros relacionados a ésta u otras tesis.

La manera de utilizar esta herramienta para generar los paquetes IP y los archivos de datos .txt se describe a continuación. La explicación es resumida ya que para más detalles, en el software se proporciona un tutorial de ayuda que explica todas las características del mismo.

Paso 1: Primeramente seleccionar el adaptador de red (en este trabajo se seleccionó la tarjeta *NZC Fast Ethernet PC*). En la figura 3-4 se muestra la ventana “*SelectAdapter*” en donde se lleva a cabo esta acción.



Figura 3-4 Ventana “*Select Adapter*” para la selección del adaptador de red.

Paso 2: Ya seleccionado el adaptador de red, llevar a cabo la captura de paquetes haciendo clic en *Capture* luego *Start* en el menú principal. En este momento de manera automática se abre la ventana “*ProtocolPacket Analyst*” para mostrar la lista de paquetes capturados. En la figura 3-5 se presenta la ventana que muestra los paquetes como van llegando desde la red. Para detener la captura de paquetes hacer clic nuevamente en *Capture* luego *Stop*.

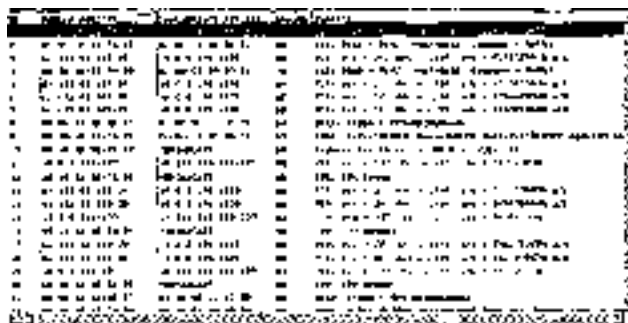


Figura 3-5 Ventana “Protocol Packet Analyst” para la captura de paquetes.

Paso 3: Una vez capturadas una cierta cantidad de paquetes, seleccionar o escoger uno de ellos. En este trabajo el paquete seleccionado es de tipo UDP; ya que la elección fue con base en el tipo de protocolo. Ya seleccionado el paquete, debe ser arrastrado con el botón derecho del ratón, desde la ventana “Protocol Packet Analyst” hasta la ventana “Packet Generator” mostrada en la figura 3-6. El “Packet Generator” permite editar y enviar paquetes a la red. Para abrir el generador de paquetes hacer clic en *Tools* después *Packet Generator* en el menú principal.



Figura 3-6 Ventana “PackerGenerator” para editar y enviar paquetes a la red

Paso 4: Una vez que el paquete ya se encuentra en el “Packet Generator”, pueden ser modificados los parámetros que se deseen. Para lograr esto, seleccionar el paquete luego hacer clic en la opción *Modify dataframe* y aparecerá la ventana “DataFrame Editor” mostrada en la figura 3-7. Es en esta ventana donde se pueden realizar todas las modificaciones a los parámetros del paquete seleccionado. En este trabajo los parámetros modificados fueron: el tamaño del paquete, el campo TOS, la dirección IP fuente y destino. Terminado este proceso es importante mencionar **que** para que los cambios tengan efecto, se debe hacer clic en la opción OK y la ventana “DataFrame Editor” se cerrará de manera automática.



Figura 3-7 Ventana “Data Frame Editor” para cambiar parámetros en lospaquetes.

Paso 5: Una vez que el paquete fue editado con los nuevos parámetros, se debe llevar a cabo la configuración de filtrado en la ventana “Network Analyst Options” mostrada en la figura 3-8. Para que aparezca esta ventana hacer clic en *Monitor* luego *Options...* en el menú principal. Para un buen filtrado es recomendable que este proceso se realice por tipo de protocolo (mediante la opción *Protocol Filter*) y por tipo de dirección IP (con la opción *Advanced Filter*). El filtrado es necesario para bloquear el paso de paquetes diferentes al que fue editado, capturando únicamente los paquetes transmitidos desde la ventana “Packet Generator”. Por último es importante que al terminar la configuración de filtrado presione en la opción *OK* para que los cambios realizados en este paso tengan efecto.

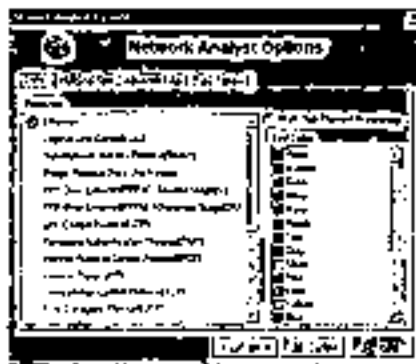


Figura 3-8 Ventana “Network Analyst Options” para filtrar paquetes.

Paso 6: Después de configurado el proceso de filtrado, enviar el paquete editado desde la ventana “Packet Generator”. Para efectuar esto, primero seleccionar el paquete, después en el menú hacer clic en *Option* y aparecerá la ventana de la figura 3-9. Es en esta ventana en la cual se configura la forma de enviar el paquete. En este trabajo la opción utilizada fue el envío en forma

continua mediante la selección *Continuous*. Es importante mencionar que la velocidad configurada nunca tendrá que ser mayor a la especificada en la tarjeta de red seleccionada.



Figura 3-9 Ventana "Packet Generator Option" para configurar la velocidad de envío.

Paso 7: Como último paso para capturar el paquete que fue editado y enviado desde la ventana "Packet Generator" debe repetirse el paso 2, esto es, abrir nuevamente la ventana "Protocol Packet Analyst" y esperar a que se acumulen la cantidad de paquetes que se quieran almacenar en el archivo de datos. El proceso para generar el archivo .txt se realiza mediante hacer clic en *Export packets and statistics*, darle un nombre al archivo, seleccionar el tipo de extensión y guardarlo en algún directorio. Una vez que se cuenta con el archivo de datos (archivo de paquetes) es leído con instrucciones de **MATLAB**, para simular el tráfico de información de los usuarios móviles en el esquema RRM propuesto. A continuación en la figura 3-10 se muestra la estructura de un paquete IP y la forma en que se encuentra almacenado en el archivo de datos.

```

Packet 0
-----
Source Address . . . : 192.168.100.96:138
Destination Address: 192.168.255.255:138
Protocol . . . . . : UDP
Summary . . . . . : UDP, src = 138, dst = 138, len = 228(0x00DA)
Type . . . . . : 17
Length . . . . . : 228
IP Header:
-----
Version: 4
Header Length: 20
Type of Service: 0
Total Length: 248
Identification: 0
Flags: 0
Fragment Offset: 0
Time to Live: 64
Protocol: 17
Checksum: 0x0000
Source Address: 192.168.100.96
Destination Address: 192.168.255.255
UDP Header:
-----
Source Port: 138
Destination Port: 138
Length: 228
Checksum: 0x0000
Payload:
-----
0000  1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F 1F  .....S...E.
0010  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0020  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0030  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0040  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0050  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0060  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0070  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0080  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0090  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0100  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0110  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0120  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0130  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0140  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0150  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0160  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0170  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0180  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0190  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0200  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0210  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0220  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0230  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0240  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0250  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0260  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0270  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0280  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0290  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0300  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0310  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0320  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0330  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0340  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0350  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0360  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0370  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0380  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0390  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0400  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0410  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0420  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0430  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0440  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0450  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0460  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0470  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0480  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0490  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0500  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0510  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0520  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0530  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0540  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0550  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0560  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0570  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0580  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0590  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0600  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0610  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0620  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0630  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0640  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0650  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0660  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0670  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0680  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0690  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0700  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0710  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0720  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0730  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0740  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0750  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0760  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0770  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0780  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0790  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0800  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0810  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0820  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0830  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0840  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0850  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0860  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0870  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0880  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0890  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0900  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0910  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0920  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0930  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0940  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0950  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0960  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0970  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0980  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
0990  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....
1000  00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00  .....

```

Figura 3-10 Estructura de un paquete IP [43].

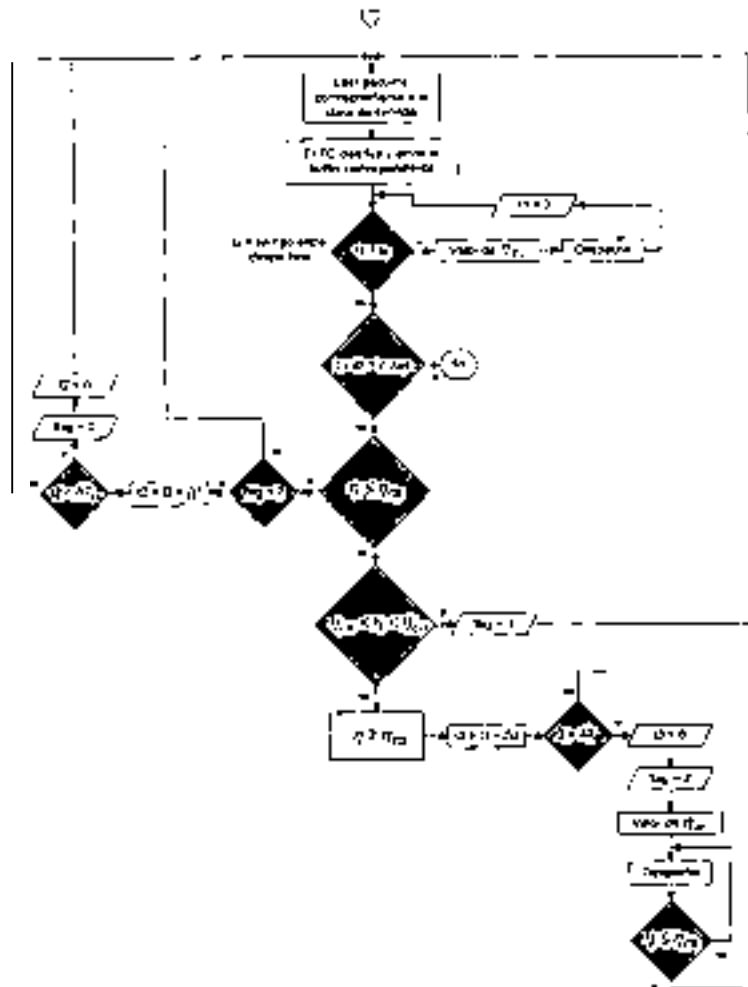


Figura 3-11 Diagrama de flujo que muestra de forma general el programa desarrollado.

3.8 Sumario

En este capítulo se presentó todo lo concerniente al diseño de un esquema RRM ,como propuesta para llevar a cabo la administración de la QoS en el sistema UMTS. Lo más importante a destacar son los criterios en la selección del RRM, así como también la propuesta de solución presentada. Con respecto al CAC, se propone una estrategia de admisión basada en la estimación de carga que se genera en la red de acceso. En lo que se refiere al TC, se presenta una solución de clasificación de paquetes basada en el modelo de servicio DiffServ. Posteriormente en el RRS se propone una estrategia de control de la congestión tomada del proyecto ARROWS, la cual busca mantener estable los niveles de carga que está almacenada en los buffers. En el TD se propone una planificación mediante priorización, la cual el servicio con características de retardo más

estricta, adquiere la mayor prioridad. Otro aspecto importante es lo concerniente al generador de paquetes, ya que no fue fácil encontrar la herramienta adecuada. Al final el “*Ultra Network Sniffer*” resultó ser la mejor elección para solucionar esta parte del trabajo, porque con esta herramienta, es muy fácil capturar paquetes y guardarlos en un archivo de datos. Por último, con respecto a la implementación se consideró MATLAB (por ser la herramienta más adecuada con que se disponía), aún cuando un simulador de eventos discretos se presentaba como la mejor opción, pero no se contaba con él y el costo para adquirirlo es muy elevado.

Capítulo 4

Evaluación del esquema RRM

Introducción

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones realizadas al esquema desarrollado para la administración de la QoS. El apartado 4.1 contiene las simulaciones realizadas para los parámetros reportados en el proyecto ARROWS, las especificaciones técnicas y lo propuesto, como es el caso de la longitud de los buffers. Primeramente en el apartado 4.1.1 se presenta la simulación con los parámetros fundamentales. En función a los resultados obtenidos desde el apartado 4.1.2 hasta el 4.1.7 se presentan una sene de simulaciones variando los parámetros para encontrar un mejor funcionamiento del esquema; los parámetros considerados en los diferentes casos son: el factor SF_i , el umbral η_{\max} , el margen de separación entre η_{CR} y η_{CD} así como el nivel de los mismos, el tiempo entre despachos y el tamaño de los paquetes. Posteriormente, en el apartado 4.1.8 se lleva a cabo la simulación para valores propuestos como mejora en el funcionamiento del esquema. Finalmente, en el apartado 4.2 se presenta el resumen de este capítulo.

4.1 Resultados de simulación

Las simulaciones del esquema RRM para la administración de la QoS fueron realizadas en MATLAB versión **6.0**. Los resultados obtenidos se basan en la representación de las estrategias de control de admisión, control de la congestión y comportamiento de la carga para cada clase de servicio. En lo que respecta al control de admisión, las gráficas obtenidas representan la

eficiencia de admisión al RRM (peticiones de usuarios contra usuarios aceptados). En el control de la congestión, se muestra el comportamiento de la carga en los diferentes estados que considera esta estrategia (fuera de congestión, estado estable y en congestión). Por último el comportamiento de la carga para cada clase de servicio, muestra como la clase de servicio con Características de retardo más estrictas (conversacional) se mantiene en valores bajos en relación al servicio más tolerante a este retardo (background).

4.1.1 Resultados basados en el proyecto ARROWS

A continuación se muestran los resultados de simulación considerando los parámetros que sirvieron como base para encontrar los valores más adecuados para un esquema eficiente, esto último es la mejora al esquema desarrollado de administración de la QoS. Los parámetros considerados se muestran en la tabla 4-1. Es importante mencionar **que** debido a que no fue posible utilizar un simulador de eventos discretos (por ejemplo el OPNET), la curva que es reportada por el proyecto ARROWS (ver figura 3-3) Únicamente sirvió de guía y se obtuvo un comportamiento similar en las simulaciones realizadas en este trabajo.

Tabla 4-1 Parametros base considerados.

Parámetro	Valor
(*) Separación entre los umbrales η_{CB} y η_{CR}	10%
(*) Nivel del umbral de congestión η_{CB}	80%
(*) Nivel del umbral fuera de congestión η_{CR}	70%
(*) Tiempo para activar el control de congestión: ΔT_{CB}	3 seg.
(*) Tiempo para desactivar el control de congestión: ΔT_{CR}	1 seg.
(*) Umbral de admisión η_{max}	0.6
(*) Factor de Spreading SF_{12}	256
(*) Tamaño de los paquetes	512 bytes
(-) Tiempo entre despachos	3 seg.
(-) Tiempo de simulación	3 minutos

(*) Tomado del proyecto ARROWS [35]

(+) Tomado de la especificación técnica 3GPP [5].

(-) Propuesto en este trabajo como característica del esquema desarrollada

La figura 4-1 muestra el comportamiento de la carga ante la estrategia de control de la congestión. Como se observa, el control de la congestión se está aplicando correctamente de

acuerdo a los pasos que éste debe seguir con respecto al valor de la carga en los buffers. Lo importante a considerar en esta gráfica es el tiempo que transcurre entre dos estados de congestión, ya que entre mayor sea este tiempo mejor es el desempeño obtenido. El tiempo entre congestión es definido como el tiempo que transcurre entre dos estados consecutivos en que entra en operación la estrategia de control de la congestión. Es importante recordar que el control de la congestión actúa Únicamente cuando la carga permanece por encima del umbral η_{CD} un tiempo ΔT_{CD} , esto se comenta porque como muestra la figura, no todos los instantes que la carga rebasa el umbral η_{CD} es activado el control de la congestión.

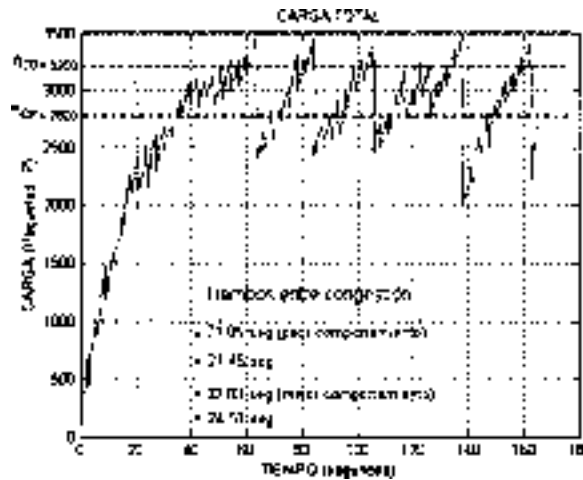


Figura 4-1 Estrategia de control de la congestión.

La figura 4-2 muestra la eficiencia en el control de admisión. Esta eficiencia es obtenida de los usuarios que solicitaron entrar al esquema RRM (peticiones) contra los que finalmente fueron admitidos. Las restricciones para poder acceder al esquema son: los parámetros solicitados por el usuario (estos deben ser congruentes tanto tasa de transmisión como escenario), el umbral η_{max} y que existan disponibles una cantidad de localidades suficientes para albergar los paquetes de la clase de servicio solicitada. Por lo tanto, cuando estas restricciones se han verificado y cumplido, el usuario puede acceder al RRM. En la implementación está considerada la posibilidad de que aún cuando alguna de las restricciones no se cumple, existe la opción de que el usuario pueda acceder al RRM, esto es, si por ejemplo un usuario solicita una tasa de transmisión que no puede ser soportada, debido a que no existen los recursos suficientes, el CAC le ofrecerá una tasa menor y ya será decisión del usuario móvil aceptar o rechazar este recurso disponible. La caída repentina que sufren ambas curvas (peticiones y aceptados) se presenta cuando el valor de η_{max} es

alcanzado, en este momento los usuarios aleatoriamente siguen conectados o no. Después de este proceso de desconexión es posible aceptar nuevamente a más usuarios.

La figura 4-3 muestra la cantidad de usuarios admitidos por clase de servicio. Recordando que se trata de un proceso aleatorio, la cantidad de usuarios que pueden ser admitidos al RRM no sigue un patrón definido, esto es, para una simulación determinada pueden presentarse más usuarios admitidos de la clase conversacional que de cualquier otra clase, mientras que en una nueva simulación esto puede corresponder a la clase de servicio background.

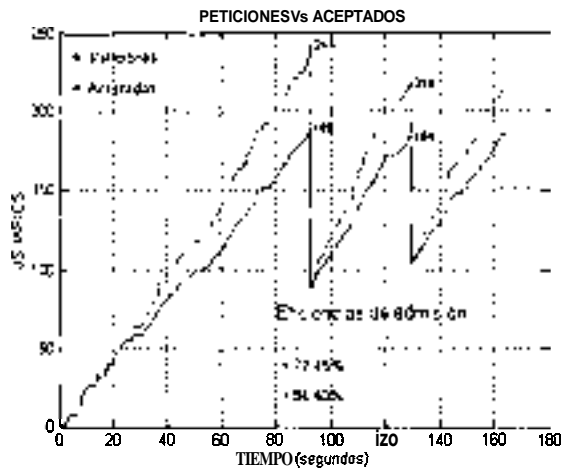


Figura 4-2 Estrategia de control de admisión.

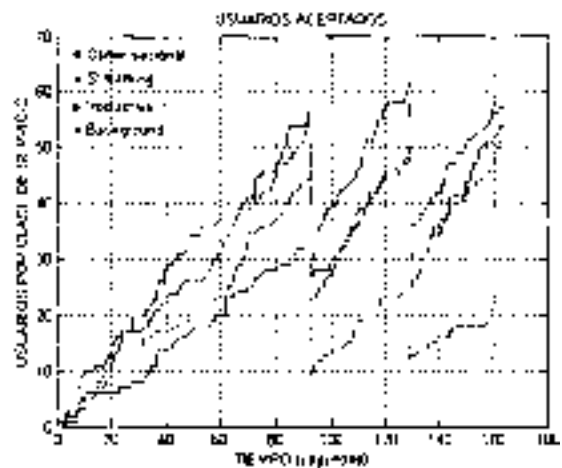


Figura 4-3 Usuarios admitidos por clase de servicio.

Se realizaron una buena cantidad de simulaciones donde la gran mayoría de estas (aproximadamente el 95%), presentaron un valor de la eficiencia de admisión mayor al 70%. Así pues, de las gráficas que muestran el control de admisión se establece **que:** los valores de eficiencia obtenidos son aceptables siempre y cuando estos se mantengan por encima del 70% de eficiencia.

En las figuras siguientes se pone de manifiesto el comportamiento de la carga para las cuatro clases de servicio. Primeramente en la figura 4-4 se muestra la carga para la clase de servicio background, como se mencionó en el capítulo 2 (ver tabla 2-1), la característica más importante a considerar en esta clase de servicio es mantener la integridad de los datos sin importar el retardo de transmisión, es por esto que la carga permanece en valores altos, lo que indica que la entrega de paquetes es lenta y en cantidades pequeñas. Es necesario precisar que aún cuando parece que

en algunas de las gráficas se alcanza el valor máximo de carga (1000 paquetes almacenados) esto no sucede, ya que de suceder indicaría la pérdida de paquetes por desbordamiento del buffer.

La figura 4-5 presenta la carga para la clase de servicio interactiva. En esta clase de servicio al igual que la clase de servicio background, es más importante la integridad de los datos que el retardo. Aún así esta figura muestra una entrega de paquetes más rápida al presentar mayores variaciones de carga y menores niveles de la misma.

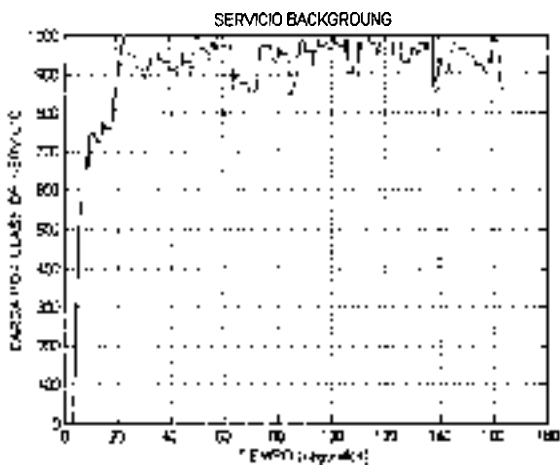


Figura 4-4 Carga del servicio background.

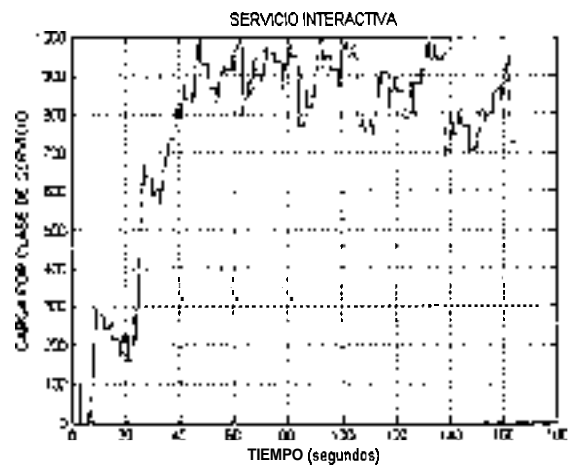


Figura 4-5 Carga del servicio interactivo.

La figura 4-6 muestra la carga para la clase de servicio streaming. Esta clase de servicio no es tan estricta en retardo, sin embargo, es necesario que la información sea entregada en valores aceptables. En este sentido, se puede observar que el nivel de carga no alcanza el máximo y las variaciones de la misma son mayores. Por último, la figura 4-7 presenta la carga de la clase de servicio conversacional. Esta clase de servicio es la más estricta en retardo y por tanto la que más rápidamente debe ser entregada a los usuarios, en este sentido se puede observar que durante la mayor parte de tiempo los niveles de carga son los más bajos de las cuatro clases de servicio. Esto se logra gracias a la máxima prioridad asignada a este servicio y también a la mayor cantidad de paquetes despachados cada vez que el TD lleva a cabo este proceso.

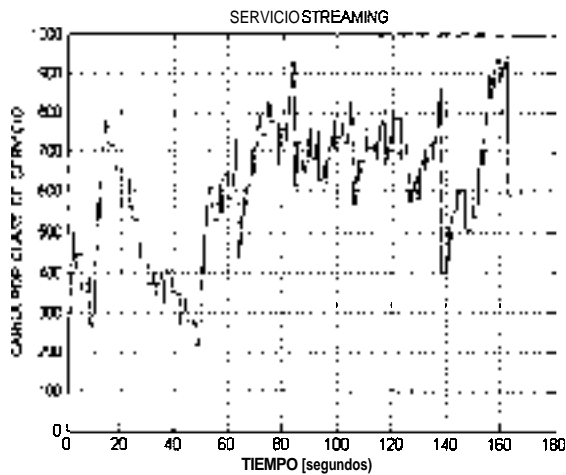


Figura 4-6 Carga del servicio streaming.

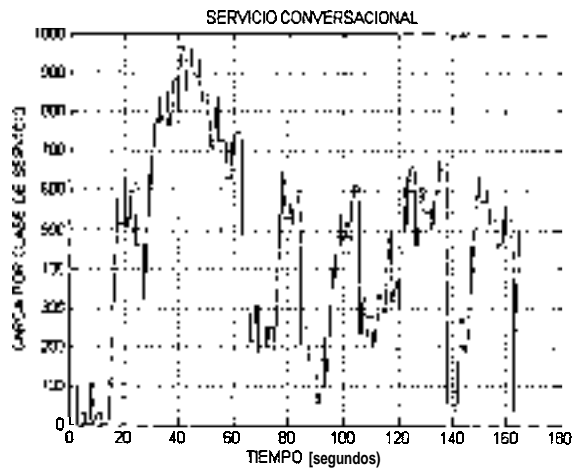


Figura 4-7 Carga del servicio conversacional.

De lo anterior se concluye que entre más bajos sean los valores de carga del servicio conversacional mejor QoS percibirán los usuarios que utilizan este servicio, mientras que para la clase de servicio background, lo más importante es la integridad de la información. Además de resaltar la importancia que tiene el tratar el tráfico de forma diferenciada (con prioridades), ya que con esto se resuelve una de las particularidades de UMTS, en donde se espera un gran número de aplicaciones a través de clases de servicio con características muy propias.

4.1.2 Impacto al variar el Factor de Spreading

Como se ha mencionado, la tecnología de acceso considerada para el sistema UMTS, es uno de los cambios más importantes dentro de esta evolución en las comunicaciones móviles. En esta nueva tecnología el valor de SF_i influye en la cantidad de usuarios que pueden compartir el ancho de banda. El SF_i especificado para UMTS varía de **4 a 256** en la trayectoria de subida (UL-Uplink) y de **4 a 512** en sentido contrario (DL-Downlink). Para mostrar el impacto que este parámetro tiene en la cantidad de usuarios admitidos, se llevó a cabo la simulación del esquema RRM para un valor de SF_i igual a 128. En este sentido, la figura 4-8 presenta el comportamiento de la carga para el control de la congestión, la cuál permanece sin cambios ante este parámetro. En lo que se refiere a la figura 4-9, el control de admisión presenta variaciones en comparación a los resultados obtenidos cuando el SF_i está al máximo valor especificado (**256** para el enlace de subida), en este caso, se observa como para un valor de SF_i de 128 la cantidad de usuarios admitidos al sistema disminuye hasta en un 40%, cada vez que se alcanza el umbral η_{max} .

resultados. Inicialmente, en la figura 4-10 se observa como el control de la congestión sigue operando de manera normal ante la variación de η_{max} siendo algo esperado en esta simulación. En contraste, la figura 4-11 muestra un aumento en la cantidad de peticiones así como de usuarios aceptados, manteniendo la eficiencia de admisión en un nivel aceptable (78.12%).

Continuado con el proceso de simulación, variando parámetros para lograr un mejor desempeño del esquema desarrollado, se encontró que el umbral η_{max} al igual que el SF , nos permite aumentar la cantidad de usuarios que pueden ser atendidos por el RRM. En este sentido, es lógico pensar que si el umbral de admisión es mayor, la cantidad de usuarios que pueden ser admitidos al sistema será mayor. Para comprobar esto se cambió el valor del umbral η_{max} de 0.6 a 0.95 (en ARROWS se especifica que η_{max} puede ser máximo la unidad) encontrando los siguientes

4.1.3 Impacto al variar el umbral de admisión

Por lo tanto, se concluye que el valor del Factor de Spreading como parámetro en el acceso inalámbrico tiene gran impacto en la cantidad de usuarios que puedan ser atendidos por el RRM, además, si se considera que el ancho de banda es un recurso escaso y costoso, lo deseable es mantener este parámetro en el máximo valor permitido (256 para el enlace de subida), para el mejor aprovechamiento del ancho de banda.

Figura 4-8 Estrategia de control de la congestión ($SF_1 = 128$ y $\eta_{max} = 0.6$)

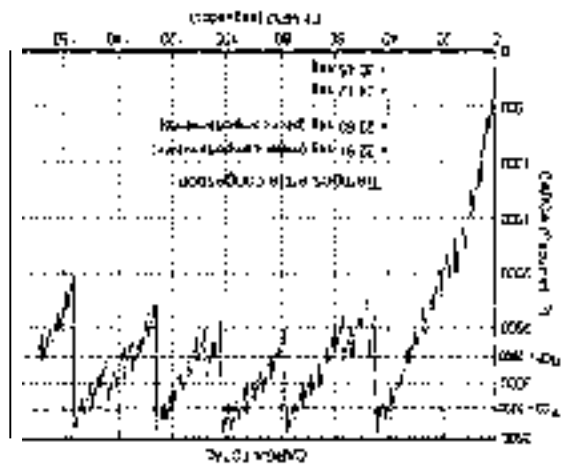
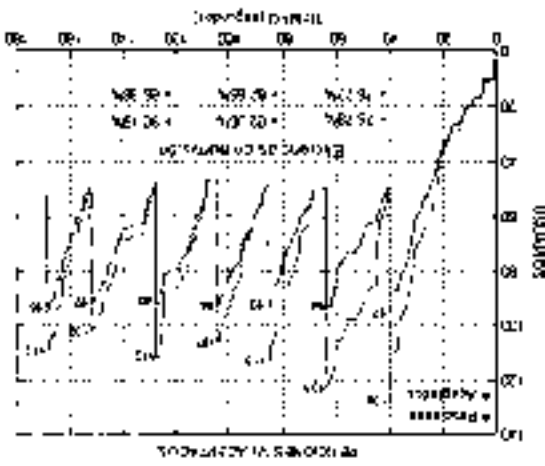


Figura 4-9 Estrategia de control de admisión ($SF_1 = 128$ y $\eta_{max} = 0.6$)



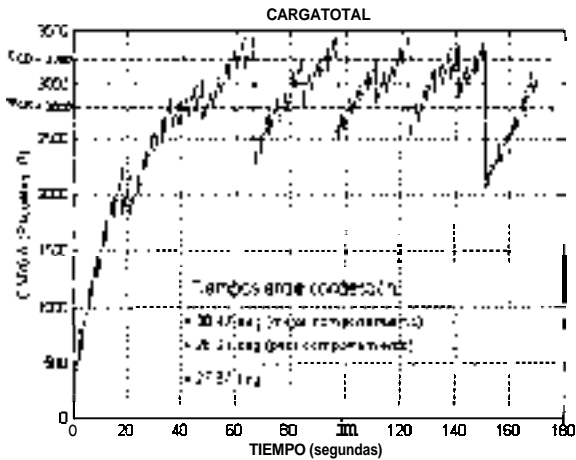


Figura 4-10 Estrategia de control de la congestión ($\eta_{\max} = 0.95$).

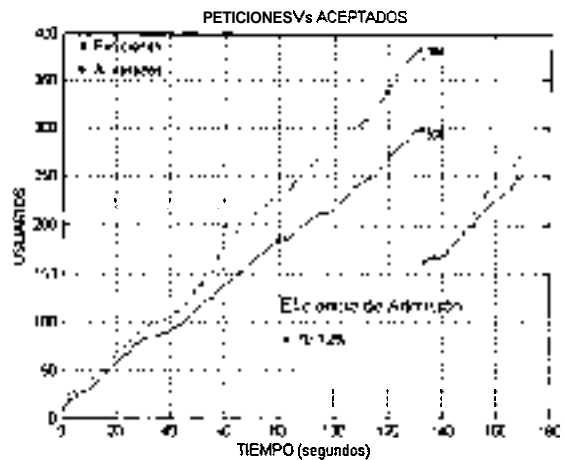


Figura 4-11 Estrategia de control de admisión ($\eta_{\max} = 0.95$).

Así pues, para este caso se concluye que a mayor valor del umbral de admisión mayor cantidad de usuarios admitidos, aún cuando para poder atenderlos a todos se necesita mayor tiempo.

4.1.4 Impacto al variar el porcentaje de separación entre η_{CR} y η_{CD}

Como se pudo observar, los dos casos anteriores impactaron en la estrategia del control de admisión, sin embargo, para obtener un esquema más eficiente es necesario identificar parámetros **que** mejoren también el control de la congestión, esto es, identificar parámetros que ayuden a que los tiempos entre congestión sean mayores. En relación a esto se encontró que de manera sencilla y práctica, es posible aumentar el tiempo entre congestión aumentando la separación entre los umbrales η_{CR} y η_{CD} .

Bajo este supuesto, en la figura 4-12 se puede observar como aumentando a **20%** la separación de estos umbrales, es posible alcanzar tiempos entre congestión mayores, en ocasiones del doble en comparación a los valores obtenidos cuando la separación de estos umbrales era del 10% (como se presenta en la figura 4-1). Con respecto a la figura 4-13, se observa un comportamiento normal y eficiencias aceptables para la estrategia de control de admisión.

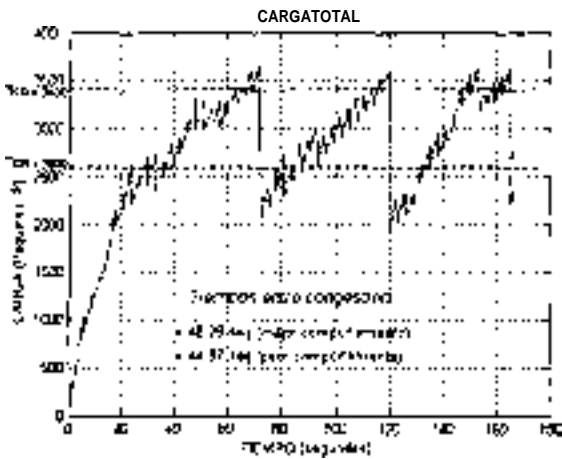


Figura 4-12 Estrategia de control de la congestión (20% de separación entre η_{CR} y η_{CD}).

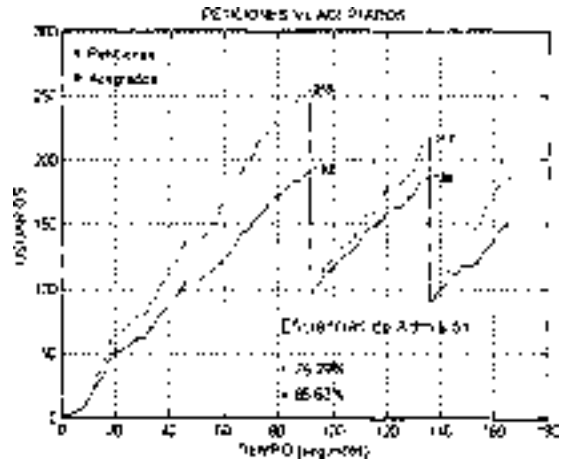


Figura 4-13 Estrategia de control de admisión (20% de separación entre η_{CR} y η_{CD}).

De lo anterior se concluye que para un mejor comportamiento del RRM, los umbrales que actúan en el control de la congestión deberían estar separados un 20%, ya que esto resulta en tiempos más holgados entre estados de congestión. También es importante mencionar que para esta consideración no se encontraron restricciones **que** impidan llevar a cabo la variación de los umbrales.

4.1.5 Impacto al variar el tiempo entre despachos

Otro factor que tiene gran impacto en el comportamiento del RRM es el valor del tiempo entre despachos. En nuestra aplicación esta variable pudiera tomar cualquier valor, sin embargo, para un valor muy grande o muy pequeño, el comportamiento del RRM se ve inoperable en alguna de sus estrategias. Considerando esto, a continuación se muestran los resultados de simulación obtenidos con tiempos entre despachos de 2 y 4 segundos.

4.1.5.1 Despachos cada 2 segundos

En la figura 4-14 se muestra el comportamiento que tiene la carga para un tiempo entre despachos de 2 segundos. Como se puede observar, los umbrales para el control de la congestión no son alcanzados y por tanto, resulta inoperable esta estrategia para la administración de la QoS. Esto no es práctico ni justificado ya **que** en la mayoría de los sistemas planteados para la administración de la QoS, se considera que la carga presenta estados no deseados que deben ser

controlados. Sin embargo, lo rescatable de esta simulación es que al tener un tiempo entre despachos pequeño, ayuda a que los paquetes sean entregados más rápidamente a los usuarios.

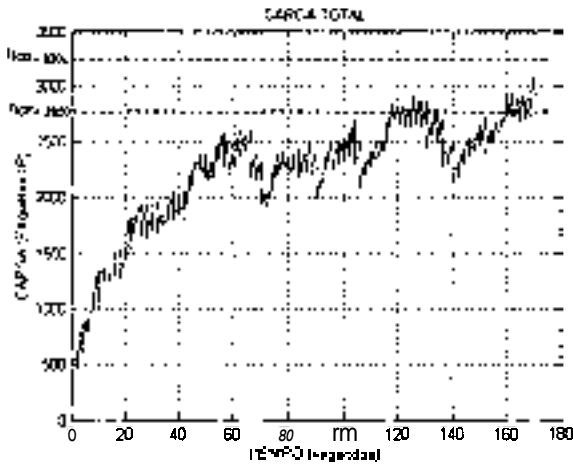


Figura 4-14 Estrategia de control de la congestión (despachos cada 2 segundos).

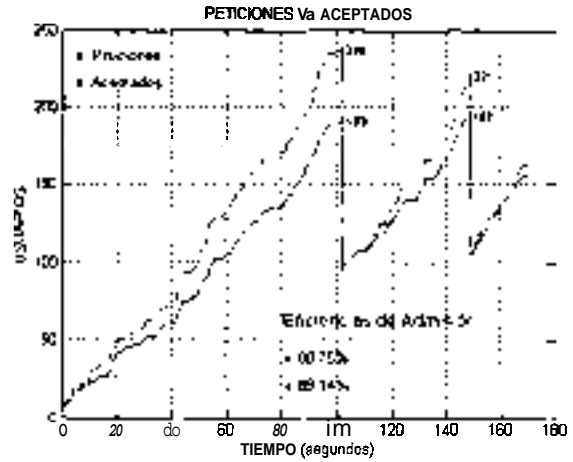


Figura 4-15 Estrategia de control de admisión (despachos cada 2 segundos).

Con respecto a la figura 4-15, se muestra un comportamiento normal del control de admisión ante esta consideración, resaltando que con tiempos entre despacho pequeños (como en este caso) es posible alcanzar una mejor eficiencia de admisión, como consecuencia de una descarga rápida de los “buffers”.

4.1.5.2 Despachos cada 4 segundos

En la figura 4-16 se muestra el comportamiento de la carga para un valor de despachos de cada 4 segundos. En este caso, las veces que se alcanza el estado de congestión es mayor y el tiempo entre congestiones se ve reducido a valores en donde el RRM es menos eficiente; además de que aumentando este parámetro la entrega de los paquetes es más lenta, lo que para las clases de servicio conversacional y streaming no es factible. La figura 4-17 muestra la estrategia de control de admisión para este valor, presentándose sin cambios que resaltar como era de esperarse.

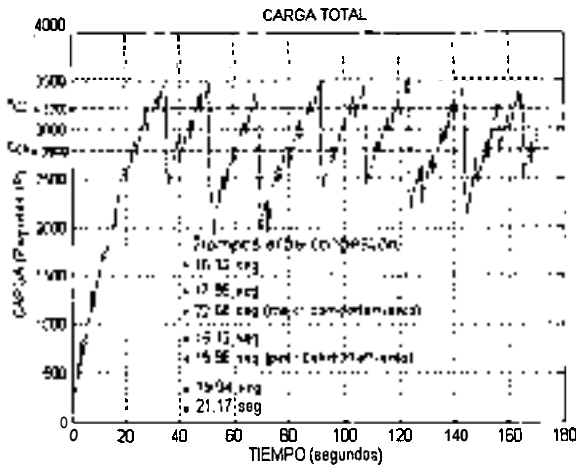


Figura 4-16 Estrategia de control de la congestión (despachos cada 4 segundos).

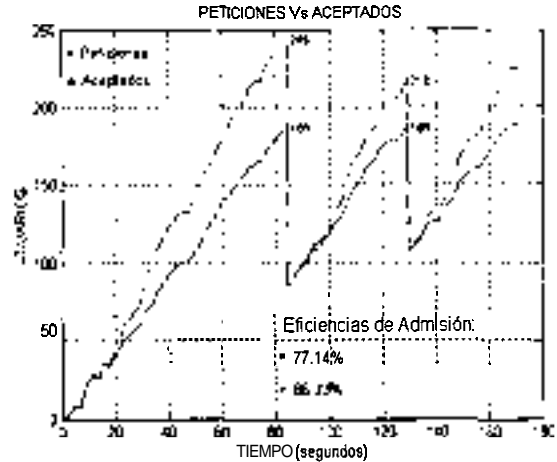


Figura 4-17 Estrategia de control de admisión (despachos cada 4 segundos).

De las gráficas mostradas en esta evaluación se puede concluir que:

- Es necesario que el valor del tiempo entre despachos no excluya la operación de alguna de las estrategias sobre las cuales el esquema RRM está diseñado.
- Además este valor debe ser tal que la entrega de los paquetes sea lo más rápida posible, considerado la importancia que el retardo tiene en dos de las cuatro clases de servicio definidas en UMTS.

Así pues, en resumen esto radica en definir un valor para el tiempo entre despachos donde se logre un equilibrio entre las estrategias implementadas en el RRM.

4.1.6 Impacto al variar el nivel de los umbrales η_{CR} y η_{CD}

Considerando las conclusiones obtenidas de las simulaciones realizadas en el punto anterior, a continuación se presenta una posible solución basada en colocar los umbrales η_{CR} y η_{CD} al 20% y 30% de la carga total respectivamente. Bajo este planteamiento, la figura 4-18 muestra el comportamiento del control de la congestión con despachos cada segundo. Con estos valores se puede observar que los tiempos entre congestión se incrementan, llegando a ser parecidos a los obtenidos en el punto 4.1.4, pero ahora con una separación entre umbrales del 10%.

En la figura 4-19, se muestra una mejora en la eficiencia de admisión (hasta del 94.20% como la mejor eficiencia de admisión al RRM), debido a que con despachos rápidos existen más localidades desocupadas en los buffers, resultando un mayor incremento en la cantidad de usuarios que pueden ser aceptados. Además como los paquetes son entregados más rápido, los servicios que consideran el retardo como algo crítico experimentan su mejor comportamiento.

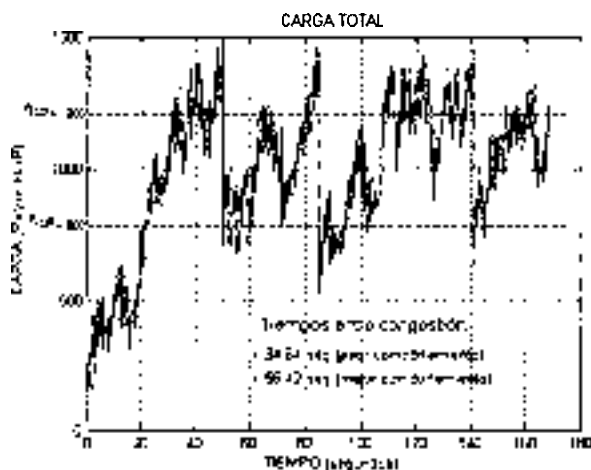


Figura 4-18 Estrategia de control de la congestión (η_{CR} al 20% y η_{CD} al 30%).

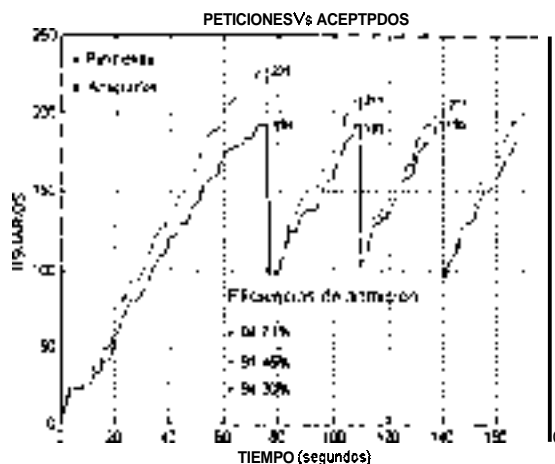


Figura 4-19 Estrategia de control de admisión (η_{CR} al 20% y η_{CD} al 30%).

La conclusión de esta simulación es que aún cuando se obtuvieron muy buenos resultados en las estrategias implementadas en el esquema RRM, no es considerada como la mejora del esquema, ya que al colocar los umbrales η_{CR} y η_{CD} en un nivel muy bajo, se está desaprovechando la capacidad de los buffers, teniendo una carga total máxima de aproximadamente 1500 paquetes (mientras que en la figura 4-1 se presenta una carga total máxima de cerca de 3500 paquetes).

4.1.7 Impacto al variar el tamaño de los paquetes

Dentro de las especificaciones para la QoS en UMTS, se reporta que el tamaño de las SDUs (en este trabajo cada Unidad de Datos de Servicio (SDU) es considerada como un paquete IP) puede variar de 0 a 1500 bytes (ver tabla 2-3), considerando esto se llevó a cabo la evaluación de la QoS con paquetes de 256 y 1024 bytes. La finalidad de esta simulación es verificar que posible mejora o deficiencia presenta el esquema desarrollado, en este sentido, a continuación se muestran los resultados obtenidos en ambos casos.

4.1.7.1 Paquetes de 256 bytes

Las figuras 4-20 y 4-21, muestran el control de la congestión y de admisión para paquetes de 256 bytes respectivamente. Para el control de admisión, se observa que el cambio en el tamaño de los paquetes, repercute tanto en una disminución de la eficiencia de admisión como en el tiempo que transcurre para alcanzarse el umbral η_{max} , esto último se observa en las veces que el proceso de desconexión tiene que entrar en operación.

La eficiencia de admisión se ve afectada a consecuencia de que:

- A menor tamaño de los paquetes es necesario una mayor cantidad de estos para atender al servicio solicitado (ver tabla 3-2).
- Y a mayor cantidad de paquetes para un servicio dado, mayor cantidad de localidades son necesarias en los buffers y por lo tanto existe una menor probabilidad de aceptar una nueva petición.

En lo referente a la cantidad de veces que se alcanza el umbral η_{max} (en este caso sólo fue alcanzado en una ocasión), se presentó de esta manera ya que fue necesario disponer de más tiempo para leer una mayor cantidad de paquetes de los servicios solicitados por los usuarios y por lo tanto, la cantidad de usuarios atendidos fue menor. Con respecto al control de la congestión no se observó ninguna variación para paquetes de 256 bytes.

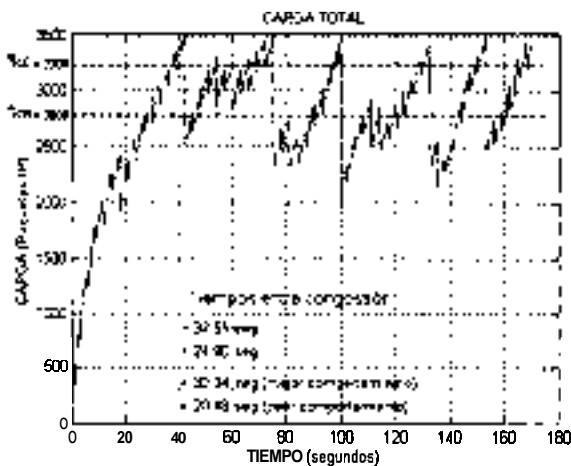


Figura 4-20 Estrategia de control de la congestión (paquetes de 256 bytes).

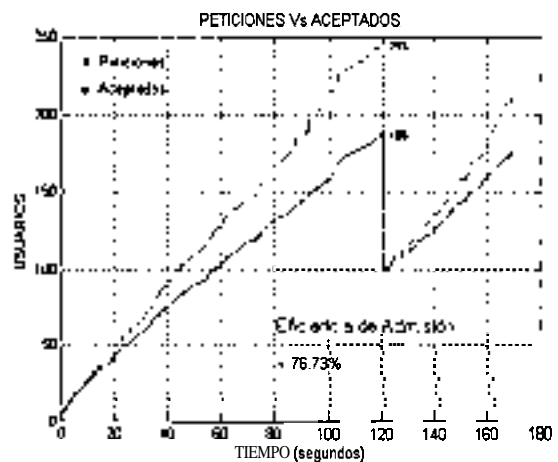


Figura 4-21 Estrategia de control de admisión (paquetes de 256 bytes).

4.1.7.2 Paquetes de 1024 bytes

En el punto anterior la eficiencia de admisión se ve afectada por considerar paquetes de tamaño pequeño, mientras que la estrategia de admisión mostrada en la figura 4-23 presenta el comportamiento opuesto para paquetes de 1024 bytes.

Este comportamiento opuesto es debido a que:

1. A mayor tamaño de los paquetes es necesario una menor cantidad de estos para responder a un servicio solicitado (ver tabla 3-2).
2. Y a menor cantidad de paquetes para un servicio dado, menor cantidad de localidades son necesarias y por lo tanto existe una mayor probabilidad de aceptar una nueva petición

El hecho de observar que más veces se alcanzó el umbral η_{max} , es debido a que al requerir una menor cantidad de paquetes para los servicios solicitados, fue posible atender a una mayor cantidad de usuarios. Por último, el control de la congestión de la figura 4-22 muestra un comportamiento sin cambios para paquetes de 1024 bytes.

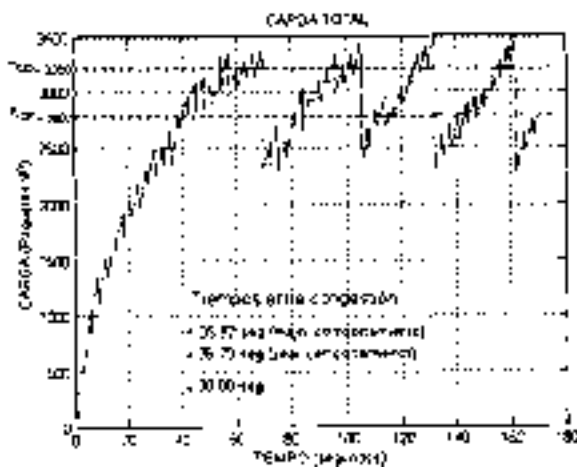


Figura 4-22 Estrategia de control de la congestión (paquetes de 1024 bytes).

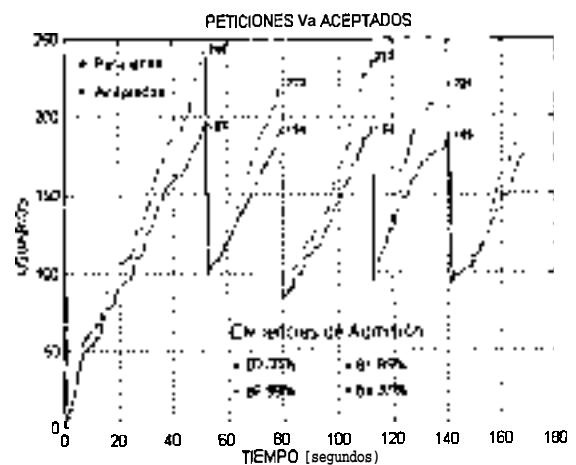


Figura 4-23 Estrategia de control de admisión (paquetes de 1024 bytes).

De las simulaciones realizadas para paquetes de 256 y 1024 bytes, se concluye que el esquema RRM únicamente presentará variaciones en la estrategia de control de admisión. En el caso de paquetes de menor tamaño se presenta un retardo, al tener que procesar una mayor cantidad de paquetes, contrario al caso donde se utilizan paquetes de mayor tamaño.

Para esta simulación los resultados obtenidos no muestran problemas en el funcionamiento del esquema, dejando en claro que el rango de valores que puede tomar el tamaño de las SDUs, puede ser aplicado en el esquema RRM.

4.1.8 Parámetros para un mejor desempeño

Como se mencionó anteriormente la mejora de este trabajo, está basada en proponer los valores más adecuados para un mejor desempeño o funcionamiento del esquema RRM, y con esto conseguir una eficiencia aceptable en la administración de la QoS. Los valores que se proponen se muestran en la tabla 4-2 y son aquellos para los cuales se presenta el mejor comportamiento en las diferentes estrategias consideradas. Los valores propuestos están fundamentados en el análisis realizado a todos los casos expuestos y que están reportados como resultados de investigación. En realidad sólo tres parámetros fueron modificados, ya que son los **que** más impactan en el comportamiento del esquema.

Tabla 4-2 Parámetros para un mejor desempeño.

Parámetro	Valor
Separación entre los umbrales η_{CD} y η_{CR}	20%
Nivel del umbral de congestión η_{CD}	80%
Nivel del umbral fuera de congestión η_{CR}	70%
Tiempo para activar el control de congestión ΔT_{CD}	3 seg
Tiempo para desactivar el control de congestión ΔT_{CR}	1 seg
Umbral de admisión η_{ms}	0.95
Factor de Spreading SF_1	256
Tamaño de los paquetes	512 bytes
Tiempo entre despachos	3 seg
Longitud de cada buffer	1000 localidades
Tiempo de simulación	3 minutos

La figura 4-24 muestra la estrategia de control de la congestión, en donde la carga presenta tiempos más holgados entre congestión como medida de la eficiencia para esta estrategia. La figura muestra un tiempo entre congestión de más del doble que el presentado para los

parámetros base (ver figura 4.1). Como conclusión para esta estrategia el criterio considerado al separar los umbrales η_{CD} y η_{CR} en un 20% de la carga total arrojó buenos resultados.

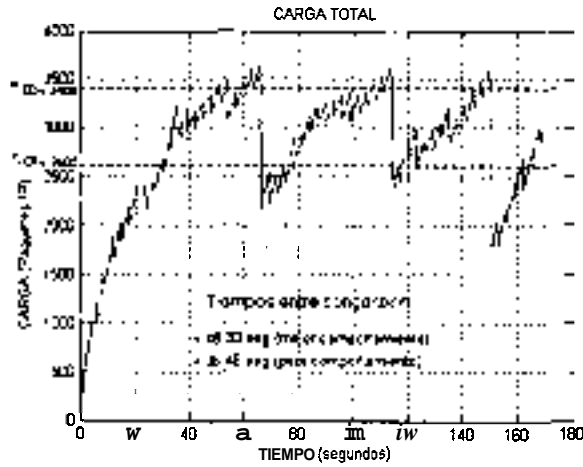


Figura 4-24 Estrategia de control de la congestión.

Con respecto a la eficiencia de admisión la figura 4-25 muestra un valor de 72.28%, el cual es mayor al 70% como valor de referencia para establecer si se cumple con un buen porcentaje de usuarios admitidos (comparar con la figura 4-2). En la figura 4-26 se observa la cantidad de usuarios por clase de servicio, con una mayor cantidad de usuarios admitidos al aumentar el valor del umbral de admisión η_{max} (comparar con la figura 4-3).

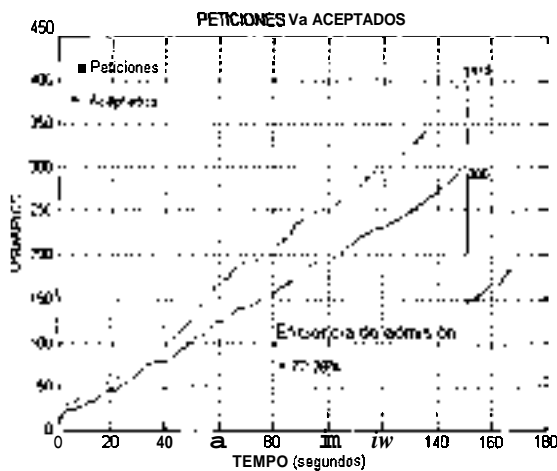


Figura 4-25 Estrategia de control de admisión.

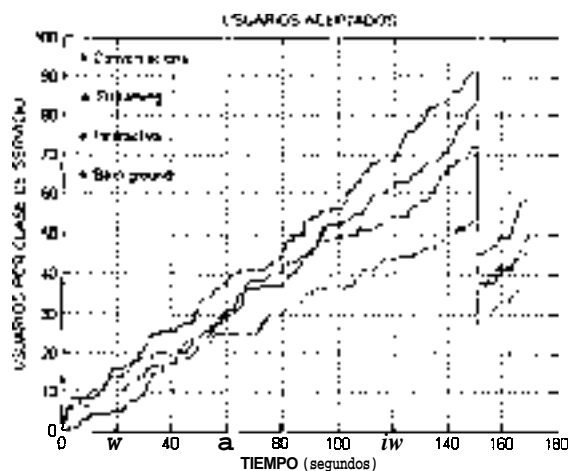


Figura 4-26 Usuarios admitidos por clase de servicio.

En la figura 4-27 se representa nuevamente el comportamiento de la carga para la clase de servicio background. Como se puede observar el comportamiento es muy parecido al mostrado en la figura 4-4. Por lo tanto se concluye **que**, los parámetros propuestos no afectan el comportamiento de la carga, la cuál se sigue comportando en función a las Características propias de cada una de las cuatro clases de servicio. En la figura 4-28 se muestra el comportamiento de la carga de la clase de servicio interactiva, la clase de servicio streaming es mostrada en la figura 4-29 y finalmente en la figura 4-30 se presenta la clase de servicio conversacional (comparar con las figuras 4-4, 4-5 y 4-6 respectivamente).

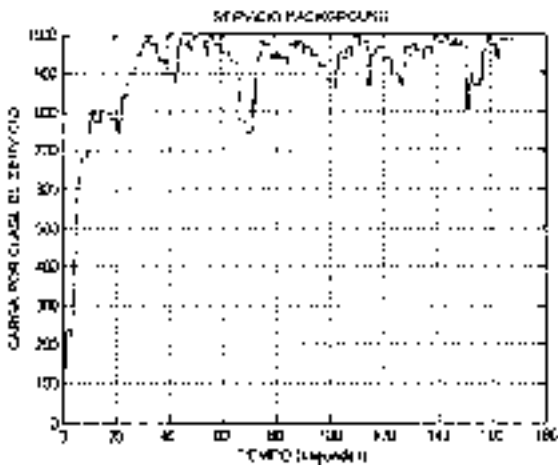


Figura 4-27 Carga del servicio background.

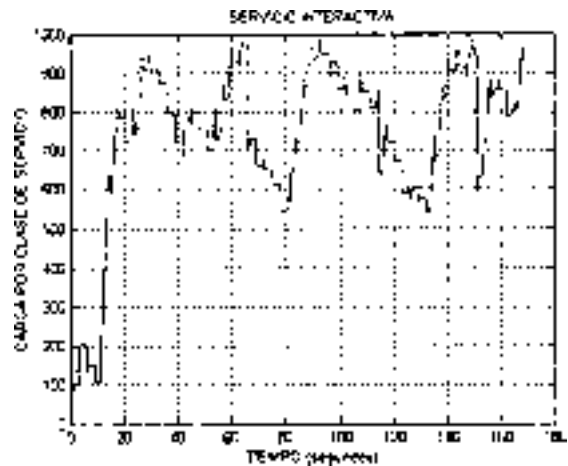


Figura 4-28 Carga del servicio interactivo.

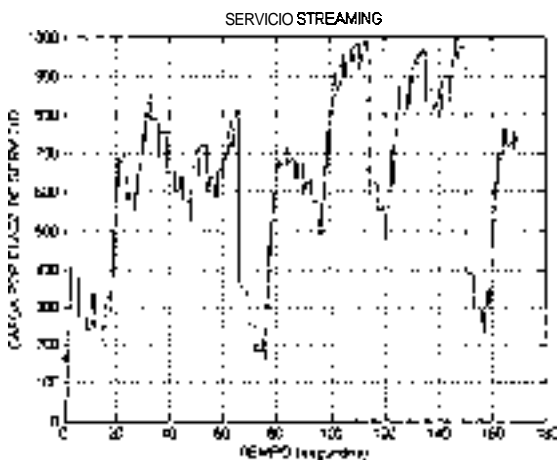


Figura 4-29 Carga del servicio streaming.

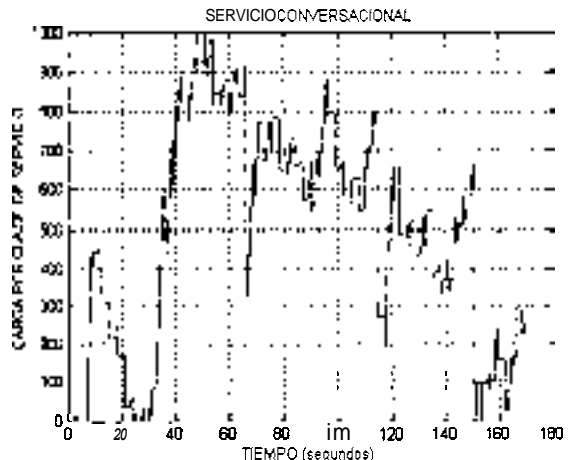


Figura 4-30 Carga del servicio conversacional.

4.2 Sumario

En este capítulo se han presentado los resultados obtenidos de las simulaciones del esquema RRM. Las figuras representan los criterios de evaluación de la propuesta de solución descrita en el apartado 3.1. Se presentaron simulaciones variando algunos de los parámetros definidos en el proyecto ARROWS y especificaciones técnicas. Con los resultados que fueron obtenidos en las diferentes simulaciones, se establecieron los valores que según los criterios de evaluación presentan el mejor comportamiento. Estos valores son la propuesta para obtener un mejor comportamiento del esquema RRM.

Capítulo 5

Conclusiones

Introducción

Como último capítulo de la tesis, se aportan las conclusiones así como los posibles trabajos que se pueden continuar partiendo de la presente investigación realizada. En el apartado 5.1 se presentan las conclusiones al trabajo desarrollado, donde se proporcionan algunos datos importantes que justifican el tema de estudio. Por último en el apartado 5.2 se sugieren tres propuestas como trabajos futuros.

5.1 Conclusiones

Sin duda hay muchas ideas tecnológicas que después de prometer un gran éxito, terminan por no impactar porque en la mayoría de los casos la relación costo-beneficio no es factible. Por el contrario hay innovaciones como en el caso de las telecomunicaciones, que en muy poco tiempo han evolucionado enormemente y actualmente presumen ser uno de los avances más importantes.

A este respecto, hoy en día internet y la telefonía móvil captan el mayor interés dentro del mundo de las telecomunicaciones, como muestra de ello está el gran crecimiento en el número de usuarios que últimamente optan por utilizar estos tipos de servicios. Las cifras revelan que internet crece a un ritmo superior al 100% anual, mientras **que** la telefonía móvil lo hace entre 40% y 60%, lo que demuestra claramente la preferencia de estos servicios con respecto a la telefonía fija que lo hace a un ritmo entre **5%** y 10% en los países más desarrollados. En este

sentido, a fines del año 2002 internet alcanzó aproximadamente 600 millones de usuarios, mientras que la telefonía celular era de 1,000 millones de usuarios para fines del 2003 [44].

En el caso particular del sistema UMTS, se espera que para el año 2010 existan aproximadamente 2,000 millones de usuarios móviles, los cuales podrán utilizar esta tecnología en cualquier parte del mundo, según cifras reportadas por el UMTS Forum [45] en Diciembre de 2003. Es por ello que temas como estos actualmente son objeto de intenso estudio a nivel mundial y por parte de esta tesis.

➤ Con respecto a UMTS se concluye que:

- Un aspecto clave es que gracias al éxito que hasta la actualidad ha tenido el sistema GSM al cubrir más del 60% de los usuarios móviles en todo el mundo, UMTS siendo la evolución directa de GSM/GPRS se perfila como el estándar global más predominante para las comunicaciones móviles de 3G.
- En estos momentos UMTS se presenta como la culminación de la convergencia de internet y las redes móviles, con la cual los usuarios accederán a contenidos y servicios multimedia de banda ancha independientemente del lugar donde se encuentren.
- En el sistema UMTS se esperan una gran cantidad de aplicaciones y servicios en donde la calidad, seguridad y fiabilidad, resultan ser los tres factores más importantes que se han considerado a la hora de la implementación de este nuevo sistema.
- También es casi un hecho de que UMTS englobará al estándar mundial que se espera para las comunicaciones móviles de 3G, ya que actualmente en muchas partes del mundo y principalmente en Europa se encuentran varios grupos de trabajo que están presentando propuestas para la obtención de un sistema con grandes capacidades.

➤ En relación a la investigación desarrollada se desprenden las siguientes conclusiones:

- Una nueva arquitectura de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes en la interfaz Iu (interfaz entre la red de acceso y el núcleo de red), se presenta como la forma de dar cabida a los nuevos servicios de datos y acceso a Internet, que al parecer cada día toman ventaja sobre los servicios de voz que eran el servicio primordial proporcionado por las redes de 2G. Aunque es difícil predecir cuando el tráfico de datos superará en

importancia a la voz, es claro que su volumen está experimentando un crecimiento considerable.

- Además, el diseño de una red inalámbrica de 3G totalmente IP, separa los componentes de la red de acceso por radio y del núcleo, permitiendo así que un núcleo de red común con conmutación de paquetes (por ejemplo GPRS), se use para redes de acceso por radio de GSM/EDGE y UMTS.
- Del análisis hecho a los esquemas de administración de la QoS encontrados en el estado del arte, el aplicado a la administración de los recursos de radio se presenta como el de mayor impacto en la calidad entregada al usuario final, esto debido a la nueva tecnología de acceso (W-CDMA) en UMTS y que tiene que ver con lograr una mejor distribución de los recursos en la interfaz inalámbrica.

➤ Y referente a la aportación las conclusiones son:

- El esquema propuesto fue implementado para administrar la QoS de las diferentes clases de servicio contempladas en UMTS, considerando los parámetros reportados en las especificaciones realizadas por el 3GPP.
- Se propuso un esquema administrador de recursos de radio para administrar la QoS en UMTS, presentando una solución a este aspecto crucial de las nuevas redes de paquetes, con aceptable eficiencia de admisión de usuarios y con un práctico algoritmo de control de la congestión.
- Se puso de manifiesto la ventaja que tiene la diferenciación de los servicios como una forma de priorización de tráfico, esto como acción por parte del clasificador de paquetes.
- La lógica implementada en el despachador de tráfico se fundamenta en las características del parámetro de retardo máximo permitido.
- En el esquema RRM propuesto fue posible comprobar el impacto que tiene el Factor de Dispersión (Spreading) como el parámetro que más repercute en la cantidad de usuarios que pueden ser admitidos al sistema.
- Al evaluar la eficiencia del esquema RRM propuesto se logró el objetivo de esta tesis, el cual se refiere al desarrollo de un esquema eficiente de administración de la QoS para el sistema UMTS.

5.2 Trabajos futuros

Como posibles trabajos futuros que se pueden llevar a cabo con base en este trabajo desarrollado se tienen:

1. La simulación del esquema RRM con paquetes de tamaño variable.
2. Llevar a cabo la implementación del esquema propuesto sobre un simulador de eventos discretos (por ejemplo **OPNET**), para lograr un funcionamiento en paralelo del RRS con el resto de los elementos. Al hacer esto se espera obtener una curva de carga más suavizada y un mejor comportamiento del RRM.
3. Llevar a cabo simulaciones para otros parámetros que aparezcan próximamente estandarizados.

Lista de acrónimos

1G	Primera Generación <i>1st Generation</i>
2G	Segunda Generación <i>2nd Generation</i>
3G	Tercera Generación <i>3rd Generation</i>
3GPP	Proyecto de Sociedad para Tercera Generación <i>Third Generation Partnership Project</i>
3GPP2	Proyecto de Sociedad para Tercera Generación 2 <i>Third Generation Partnership Project 2</i>
A	
AF	Reenvío Asegurado <i>Assured Forwarding</i>
AMPS	Servicio Avanzado de Telefonía Móvil <i>Advanced Mobile Phone Service</i>
ARIB	Asociación de Industrias de Radio y de Negocios <i>Association of Radio Industries and Businesses</i>
ARROWS	Administración de Recursos de Radio Avanzado para Servicios Inalámbricos <i>Advanced Radio Resource Management for Wireless Services</i>
B	
BE	Mejor Esfuerzo (Internet) <i>Best Effort</i>
BMC	Control de Difusión/Multicast <i>Broadcast/Multicast Control</i>
BS	Estación Base <i>Base Station</i>
C	
CAC	Controlador de Admisión de Conexión <i>Connection Admission Controller</i>
CATT	Academia China para Tecnología de Telecomunicaciones <i>China Academy for Telecommunications Technology</i>
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código <i>Code Division Multiple Access</i>
CN	Núcleo de Red <i>Core Network</i>

CS	Conmutación de Circuitos <i>Circuit Switched</i>
D	
DECT	Telecomunicaciones Inalámbricas Digitales Mejoradas <i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>
DL	Descendente <i>Downlink</i>
DLC	Control de Enlace de Datos <i>Data Link Control</i>
DS-CDMA	CDMA de Secuencia Directa <i>Direct Sequence CDMA</i>
DSCP	Punto de Código de Servicios Diferenciados <i>Differentiated Service Code Point</i>
E	
EDGE	Tasas Mejoradas de Datos para la Evolución de GSM <i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
EF	Reenvío Expedito <i>Expedited Forwarding</i>
ETSI	Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo <i>European Telecommunications Standards Institute</i>
F	
FDD	Duplexado por División de Frecuencia <i>Frequency Division Duplex</i>
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia <i>Frequency Division Multiple Access</i>
FPLMTS	Sistema de Telecomunicaciones Móviles Terrestres Públicos del Futuro <i>Future Public Land Mobile Telecommunications System</i>
G	
GPRS	Servicio General de Radio por Paquetes <i>General Packet Radio Service</i>
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles <i>Global System for Mobile Communications</i>
H	
HSCSD	Datos por Conmutación de Circuitos de Alta Velocidad <i>High-speed Circuit-Switched Data</i>

I

IETF	Grupo de Tareas de Ingeniería en Internet <i>Internet Engineering Task Force</i>
IMT-2000	Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000 <i>International Mobile Telecommunications-2000</i>
IP	Protocolo de Internet <i>Internet Protocol</i>
IPv4	IP versión 4 <i>IP version 4</i>
IPv6	IP versión 6 <i>IP version 6</i>
IS-95	Estándar Interino-95 <i>Interim Standard-95</i>
IS-136	Estándar Interino-136 <i>Interim Standard-136</i>
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones <i>International Telecommunications Union</i>
ITU-R	ITU- Sector Radiocomunicaciones <i>ITU-Radiocommunication Sector</i>

M

MAC	Control de Acceso al Medio <i>Medium Access Control</i>
MF	Multicampo <i>Multifield</i>
MPLS	Conmutación por Etiquetas Multiprotocolo <i>Multiprotocol Label Switching</i>
MS	Estación Móvil <i>Mobile Station</i>
MSS	Servicios Móviles por Satélite <i>Mobile Satellite Services</i>
MT	Terminal Móvil <i>Mobile Terminal</i>

N

NMT	Telefonía Móvil Nórdica <i>Nordic Mobile Telephone</i>
-----	---

O

OFDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
-------	--

P

PCS	Sistemas de Comunicaciones Personales <i>Personal Communications Systems</i>
PDC	Celular Digital Personal <i>Personal Digital Cellular</i>
PDCP	Protocolo de Convergencia de Datos por Paquetes <i>Packet Data Convergence Protocol</i>
PDU	Unidad de Datos de Protocolo <i>Protocol Data Unit</i>
PHB	Comportamiento Por Salto <i>Per Hop Behaviour</i>
PHS	Sistema de Telefonía-práctica Personal <i>Personal Handyphone System</i>
PS	Conmutación de Paquetes <i>Packet Switched</i>

Q

QoS	Calidad de Servicio <i>Quality of Service</i>
------------	--

R

RAB	Portador de Acceso de Radio <i>Radio Access Bearer</i>
RB	Portador de Radio <i>Radio Bearer</i>
RE	Estimador de Recursos <i>Resource Estimator</i>
RLC	Control de Enlace de Radio <i>Radio Link Control</i>
RNC	Controlador de Red de Radio <i>Radio Network Controller</i>
RNS	Subsistema de Red de Radio <i>Radio Network Subsystem</i>
RRA	Asignación de Recursos de Radio <i>Radio Resource Allocation</i>
RRC	Control de Recursos de Radio <i>Radio Resource Control</i>
RRM	Administrador de Recursos de Radio <i>Radio Resource Management</i>
RRS	Planificador de Recursos de Radio <i>Radio Resource Scheduler</i>

RSVP	Protocolo de Reservación de Recursos <i>Resource Reservation Protocol</i>
RTC	Red Telefónica Conmutada <i>Public Switched Telephone Network (PSTN)</i>
S	
SDU	Unidad de Datos de Servicio <i>Service Data Unit</i>
SMS	Servicio de Mensajes Cortos <i>Short Message Service</i>
T	
TACS	Sistema de Comunicaciones de Acceso Total <i>Total Access Communications System</i>
TC	Clasificador de Tráfico <i>Traffic Classifier</i>
TCP	Protocolo de Control de Transmisión <i>Transmission Control Protocol</i>
TD	Despachador de Tráfico <i>Traffic Dispatcher</i>
TDD	Duplexado por División de Tiempo <i>Time Division Duplex</i>
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo <i>Time Division Multiple Access</i>
TD-CDMA	Acceso Múltiple por División de Código-por División de Tiempo <i>Time Division-Code Division Multiple Access</i>
TIA	Asociación Industrial de Telecomunicaciones <i>Telecommunications Industry Association</i>
TOS	Tipo de Servicio <i>Type of Service</i>
TS	Planificador de Tiempo <i>Time Scheduler</i>
TTA	Asociación de Tecnología de Telecomunicaciones <i>Telecommunications Technology Association</i>
U	
UDP	Protocolo de Datagrama de Usuario <i>User Datagram Protocol</i>
UE	Equipo de Usuario <i>User Equipment</i>

UL	Ascendente <i>Uplink</i>
UMTS	Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales <i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UTRA	Acceso de Radio Terrestre UMTS <i>UMTS Terrestrial Radio Access</i>
UTRAN	Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS <i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
UWCC	Consortio de Comunicaciones Inalámbricas Universales <i>Universal Wireless Communications Consortium</i>
UWC-136	Comunicaciones inalámbricas Universales-136 <i>Universal Wireless Communications-136</i>
W	
WCDMA	Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha <i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WTDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo de Banda Ancha <i>Wideband Time Division Multiple Access</i>

Referencias

- [1] UMTS Forum, información relacionada al desarrollo del sistema UMTS, “*Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales*”, [en línea], [fecha de consulta: 25 de Julio de 2002]. Disponible en: <http://www.umts-forum.org>
- [2] 3G, información relacionada al desarrollo de los sistemas de 3G, “*Tercera Generación*”, [en línea], [fecha de consulta: 20 de Junio de 2002]. Disponible en: <http://www.3g-generation.com>
- [3] IMT-2000, información relacionada al proceso de estandarización de los sistemas de 3G, “*Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000*”, [en línea], [fecha de consulta: 22 de Junio de 2002]. Disponible en: <http://www.itu.int/imt>
- [4] Blust M. Stephen, “*Wireless Standards Development A New Paradigm*”, IEEE Vehicular Technology Society News, Vol. 47, N. 4, November 2000. pp. 4-9.
- [5] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), “*Desarrollo de los estándares y especificaciones de las redes 3G*”, [en línea], [fecha de consulta: 25 de Septiembre de 2002]. Disponible en: <http://www.3gpp.org>
- [6] Herrera Gálvez F. J., et al., “*Panorámica actual de la estandarización de los sistemas celulares de tercera generación*”, Comunicaciones de Telefónica I+D, Junio 2001, pp. 7-26.
- [7] Pérez Romero Jordi, “*Contribución al estudio de técnicas de acceso aleatorio y análisis de la calidad de servicio en sistemas de transmisión por paquetes para comunicaciones móviles basadas en CDMA*”, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Febrero 2001.
- [8] 3GPP, “*Technical Specification Group Services and System Aspects Service aspects; Services and Service Capabilities*”, (3G TS 22.105 V3.10.0).
- [9] Hernando J. M., “*Comunicaciones móviles de tercera generación UMTS*”, Telefónica Móviles de España, 2000.

-
- [10] ETSI, instituto Europeo de Normas de Telecomunicación “*Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS*”, [TR 101 112] V3.2.0, April 1998.
- [11] 3GPP, “*Technical Specification Group Services and System Aspects General UMTS Architecture*”, (3G TS 23.101 V3.1.0).
- [12] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Networks; UTRA (UE) TDD; Radio Transmission and Reception*”, (3G TS 25.102 V3.6.0).
- [13] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Networks; UE Radio Transmission and Reception (FDD)*”, (3G TS 25.101 V3.6.0).
- [14] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network; UTRAN Overall Description*”, (3G TS 25.401 V3.8.0).
- [15] 3GPP, “*Technical Specification Group Services and System Aspects In Principles*”, (3G TR 23.930 V3.0.0).
- [16] 3GPP, “*Technical Specification Group Services and System Aspects; 3rd Generation mobile system Release 1999 Specifications*”, (3G TS 21.101 V3.5.0).
- [17] 3GPP, “*Technical Specification Group Services and System Aspects; 3rd Generation mobile system Release 4 Specifications*”, (3G TS 21.102 V3.5.0).
- [18] 3GPP, “*Technical Specification Group Services and System Aspects; 3rd Generation mobile system Release 5 Specifications*”, (3G TS 21.103 V3.5.0).
- [19] 3GPP, “*Technical Specification Group Services and System Aspects; Technical Specification Group working methods*”, (3G TR 21.900 V3.6.0).
- [20] Holma, Harri and Antti Toskala, editors. “*WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*”, West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2000.
- [21] 3GPP, “*Technical Specification Group Radio Access Network; Radio Interface Protocol Architecture*”, (3G TS 25.301 V3.8.0).
-

-
-
- [22] De Vriendt Johan, et al., “*Mobile Network Evolution: A Revolution on the Move*”, IEEE Communications Magazine, April 2002, pp. 104-111.
- [23] 3GPP, “*Technical Specification Group Services and System Aspects; Quality of Service (QoS) concept and architecture*”, (3G TS 23.107 V3.9.0).
- [24] Koodli Rajeev, et al., “*Supporting Packet-Data QoS in Next-Generation Cellular Networks*”, IEEE Communications Magazine, February 2001, pp. 180-188.
- [25] García Hernando Ana Belén, “*Técnicas de dimensionado y soporte de calidad de servicio para redes de acceso de sistemas de comunicaciones móviles UMTS*”, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, **Año** 2002.
- [26] Dixit Sudhir, et al., “*Resource Management and Quality of Service in Third-Generation Wireless Networks*”, IEEE Communications Magazine, February 2001, Vol. 39, Nº 2 pp. 125-133.
- [27] Hemández Orallo Enrique, “*Reserva Eficiente de Recursos en Redes para Transmisión en Tiempo Real*”, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Enero de 2001.
- [28] Karagiannis Georgios, et al., “*A framework for QoS & Mobility in the Internet Next Generation*”, Ericsson Open Report, September 2000, pp. 1-52.
- [29] Blake, S. et al., “*An Architecture for Differentiated Services*”, RFC 2475, [en línea], [fecha de consulta: 25 de Marzo de 2003]. Disponible en: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>
- [30] ARROWS-D03, “*Classification of advanced packet switched service for Third Generation Systems and Services*”, Universidad Politécnica de Cataluña, Proyecto parcialmente financiado por la Comisión Europea (IST 2000-25133), Barcelona España, March 2001.
- [31] Moustafa N. Mohamed, et al., “*QoS-Enabled Broadband Mobile Access to Wireline Networks*”, IEEE Communications Magazine, April 2002, pp. 50-56.

-
- [32] Ljupco Jorguseski Erik, et al., “*Radio Resource Allocation in Third-Generation Mobile Communication Systems*”, *IEEE Communications Magazine*, February 2001, pp. 117-123.
- [33] Robles Tomás, et al., “*QoS Support for an All-IP System Beyond 3G*”, *IEEE Communications Magazine*, August 2001, pp. 64-72.
- [34] Lera Antonio, et al., “*Designing the Interworking of Terrestrial and Satellite IP-Based Networks*”, *IEEE Communications Magazine*, February 2002, pp. 136-144.
- [35] ARROWS Project, Proyecto desarrollado por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), “*Advanced Radio Resource Management for Wireless Services (ARROWS)*”, January 2001-December 2002, [en línea], [fecha de consulta: 25 de Noviembre de 2002]. Disponible en: <http://www.arrows-ist.upc.es>
- [36] Castañeda Trujillo Omar, “*Red Neuronal para el Planificador de ATM Inalámbrico para Predecir y Conformar los Tráficos VBR y ABR*”, Tesis de Maestría, CENIDET, 2002.
- [37] Sallent, J. O. et al., “*An Emulator Framework for a New Radio Resource Management for QoS Guaranteed Services in W-CDMA Systems*”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.19, No. 10, October 2001, pp. 1893-1904.
- [38] Sallent, J. O. et al., “*Integración de Tráfico Conversacional e Interactivo en la Red de Acceso de Radio de UMTS*”, Universidad Politécnica de Cataluña, Proyecto parcialmente financiado por la Comisión Europea (IST 2000-25133), Barcelona España.
- [39] Sallent, J. O. et al., “*Provisioning Multimedia Wireless Network for Better QoS: RRM Strategies for 3G WCDMA*”, *IEEE Communications Magazine*, February 2003, pp. 100-106.
- [40] ARROWS-D09, “*First report on the evaluation of RRM algorithms by simulation*”, Universidad Politécnica de Cataluña, Proyecto parcialmente financiado por la Comisión Europea (IST 2000-25133), Barcelona España, February 2002.
-

-
- [41] Wayne, Tomasi “*Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*” Segunda edición, Prentice Hall, 1996, p. 496.
- [42] Moustafa N. Mohamed, et al., “*Efficient Resource Scheduling in Microcellular CDMA Systems*”, VCT fall 2001 conference proceedings 2001 IEEE.
- [43] Ultra Network Sniffer de GJPSoft “*Es una poderosa herramienta de visualización de red*”. Copyright (C) 2000-2002 GJPSoft Computing Inc. **All Right** Reserved., [en línea], [fecha de consulta: 5 de Junio de 2003]. Disponible en: <http://www.gjpsoft.com/UltraNetSniffer>
- [44] Huidobro José Manuel, “UMTS. El futuro de las comunicaciones móviles”, [en línea], [fecha de consulta: 15 de Enero de 2004]. Disponible en: <http://www.iies.es/teleco/publicac/publbit/bit113/quees.htm>
- [45] UMTS Forum, información relacionada al desarrollo del sistema UMTS, “Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales”, [en línea], [fecha de consulta: 5 de Diciembre de 2003]. Disponible en: <http://www.umts-forum.org>

ANEXO: Listado de programas

En este anexo se presentan los programas que fueron empleados para la evaluación de la eficiencia del esquema RRM propuesto. Todo el código se realizó en MATLAB versión 6.0. El código está dividido en nueve rutinas por separado las cuales se enlazan según la secuencia establecida aquí. A continuación se muestra el código principal de cada una de las rutinas ya que el código completo se encuentra en el disco incluido con este documento. Así también se recuerda que en el capítulo 3 (ver figura 3-11) se presentó un diagrama de flujo el cual puede ayudar para el mejor entendimiento de los programas.

Programa tesis-Inicio: Es el programa de inicio y en el cual se encuentran las variables usadas con sus condiciones iniciales. De este programa se presentan los parámetros que heron variados para obtener los resultados presentados en el capítulo 4.

```
min=taz(5)+3    % Asigna a "min" el tiempo que se desea simular el RRM. En este caso es de 3 minutos
nmax=0.6;       % Umbral para el control de admisión de llamadas.
SFi=256;        % Factor de Spreading (puede variar de 4 a 256).
Tam=5 12;       % Tamaño de los paquetes (en Bytes).
nCD=3200;       % Umbral del 80% para 4 buffers de 1000 localidades.
nCR=2800;       % Umbral del 70% para 4 buffers de 1000 localidades.
pop=999;        % Longitud de los buffers (1000 localidades).
tesis_Admision; % Enlace al programa tesis-Admision.
```

Programa tesis_Admision: En este programa se selecciona aleatoriamente al usuario y las características que definen al mismo.

```
yg= rand;       % Se elige aleatoriamente un usuario
yk = yg * 100;
round (yk);
```

```

usuarios=usuarios+1;    % Contador de usuarios que solicitan acceso al RRM.
tfx=randperm(3);
velocidad=tfx(1);      % Se elige aleatoriamente la velocidad del móvil.
kax(veces)=velocidad; % Vector de velocidades de los móviles.
if velocidad == 1;     % Velocidad <= 10Km/hr.
    escenario = ['Picocelular']; % Tipo de escenario.
elseif velocidad == 2; % Velocidad <= 120Km/hr.
    escenario = ['Microcelular']; % Tipo de escenario.
elseif velocidad == 3; % Velocidad <= 500 Km/hr.
    escenario = ['Macrocelular']; % Tipo de escenario.
end

tfy=randperm(4);
tipo=tfy(2);          % Se elige aleatoriamente un tipo de servicio.
kay(veces)=tipo      % Vector de los tipos de servicios solicitados.

tfz=randperm(4);
tasa=tfz(3);         % Se elige aleatoriamente una tasa de transmisión.
kaz(veces)=tasa;    % Vector de las tasas de transmisión solicitadas.

% Tasas de transmisión implementadas (64, 144,384 y 2048 kbps).
if tasa == 1;
    Tasa-de-bit = 64e+3;
elseif tasa == 2;
    Tasa_de_bit = 144e+3;
elseif tasa == 3;
    Tasa-de-bit = 384e+3;
elseif tasa == 4;
    Tasa-de-bit = 2048e+3;
end

if tipo == 4 & Tasa-de-bit ~= 0;
    Eb= 2.864; % 4.57 dB
    TS_C =(1+0.6)/(SFi/(0.67*Eb*(1/3))+1); % Valor = 0.00398770322401 para SFi = 256.
    TS_C1=TS_C+TS_C; % Suma del mismo servicio.
    Clase-de-Servicio= ['Conversacional'];
elseif tipo == 3 & Tasa-de-bit ~= 0;
    Eb= 2.660; % 4.25 dB
    TS_S =(1+0.6)/(SFi/(0.57*Eb*(1/3))+1); % Valor = 0.00287748240254 para SFi = 256.
    TS_S1=TS_S1+TS_S; % Suma del mismo servicio.
    Clase-de-Servicio= ['Streaming'];
elseif tipo == 2 & Tasa_de_bit ~= 0;

```

```

Eb= 2.944;% 4.69 dB
TS_I=(1+0.6)/(SFi/(0.47*Eb*(1/3))+1);    % Valor = 0.00315252622362 para SFi = 256.
TS_I1=TS_I1+TS_I;                        % Suma del mismo servicio.
Clase-de-Servicio = ['Interactiva']
elseif tipo == 1 & Tasa-de-bit ~= 0;
    Eb= 2.944; % 4.69 dB
    TS_B=(1+0.6)/(SFi/(0.37*Eb*(1/3))+1); % Valor = 0.00226611922091 para SFi = 256.
    TS_B1=TS_B1+TS_B;                    % Suma del mismo servicio.
    Clase-de-Servicio = ['Background'];
end

%format long CaC
CaC=TS_C1+TS_S1+TS_I1+TS_B1;            % Suma de todos los servicio.

if CaC <= nmax;                          % Compara condición de admisión.
    Paquetes = round (Tasa_de_bit/(Tam*8)); % Cantidad de paquetes asignados al usuario

tesis_Congestion;                        % Enlace al programa tesis-Congestion.
else
    tesis-Desconectar; % Enlace al programa tesis-Desconectar (cuando el umbral nmax es alcanzado).
end
end

```

Programa tesis_Congestion: En este programa se verifica la capacidad de los buffers, para decidir si los paquetes de la tasa de transmisión solicitada, pueden ser albergados en el buffer correspondiente o se tendrá que ofrecer el servicio a una tasa menor de transmisión. Se presenta únicamente la rutina para la clase de servicio conversacional siendo igual para las cuatro clases de servicio.

```

if tipo == 4 & Paquetes ~= 0;
    n4=p_4+Paquetes;

    if n4 <= pop;
        n4;
        nB4=nB4+1;
        tesis-Ruido; % Enlace al programa tesis-Ruido.
        return
    else

        if carac(3) == 4; % Se verifica el valor de la tasa de transmisión solicitada.

```

```

posible=randperm(2);      % Se decide aleatoriamente si se acepta la nueva tasa de transmisión
decision=posible(1);
if decision == 1;
    responde = ['acepto'];    % Se acepta la nueva tasa de transmisión.
    Tasa_debit = 384e+3;    % Se asigna la nueva tasa de transmisión.
    carac(3) = 3;
    Paquetes = round (Tasa_de_bit/(Tam*8));    % Se calcula la nueva cantidad de paquetes.
    n4=(n4-paqtasa_4)+Paquetes;

    if n4 <= pop;
        n4;
        nB4=nB4+1;
        tesis-Ruido;        % Enlace al programa tesis-Ruido.
        return
    end

elseif decision == 2;
    responde = ['no acepto'];    % Se rechaza la nueva tasa de transmisión.
    Tasa_debit = 0e+3;    % Se asigna una tasa de transmisión cero.
    n4=n4-paqtasa_4;
    TS_C1=TS_CI-TSC;
    CaC=CaC-TS_C;
    end
end

```

Programa tesis-Ruido: En este programa se calcula el ruido sentido por el RRS una vez que la conexión al RRM fue aceptada.

```

if carac(1) == 1;
    P(m)=25.11e-3;    % 14dBm.
    long=0.1;    % Km.
elseif carac(1) == 2;
    P(m)=25.11e-3;    % 14dBm.
    long=1;    % Km.
elseif carac(1) == 3;
    P(m)=125.89e-3;    % 21dBm.
    long=3;    % Km.
end

Per= 142.37+29.74*log10(fr)+50.37*log10(long);    % Se calculan las pérdidas de trayectoria.
Gb(m)=10^(-Per/20);

```

```

ifm == 1;
    S=S+Gb(m-1)*P(m-1);
end

nBG= (((Gb(m)*P(m))/R(m))/Eb(m))*W)-(S);           % Se calcula el ruido.
rdonBG=rdonBG+nBG;
rdodBm=(10*log10(rdonBG))+30;

```

Programa tesis-Datos-12: En este programa se abren los archivo de datos (paquetes) correspondientes al tipo de servicio solicitado. Es importante mencionar que en este programa el tamaño de los paquetes es de 512 Bytes. Para paquetes de **256** y 1024 Bytes corresponden los programas **tesis-Datos-1** y **tesis-Datos-13** respectivamente.

```

if tipo == 4;
    [A,mensaje]= fopen ('C:\Conversacional_2.txt','r');   % Se abre el archivo de paquetes para ser leído.
    pp=0;
    x=0;
    p=1348;
    q=1350;
    tesis-Datos-22;                                     % Enlace al programa tesis-Datos-22.
elseif tipo == 3;
    [A,mensaje]= fopen ('C:\Streaming-2.txt','r');
    pp=0;
    x=0;
    p=1348;
    q=1351;
    tesis-Datos-22;
elseif tipo == 2;
    [A,mensaje]= fopen ('C:\Interactiva-2.txt','r');
    pp=0;
    x=0;
    p=1342;
    q=1345;
    tesis-Datos-22;
elseif tipo == 1;
    [A,mensaje]= fopen ('C:\Background_2.txt','r');
    pp=0;
    x=0;
    p=1353;
    q=1356;
    tesis-Datos-22;
end

```

Programa tesis-Datos-22: En este programa se lee el campo Tipo de Servicio (TOS) y se convierte su valor hexadecimal a decimal para ser enviado al buffer del servicio correspondiente. En este programa el tamaño de los paquetes es de 512 Bytes. Para paquetes de 256 y 1024 Bytes corresponden los programas **tesis-Datos-21** y **tesis-Datos-23** respectivamente.

```

for t=1:Paquetes;
    [F,N]= fread(A,q);           % Se lee el campo TOS.
    s= char(F');
    d=[0,0,0,0];

        if x == 4;
            ra=d(1)* 1000;
            rb=d(2)* 100;
            rc=d(3)*10;
            rd=d(4)* 1;
        elseif x == 3;
            ra=d(1)* 100;
            rb=d(2)* 10;
            rc=d(3)*1;
        elseif x == 2;
            ra=d(1)*10;
            rb=d(2)* 1;
        elseif x == 1;
            ra=d(1)* 1;
        end

    pp=pp+1;                     % Contador de paquetes que han sido leídos.
    result=ra+rb+rc+rd;         % Se envía el valor de la variable result a el buffer correspondiente.
    tesis-Buffers;             % Enlace al programa tesis-Buffers.

if tipo == 4,                   % Pequeña rutina para leer los paquetes del 0 al 9
    if pp < 10;
        z=3726;
        p=0+z;
        q=3+z;
        x=0;
    end
    if pp >= 10;                % Pequeña rutina para leer los paquetes del 10 al 99.
        z=3727;
        p=0+z;
        q=3+z;

```

```

x=0;
end
if pp >= 100;           % Pequeña rutina para leer los paquetes del 100 al 999.
    z=3728;
    p=0+z;
    q=3+z;
    x=0;
end
if pp >= 1000;         % Pequeña rutina para leer los paquetes del 1000 al 9999.
    z=3729;
    p=0+z;
    q=3+z;
    x=0;
end
if pp >= 10000;       % Pequeña rutina para leer los paquetes del 10000 al 99999.
    z=3730;
    p=0+z;
    q=3+z;
    x=0;
end
end

```

Programa tesis-Buffers: En este programa se lleva a cabo la parte de la estrategia de control de la congestión del RRM. **Aquí** es donde se verifica el valor de la carga en los buffers **y** se toman las decisiones para mantener al RRM estable.

```

if n >= nCR;           % Acciones tomadas cuando la carga es mayor o igual al umbral nCR.
    nivel=1;
elseif n < nCR & nivel == 1 & lim == 1;
    nivel=2;
end

if n <= nCR;          % Acciones tomadas cuando la carga es menor o igual al umbral nCR
    Carga-del-Sistema = sprintf('Menor a nCR: %6.3f\n',porcentaje);
    if nivel == 2 & aho == 1;
        vez=vez+1;
        if vez == 1;
            segCR=clock;
            minCR=segCR(5);
            seguCR=segCR(6);

```

```

t3=seguCR+1;
tesis-Despacho;           % Enlace al programa tesis-Despacho.
yy;
n;
if t3 >= 60;
    minCR=minCR+1;
    t3=t3-60;
end
end
if vez > 1;
    CRseg=clock;
    CRmin=CRseg(5);
    CRsegu=CRseg(6);
    if CRsegu >= t3 & minCR == CRmin;
        CRmin;
        CRsegu;
        nivel=0;
        vez=0;
        lim=0;
        aho=0;
        n;
    end
end
end

elseif nCR < n & n < nCD;    % Acciones tomadas cuando la carga es mayor a nCR y menor nCD.
    Carga-del-Sistema = sprintf('Entre nCR y nCD: %6.3f\n',porcentaje);
    CDsegu=0;
    CDmin=0;
    vas=0;

elseif n >= nCD;           % Acciones tomadas cuando la carga es mayor o igual a nCD.
    Carga-del-Sistema = sprintf('Mayor a nCD: %6.3f\n',porcentaje);
    vas=vas+1;
    if vas == 1;
        segCD=clock;
        minCD=segCD(5);
        seguCD=segCD(6);
        t2=seguCD+3;
        lim=1;
        if t2 >= 60;

```

```

    minCD=minCD+1;
    t2=t2-60;
    end
end
if vas > 1;
    CDseg=clock;
    CDmin=CDseg(5);
    CDsegu=CDseg(6);
    if CDsegu >= t2 & minCD == CDmin;
        CDmin;
        CDsegu;
        vas=0;
        aho=1;
        n;
        while n >= nCR;           % Acción tomada en el momento en que se entra en congestión.
            tesis-Despacho;      % Enlace al programa tesis-Despacho.
            yy;
            n;
        end
        rdonBG=0;
        S=0;
        m=0;
    end
end
end
end

```

Programa tesis-Despacho: En este programa se realizan las funciones del despachador de tráfico. La cantidad de paquetes que serán despachando está en función de la clase de servicio y el valor de ruido agregado. Este programa se ejecuta cada vez que se cumple el tiempo de despacho o cuando se presenta un estado de congestión.

% Se calcula la cantidad de paquetes que serán despachados en función del ruido.

```
desp=(rdodBm* 100)/(-106.98);
```

```
yy=round(desp);
```

```
for ff=1:yy;           % Se lleva a cabo el despacho de los paquetes
```

% Rutina de despacho para la clase de servicio conversacional.

```
for i=p_4:-1:p_4-3;   % ciclo que se repite en cuatro ocasiones.
```

```
if i > 0
```

```

        buf_4(i)=0; % Pone un cero en la localidad del buffer para simboliza el despacho de un paquete
    end
end

% Se verifican la nueva cantidad de paquetes almacenados en cada buffer.
p_4= length (find (buf_4));
p_3= length (find (buf_3));
p_2= length (find (buf_2));
p_1= length (find (buf_1));
n=p_1+p_2+p_3+p_4;
end

```

Programa tesis-Desconectar: En este programa se lleva a cabo el proceso de desconexión de usuarios. Este proceso es de forma aleatoria y se ejecuta cuando el umbral de admisión es alcanzado.

```

for zz=1:clas;
    reales=isreal(sumclas(zz));
    if reales == 1;
        clastipo=sumclas(zz);
        desconectar=randperm(2); % Aleatoriamente decide si se desconecta o sigue conectado.
        elige=desconectar(1); % Decisión aleatoria tomada por el usuario.
        if elige == 1; % Decisión tomada para desconectar.
            responde = ['Desconectar'];
            % Proceso de desconexión del usuario
            usuarios=usuarios-1;
            sumclas(zz)=sumclas(zz)+1;
            if clastipo == 4:
                TS_C1=TS_C1-TS_C;
                CaC=CaC-TS_C;
                nB4=nB4-1;

            elseif elige == 2; % Decisión tomada para no desconectar.
                responde = ['No Desconectar'];
            end
            else
                responde = ['Ya Esta Desconectado'];
            end
        end
        end
        tesis_Admision; % Enlace al programa tesis-Admision.
    end
end

```