

**Centro de Investigación Científica y de
Educación Superior de Ensenada**



**INTERCONEXION INALAMBRICA DE SISTEMAS DE
COMUNICACIONES MOVILES PARA TRANSMISION
DE SERVICIOS MULTIMEDIOS**

**TESIS
MAESTRIA EN CIENCIAS**

RAUL TAMAYO FERNANDEZ

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MEXICO.

OCTUBRE DE 1997.

TESIS DEFENDIDA POR

RAÚL TAMAYO FERNÁNDEZ

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE



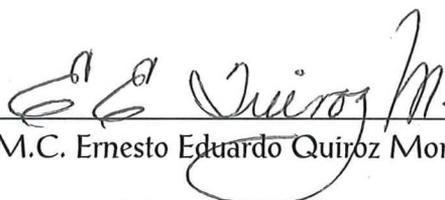
M.C. Jorge Enrique Preciado Velasco

Director del Comité



Dr. José Luis Medina Monroy

Miembro del Comité



M.C. Ernesto Eduardo Quiroz Morones

Miembro del Comité



M.C. José Luis Briseño Cervantes

Miembro del Comité



Dr. José Luis Medina Monroy

*Jefe del Departamento de Electrónica y
Telecomunicaciones*

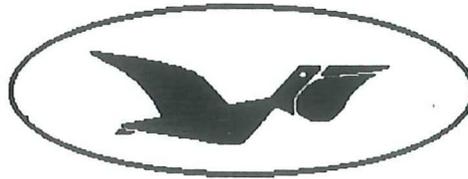


Dr. Federico Graef Ziehl

Director de Estudios de Posgrado

14 de octubre de 1997

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y
DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA



DIVISIÓN DE FÍSICA APLICADA

DEPARTAMENTO DE
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**INTERCONEXIÓN INALÁMBRICA DE SISTEMAS DE
COMUNICACIONES MÓVILES PARA TRANSMISIÓN
DE SERVICIOS MULTIMEDIOS**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para
obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

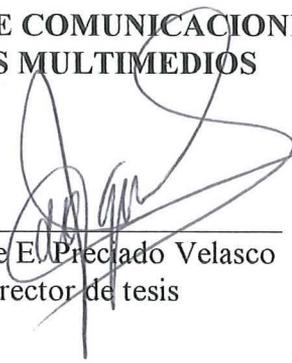
RAÚL TAMAYO FERNÁNDEZ

Ensenada, Baja California, México. Octubre de 1997.

RESUMEN de la Tesis de **Raúl Tamayo Fernández**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO en CIENCIAS en ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES. Ensenada, Baja California, México. Octubre de 1997.

**INTERCONEXIÓN INALÁMBRICA DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES
MÓVILES PARA TRANSMISIÓN DE SERVICIOS MULTIMEDIOS**

Resumen aprobado por:



M.C. Jorge E. Preciado Velasco
Director de tesis

La creciente demanda en la integración de los servicios de voz, datos y video, unida al enorme desarrollo de las comunicaciones móviles durante esta década, presenta varios retos a los diseñadores de redes inalámbricas. Entre ellos está la necesidad de desarrollar nuevos protocolos que controlen el acceso de los usuarios al canal de radio común. Estos protocolos deben ser diseñados de forma que el ancho de banda asignado sea utilizado eficientemente, de manera que se pueda maximizar la capacidad y el caudal eficaz del sistema. El programa ACTS (Advanced Communications Technologies and Services) está desarrollando el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universales (UMTS, del inglés Universal Mobile Telecommunications System). La visión de UMTS es soportar todos los servicios y aplicaciones que los usuarios móviles disfrutaban actualmente y tener el potencial para ofrecer nuevos servicios y aplicaciones de multimedia, con niveles de calidad semejantes a los de las redes fijas. Dentro de los esquemas de acceso propuestos para UMTS se encuentran TDMA, CDMA y PRMA. TDMA y CDMA han sido estudiados ampliamente mientras que PRMA es un esquema relativamente nuevo. Por ello, en esta investigación se analizó el esquema PRMA (Packet Reservation Multiple Access) operando bajo distintos esquemas de modulación digital.

El desempeño del esquema de acceso PRMA bajo distintos esquemas de modulación digital fue obtenido a través de simulación. Se realizó, además, una comparación con el sistema GSM, un sistema de segunda generación estandarizado, en términos de capacidad, retardo en obtención de canal y tasa de bits erróneos, bajo las mismas condiciones de carga, con la idea de obtener una comparación directa. De los resultados obtenidos se puede observar que PRMA hace uso más eficiente del canal al permitir que los usuarios solo transmitan durante los periodos de actividad en las terminales y que el uso de una técnica de modulación de alta eficiencia espectral ayuda a incrementar la capacidad del sistema, manteniendo a la vez una tasa de bits erróneos aceptable.

Palabras clave: Comunicaciones móviles, Acceso múltiple, Modulación digital.

ABSTRACT of the Thesis of **Raúl Tamayo Fernández**, presented as partial requirement to obtain the **MASTER IN SCIENCES** degree in **ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS**. Ensenada, Baja California, México. October 1997.

WIRELESS INTERCONNECTION OF MOBILE COMMUNICATIONS SYSTEMS FOR MULTIMEDIA SERVICES TRANSMISSION

With the growing demand in the integration of voice, data and video services, joined to the development of the mobile communications during this decade, the designers of wireless networks are presented with several challenges. Between these challenges there is the necessity of developing new protocols to control the user access to the common radio channel. These protocols should be designed to ensure that the assigned bandwidth is used efficiently, maximizing the capacity and throughput of the system. The Advanced Communications Technologies and Services (ACTS) program is developing the Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). The vision of UMTS is to support all the services and all the applications that mobile users are enjoying right now. Also, UMTS will have the potential to offer new multimedia services and applications with quality levels similar to the fixed networks. TDMA, CDMA and PRMA are multiple access techniques proposed for UMTS. Unlike TDMA and CDMA that had been studied since many years ago, PRMA is a new technique. For this reason, in this investigation the Packet Reservation Multiple Access (PRMA) scheme operating under different digital modulation techniques was analyzed.

The performance of the PRMA scheme operating under different digital modulation techniques was obtained through simulation. A performance comparison with the GSM system, a standardized second generation system was made, in terms of capacity, channel access delay, and bit error rate. From the results obtained, it can be observed that PRMA offer an efficient channel utilization, due to permitting that users only transmit during the activity periods in the terminals. Also, the use of a high-level modulation technique helps to increment the capacity of the system, keeping an acceptable bit error rate.

Keywords: Mobile communications, Multiple access, Digital modulation.

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Eutimio y Elidia

Por todo lo que me han brindado a lo largo de mi vida y mis estudios y que no quiero enumerar porque no habría suficientes bibliotecas para guardar todos los tomos requeridos.

A MIS HERMANOS Y HERMANAS:

Ramón, José Luis, Enrique, Guadalupe y María de Jesús

Por estar siempre al pendiente de mis necesidades y
por estar siempre en disposición de ayudarme

A MI CUÑADA Y A MI SOBRINA:

Beatriz Vázquez y Laura B. Tamayo

Por la felicidad que brinda el ser tío de una niña tan hermosa.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Por su amistad y apoyo, y en especial a mis compañeros de generación.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, por todo lo que me ha permitido realizar hasta el día de hoy, porque siempre ha estado a mi lado aunque yo desvíe mi camino.

A mi director de tesis, Jorge Enrique Preciado Velasco, por las facilidades y apoyo brindadas durante el desarrollo de la tesis, sin los cuales este trabajo no hubiese sido posible. También por la buena amistad que ha resultado de este trabajo.

A los miembros del comité de tesis, M. C. Ernesto Quiroz, Dr. José Luis Medina y M. C. José Luis Briseño, por el apoyo otorgado de su parte para la realización de esta tesis.

A los profesores, investigadores y técnicos del CICESE por los conocimientos y experiencias que me transmitieron durante la maestría. Especialmente a Roberto Conte, Enrique Pacheco y Rodolfo Castañeda.

GRACIAS MIL a mis amigos y compañeros de la especialidad de Telecomunicaciones ("Telecos 95-97"):

Edith García: gracias por siempre ser tan buena y atenta con todos nosotros (lástima que le vayas a los Delfines de Miami).

Patricia Daoudal: aunque estés en Francia no me olvido de ti (nos vemos en el mundial).

Héctor Ignacio Félix: gracias por compartir tu buen gusto musical ("Fijate Genaro...", "Si tu supieras...").

Jesús Martín Bedoy: gracias por todo lo que compartimos y mas siendo compañeros de equipo durante los cursos... y por los souvenirs de los Azulejos de Toronto.

José Francisco Mora: gracias por siempre tenderme la mano y disculpa el pastelazo (aunque aún no se sabe quien fue).

Luis Alejandro Serrano: por las historias tan divertidas que siempre me hicieron reír (they were so funny).

Raúl Rivera: gracias por los momentos que hemos compartido antes y después del comité de fiestas y pachangas (¿En dónde va a ser?)

Ricardo Solís: por tus correos que dejaron momentos muy alegres en mi vida, espero seguir recibéndolos.

Con todos ustedes he compartido más de dos años de mi vida que jamás olvidare.

A mis amigos y compañeros de generación de la especialidad de Control: Ana Yaveni, Martha, Ángel y Gonzalo; y a los de Altas Frecuencias: Carmen, Alfonso, Juan Pablo, Leobardo y Mauro; porque juntos hemos sido una gran generación.

A todo el personal del Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, por las facilidades que me brindaron, especialmente a Cecilia Hirata (Cecy) por las mil y un veces que atendió mis peticiones.

Al CICESE, por permitirme realizar mis estudios de maestría.

Al CONACyT, por el apoyo económico.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I INTRODUCCIÓN	1
I.1 MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA	2
I.1.1 <i>Objetivos de UMTS</i>	3
I.1.2 <i>Proyectos en UMTS</i>	4
I.1.3 <i>Evolución de GSM hacia UMTS</i>	5
I.2 OBJETIVOS DE LA TESIS	5
I.3 METAS DEL TRABAJO	6
I.4 ALCANCES DE LA TESIS	6
I.5 INFRAESTRUCTURA UTILIZADA	7
I.6 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	7
II SISTEMA DE COMUNICACIONES MÓVILES GSM.....	9
II.1 INTRODUCCIÓN	9
II.2 SERVICIOS PROPORCIONADOS POR GSM	11
II.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....	12
II.3.1 <i>La Estación Móvil</i>	13
II.3.2 <i>Subsistema de Estación Base</i>	13
II.3.3 <i>Subsistema de Red</i>	14
II.3.4 <i>Establecimiento de llamadas</i>	14
II.4 ASPECTOS DEL ENLACE DE RADIO	16
II.4.1 <i>Esquema de acceso múltiple</i>	16
II.4.2 <i>Codificación de voz y de canal</i>	16
II.4.3 <i>Modulación</i>	19
II.4.4 <i>Transmisión discontinua</i>	19
III SISTEMA DE COMUNICACIONES MÓVILES UMTS	21
III.1 INTRODUCCIÓN	21
III.2 ACCESO MÚLTIPLE POR RESERVACIÓN DE PAQUETES (PRMA)	23
III.2.1 <i>Efecto de captura</i>	26
III.3 TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL	28
III.3.1 <i>Técnicas de modulación en cuadratura</i>	29
III.3.2 <i>Esquemas de modulación multinivel M-PSK</i>	32
III.3.3 <i>Esquemas de modulación QAM</i>	33
III.3.4 <i>Comparación de esquemas de modulación multinivel</i>	34
IV IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN	36
IV.1 INTRODUCCIÓN	36
IV.2 MODELO DE RED.....	37
IV.3 MODELOS DE LOS NODOS	40
IV.3.1 <i>Modelo de Estación Móvil</i>	40

CONTENIDO (continuación)

	<u>Página</u>
IV.3.2 Modelo de Estación Base.....	41
IV.4 MODELOS DE LOS PROCESOS.....	42
IV.4.1 Modelo del proceso "genera conexiones" en estación móvil.....	42
IV.4.2 Modelo del proceso "paquetiza" en estación móvil.....	43
IV.4.3 Modelo del proceso "espera inicio de ramura" en estación móvil.....	44
IV.4.4 Modelo del proceso "esquema de acceso al canal" en la estación móvil.....	44
IV.4.5 Modelo del proceso "esquema de acceso al canal" en estación base.....	46
IV.4.6 Modelo del proceso "control de ramuras y marcos" en la estación base.....	47
IV.4.7 Modelo del proceso "estadísticas" en la estación base.....	47
V SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
V.1 PLAN DE SIMULACIÓN.....	49
V.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
V.2.1 GSM con servicios de voz y datos a 9.6 Kbps.....	52
V.2.2 UMTS con modulación GMSK y servicios de voz y datos a 9.6 Kbps.....	55
V.2.3 UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz y datos a 9.6 Kbps.....	58
V.2.4 UMTS con modulación 8PSK u 8QAM y servicios de voz y datos a 9.6 Kbps.....	60
V.2.5 UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM y servicios de voz y datos a 9.6 Kbps.....	64
V.2.6 Comparación de sistemas.....	67
V.2.7 UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.....	68
V.2.8 UMTS con modulación 8PSK u 8QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.....	71
V.2.9 UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.....	75
V.2.10 Comparación de sistemas con servicios multimedios.....	78
VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
VI.1 CONCLUSIONES.....	80
VI.2 RECOMENDACIONES.....	82
LITERATURA CITADA.....	83
APÉNDICE A. PROPAGACIÓN EN ENLACES DE RADIO.....	86
APÉNDICE B. SIMULADOR DE REDES DE COMUNICACIONES OPNET.....	93
GLOSARIO.....	98

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. Arquitectura del sistema GSM.	12
2. Procedimientos para arribo de llamadas a la estación móvil.	15
3. Esquema de acceso múltiple FDMA/TDMA.	17
4. Codificación de voz y de canal.	18
5. Ejemplo de operación de PRMA.	25
6. Constelaciones de esquemas de modulación en cuadratura.	30
7. Diagramas de M -PSK, $M = 8$: (a) Diagrama fasorial; (b) Constelación.	33
8. Desempeño de los esquemas M -arios PSK y QAM.	35
9. Topología de un sistema celular.	38
10. Modelo de red.	38
11. Modelo de celdas.	39
12. Modelo de estación móvil.	41
13. Modelo de estación base.	41
14. Modelo del proceso “genera conexiones” en la estación móvil.	42
15. Modelo del proceso “paquetiza” en la estación móvil.	43
16. Modelo del proceso “espera inicio de ranura” en la estación móvil.	44
17. Modelo del proceso “esquema de acceso al canal” en la estación móvil.	45
18. Modelo del proceso “esquema de acceso al canal” en estación base.	47
19. Modelo del proceso “control de ranuras y marcos” en la estación base.	47
20. Modelo del proceso “estadísticas” en la estación base.	48
21. Porcentajes de bloqueo de conexiones en GSM.	53
22. Retardo en obtención de canal en GSM.	53
23. BER en enlace de subida en GSM.	54
24. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación GMSK.	55
25. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación GMSK.	57

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
26. BER en enlace de subida en UMTS con modulación GMSK.	58
27. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación QPSK o QAM.	59
28. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación QPSK o QAM.	59
29. BER en enlace de subida en UMTS con modulación QPSK o QAM.	60
30. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación 8PSK u 8QAM.	61
31. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación 8PSK u 8QAM.	62
32. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 8QAM.	63
33. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 8PSK.	63
34. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM.	64
35. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM.	65
36. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 16QAM.	66
37. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 16PSK.	66
38. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.	69
39. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación QPSK.	70
40. BER en enlace de subida en UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.	71
41. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación 8PSK u 8QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.	72
42. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.	73
43. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 8QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.	74

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
44. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 8PSK y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.	74
45. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.....	75
46. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.	76
47. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 16QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.....	77
48. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 16PSK y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.	77
49. Pérdidas por trayectoria.	88
50. Sombreo lognormal.	90
51. Desvanecimiento Rayleigh.	91
52. Jerarquía en los modelos de OPNET.....	94

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
I. Parámetros de las corridas de GSM.....	49
II. Parámetros de las corridas de UMTS	50
III. Parámetros de los servicios empleados.....	50
IV. Grado de servicio a cumplir	51
V. Comparación de sistemas.....	68
VI. Comparación de sistemas ofreciendo servicios multimedios.....	79

INTERCONEXIÓN INALÁMBRICA DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES PARA TRANSMISIÓN DE SERVICIOS MULTIMEDIOS

I INTRODUCCIÓN

La enorme aceptación que han tenido los sistemas de telefonía celular ha impulsado un crecimiento inusitado en los sistemas de comunicaciones móviles, estimándose que tan solo en Europa son utilizados por más de 32 millones de usuarios [Schwarz Da Silva *et al.*, 1997]. En los Estados Unidos, el mercado celular continúa su crecimiento sumando hasta junio de 1996 más de 38 millones de usuarios [AT&T: Wireless Services, 1997]. En general, se considera que las comunicaciones móviles personales, en todas sus formas, alcanzarán el 80% de la población al inicio del próximo siglo.

La primera generación de sistemas móviles (sistemas analógicos) soportaba sólo la transmisión de voz; posteriormente, la segunda generación (sistemas digitales) contempla voz y datos a tasas de baja capacidad, que es insuficiente para las nuevas necesidades, requiriéndose nuevos sistemas que cumplan con las demandas de los nuevos servicios. Los factores que estimulan el surgimiento de nuevos sistemas con mayor desempeño (tercera generación) son [Schwarz Da Silva y Fernandes, 1995]:

- La necesidad de integrar los sistemas móviles con las redes fijas.
- El deseo de tener una aplicación múltiple en una terminal portátil.

- El incremento en las expectativas del usuario en cuanto a la calidad y sofisticación de los servicios multimediales esperados.
- El rápido avance de la tecnología de comunicaciones personales.

I.1 Marco de Referencia del Problema

Considerando el desarrollo vertiginoso de las comunicaciones móviles, desde mediados de los años 80s la ITU (International Telecommunications Union) comenzó a proyectar el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Terrestres Públicas del Futuro (FPLMTS, del inglés Future Public Land Mobile Telecommunications System) para las comunicaciones móviles globales. Este estudio, junto con el apoyo de las actividades en Europa, los Estados Unidos, Japón, y los países desarrollados miembros de la ITU, condujeron a la designación del espectro de frecuencias para servicios de comunicaciones móviles globales en la banda L. Además, a la ITU se le han solicitado recomendaciones y planes de numeración para habilitar la implementación de FPLMTS para el año 2000. Se planea que las recomendaciones para el direccionamiento de servicios, desempeño de red y transmisiones en radiofrecuencia estén disponibles en 1998 [Rapeli, 1995].

El trabajo sobre FPLMTS es desarrollado con las contribuciones de los miembros de la ITU, así como de las organizaciones de estándares regionales, tales como RCR (Japón), TIA y T1 (Estados Unidos) y ETSI (Europa). En particular, ETSI (European Telecommunications Standards Institute) está especificando el sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) como un sistema de la tercera generación basado en FPLMTS. Los sistemas de la tercera generación ofrecerán una amplia variedad de servicios

tradicionalmente ofrecidos por sistemas separados (servicios inalámbricos, celulares, satelitales, de radiolocalización, etc.). La especificación de UMTS inició en 1994 y se espera que los estándares preliminares se finalicen en 1998 [Rapeli, 1995].

I.1.1 Objetivos de UMTS

El objetivo principal de UMTS es soportar una gran variedad de servicios móviles avanzados de hasta 2 Mbps, la mayoría de los cuales aún no están disponibles. Aunque la telefonía de alta calidad permanecerá como el servicio dominante, la visión es que los servicios multimedios personalizados, que requerirán la asignación de recursos de transmisión flexibles y sobre demanda, atraerán un segmento importante del mercado de las comunicaciones móviles. Así pues, los esfuerzos de UMTS están enfocados hacia [Rapeli, 1995]:

- Soportar una amplia gama de servicios que puedan ser adaptados de acuerdo a las preferencias del usuario.
- Ofrecer capacidades de transmisión de hasta 2 Mbps por portadora.
- Ofrecer una calidad de servicio comparable al de las redes fijas.
- Permitir la asignación de capacidad de transmisión en forma flexible, rápida, y sobre demanda.
- Soportar el acceso a redes de alta velocidad con la integración de UMTS con B-ISDN.
- Hacer a UMTS consistente con las recomendaciones de la ITU sobre FPLMTS.

I.1.2 Proyectos en UMTS

El trabajo sobre UMTS por parte de la ETSI se ha dividido en dos fases. La primera fase está comprendida dentro del programa RACE (Research into Advanced Communications in Europe), lanzado en 1988, en el cual se bosquejan especificaciones, tecnologías claves, la integración de sistemas, y el prototipo de nuevos servicios y aplicaciones. El programa RACE concluyó sus actividades en 1995 y ahora se está trabajando en la segunda fase, conocida como ACTS (Advanced Communications Technologies and Services). Este nuevo programa, capitalizando la experiencia del programa RACE, es concebido como un programa de investigación y desarrollo que prepare el camino para una infraestructura de telecomunicaciones de banda amplia a nivel europeo, internacionalmente competitiva, que naturalmente cuenta con una parte móvil [Schwarz Da Silva y Fernandes, 1995].

Para ofrecer servicios móviles de multimedios (uno de los objetivos de UMTS) ACTS está desarrollando investigación para identificar un sistema confiable y su interfaz de radio asociada. Dentro de los objetivos de mayor importancia se encuentran la determinación de frecuencias, especificación de procedimientos para acceder el medio, selección de esquemas de codificación eficientes en ancho de banda, definición de protocolos de control de enlace, así como aspectos de conectividad con otras redes ya sean fijas o inalámbricas.

I.1.3 Evolución de GSM hacia UMTS

Basados en la experiencia adquirida en el desarrollo de GSM (Global System for Mobile communications), el cual es un sistema celular digital estandarizado a principios de los 90s, existen varios estudios enfocados en su posible evolución hacia UMTS [RACE Especificación D731, 1994] [Dupuis, 1995].

GSM fue diseñado como un sistema completamente nuevo, sin referencias hacia sistemas celulares analógicos preexistentes, es decir, sin ningún requerimiento de compatibilidad hacia atrás (exceptuando, por supuesto, el de las bandas de frecuencia de operación). Inicialmente se pensó que se podía aplicar el mismo enfoque a los sistemas de la siguiente generación; sin embargo, debido a la enorme penetración que GSM ha tenido en el mercado y al alto nivel de investigación por parte de operadores y fabricantes de la tecnología GSM, es justificable un escenario en el cual UMTS sea introducido como una evolución de GSM, antes que como un sistema radicalmente nuevo. En tal escenario, GSM evolucionaría mucho mas allá de lo previamente visualizado, permitiendo una transición suave de los usuarios hacia UMTS.

I.2 Objetivos de la Tesis

Realizar investigación en las técnicas de acceso múltiple y de modulación digital en el sistema móvil, para soportar servicios multimedios con características de eficiencia y confiabilidad similares a las utilizadas en sistemas fijos y que permitan una evolución natural de los sistemas actuales. Todo esto dentro de los estándares internacionales bajo estudio, como son los dictados por la ETSI (UMTS) y la ITU (FPLMTS).

I.3 Metas del Trabajo

Para llevar a cabo el objetivo de la tesis se plantearon las siguientes metas u objetivos particulares:

- Estudio del sistema de comunicaciones GSM, específicamente en la interfaz de radio.
- Análisis de técnicas de acceso múltiple factibles para los sistemas de comunicaciones inalámbricas del futuro.
- Estudio de técnicas de modulación digital de alta eficiencia espectral.
- Análisis de los objetivos del sistema de comunicaciones UMTS.
- Recopilación de las características del tráfico esperado para el sistema bajo estudio.

I.4 Alcances de la Tesis

A partir del objetivo y las metas planteadas anteriormente, los alcances de la tesis se acotaron a lo siguiente:

- Evaluación de la interfaz de radio del sistema GSM como base para una migración suave hacia UMTS.
- Comparar las distintas técnicas de acceso múltiple y de modulación digital estudiadas y seleccionar las que se consideren más factibles para UMTS.
- Simular el comportamiento de los esquemas de acceso múltiple y de modulación digital seleccionados bajo distintos escenarios de tráfico esperados.
- Análisis de los efectos en los servicios móviles a altas tasas de transmisión.

I.5 Infraestructura Utilizada

Para el desarrollo de esta investigación se empleó la siguiente infraestructura disponible en el CICESE:

- Estación de trabajo SUN Sparc 20+.
- Paquete para simulación de redes de comunicaciones OPNET Modeler.
- Computadora personal Pentium.
- Acceso a Internet.
- Biblioteca (CICESE y San Diego).
- Distintos programas como Word, Powerpoint, VISIO, Netscape, etc.

I.6 Organización del Trabajo

La estructura del resto de la tesis es la siguiente:

En el capítulo II se describe un sistema típico de comunicaciones móviles como es GSM. Se menciona su arquitectura de red haciendo un énfasis mayor en los aspectos de la interfaz de radio, necesarios para un mejor entendimiento de la tesis. El capítulo III describe el esquema de acceso múltiple por reservación de paquetes (PRMA, del inglés Packet Reservation Multiple Access). Este es el esquema que se analizará en el trabajo. Además, se mencionan las principales características de los esquemas de modulación de alto nivel que se emplearán en la simulación. El capítulo IV describe los modelos utilizados durante la simulación. Se especifican los parámetros de los mismos y la forma de implementarlos en el

simulador OPNET. El análisis de los resultados de la simulación bajo distintos escenarios es llevado a cabo en el capítulo V. Por último, el capítulo VI contiene las conclusiones y recomendaciones surgidas de este trabajo.

Se incluyen, además, dos apéndices. El primero de ellos revisa los aspectos de propagación en enlaces de radio. Fue necesario estudiar estos temas ya que el simulador utilizado no los implementa en forma adecuada y hubo que agregarlos. El apéndice B describe la filosofía empleada por el simulador OPNET para la creación, ejecución y análisis de modelos de simulación.

II SISTEMA DE COMUNICACIONES MÓVILES GSM

II.1 Introducción

El sistema de comunicaciones móviles GSM (Global System for Mobile communications), es un sistema de comunicaciones celular digital que ha tenido una rápida aceptación en el ámbito mundial a pesar de que inicialmente fue desarrollado en un contexto europeo. En adición a la transmisión digital, GSM incorpora varias características y servicios avanzados, incluyendo compatibilidad con la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) y “roaming” internacional (capacidad de acceder redes de distintos operadores, en distintas zonas geográficas, desde la misma terminal móvil). La arquitectura y servicios avanzados de GSM lo han establecido como un modelo para los sistemas de comunicaciones personales futuros, tal como UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) [RACE Especificación D731, 1994] [Dupuis, 1995].

El desarrollo de GSM inició en 1982 cuando la CEPT (Conference of European Posts and Telegraphs) formó un grupo de estudio llamado Groupe Spécial Mobile (el significado inicial de GSM). El grupo debía estudiar y desarrollar un sistema celular público en la banda de los 900 MHz para el continente europeo. En ese tiempo, en diferentes países de Europa existían varios sistemas celulares analógicos incompatibles. Algunos de los criterios básicos para el sistema propuesto por el grupo GSM fueron los siguientes [Balston, 1992]:

- Buena calidad subjetiva de voz.
- Eficiencia espectral.

- Bajo costo en servicios y terminales.
- Soporte de nuevos servicios y capacidades.
- Soporte de “roaming” internacional.
- Compatibilidad con la RDSI.

En 1989 la responsabilidad para la especificación del sistema GSM fue transferida a la ETSI (European Telecommunication Standards Institute). En 1990, cuando el trabajo de especificación de GSM estaba en su punto máximo, se determinó que no todas las características deseadas podrían ser especificadas a tiempo para su lanzamiento comercial, planeado para 1991. Además, fue reconocido que aún se podían hacer mejoras en áreas de señalización y procedimientos. De esta forma se introdujeron distintas fases en GSM [Mouly y Pautet, 1995]. Una versión de las especificaciones soportando solo un subconjunto de los servicios planeados fue liberada y llamada GSM fase 1. La fase 2 se liberaría unos años más tarde, como la versión completa y final de las especificaciones de GSM. La experiencia en la transición de la fase 1 hacia la fase 2 dio la suficiente confianza en cuanto a los requerimientos de compatibilidad para una posterior evolución de GSM. Esta evolución es ahora conocida como GSM fase 2+. Esta expresión ha sido adoptada para expresar que, después de la fase 2, se intentarán nuevos servicios y características como adiciones a la fase 2, las cuales serán introducidas sin restricciones sobre la infraestructura existente. Actualmente GSM se ha extendido mas allá de las fronteras de Europa llegando a América, Australia, Asia y el Norte de África.

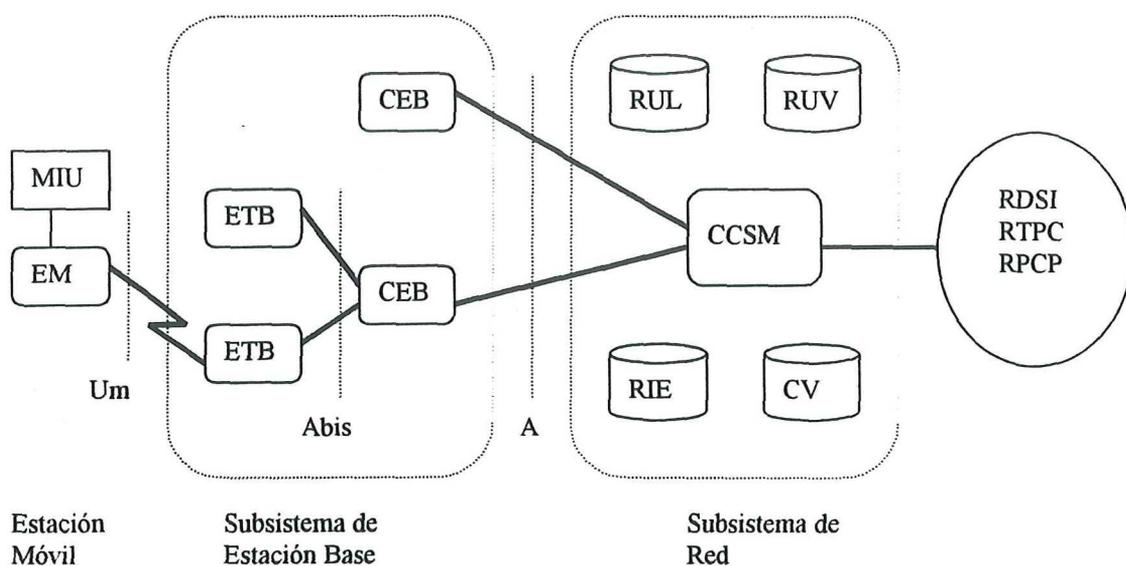
II.2 Servicios Proporcionados por GSM

GSM fue diseñado teniendo en mente la compatibilidad con la RDSI. Los servicios ofrecidos por GSM son un subconjunto de los servicios estándares de la RDSI. La telefonía es el teleservicio más básico e importante proporcionado por el sistema. Adicionalmente se soportan varios tipos de servicios de datos, con tasas de bits de usuario de hasta 9600 bps. Terminales GSM equipadas especialmente pueden ser conectadas a redes RDSI, RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada) y Redes Públicas de Conmutación de Paquetes (RPCP), a través de varios métodos, utilizando transmisión síncrona o asíncrona. También se soportan servicios de facsímil grupo 3, videotexto y teletexto. Otros servicios GSM incluyen la difusión de mensajes, tales como reportes de tráfico, a los usuarios localizados en celdas específicas.

Varios servicios suplementarios mejoran el conjunto de teleservicios básicos. En las especificaciones de la fase 1, los servicios suplementarios incluyen variaciones de reintento de llamada y obstrucción de llamada, tales como el reintento de llamada a destino ocupado, u obstrucción de origen de llamadas internacionales. En las especificaciones de la fase 2 se ofrecen más servicios suplementarios, entre los cuales se incluyen llamadas multipartita, llamada en espera, identificación de la línea que llama, distintos algoritmos de encriptación, etc.

II.3 Arquitectura del Sistema

La arquitectura funcional del sistema GSM está constituida por la estación móvil, el subsistema de estación base y el subsistema de red. Cada subsistema consta de entidades funcionales, las cuales se comunican a través de varias interfaces utilizando protocolos específicos, tal como se muestra en la figura 1.



CCSM: Centro de Conmutación de Servicios Móviles
 CV: Centro de Validación
 ETB: Estación Transceptora Base
 RDSI: Red Digital de Servicios Integrados
 RPCP: Red Pública de Conmutación de Paquetes
 RUL: Registro de Usuarios Locales

CEB: Controlador de Estación Base
 EM: Estación Móvil
 MIU: Módulo de Identificación de Usuario
 RIE: Registro de Identificación de Equipo
 RTPC: Red Telefónica Pública Conmutada
 RUV: Registro de Usuarios Visitantes

Figura 1. Arquitectura del sistema GSM.

II.3.1 La Estación Móvil

La estación móvil (EM) en GSM consta de dos entidades distintas. La parte física es el equipo móvil, el cual es anónimo. La información del suscriptor, la cual incluye un identificador único llamado Identificador Internacional de Usuario Móvil (IIUM), es almacenada en el Módulo de Identificación de Usuario (MIU), implementado como una tarjeta inteligente. Insertando la tarjeta en algún equipo móvil GSM, el usuario es capaz de iniciar y recibir llamadas en esa terminal, además de otros servicios adicionales a los cuales esté inscrito. Al separar la información del usuario de una terminal específica, GSM ofrece movilidad personal a sus usuarios.

II.3.2 Subsistema de Estación Base

El subsistema de estación base (EB) está formado por dos partes: la estación transceptora base (ETB) y el controlador de estación base (CEB). La ETB contiene los transceptores de radio que definen una celda y maneja los protocolos de la interfaz de radio (interfaz Um) con la estación móvil. El CEB administra los recursos de radio para una o más ETB, a través de la interfaz Abis; administra los canales de la interfaz de radio (establecimiento de llamadas, liberación de canales, saltos en frecuencia, etc.), así como los “handovers” (transferencia de una llamada en proceso a un canal o celda distinta sin perder el enlace).

II.3.3 Subsistema de Red

El componente principal del subsistema de red es el centro de conmutación de servicios móviles (CCSM). Este actúa como un nodo de conmutación de la red RDSI. Además, provee toda la funcionalidad necesaria para administrar a los usuarios móviles, incluyendo registro, validación, actualización de localización, “handovers” y enrutamiento de llamadas a usuarios en sus áreas visitadas. Estos servicios son ofrecidos en conjunto con cuatro bases de datos: RUL (Registro de Usuarios Locales), RUV (Registro de Usuarios Visitantes), RIE (Registro de Identificación de Equipo) y CV (Centro de Validación). Estas bases de datos junto con el CCSM forman el subsistema de red, el cual se comunica con el subsistema de estación base a través de la interfaz A. El CCSM también provee la conexión a las redes fijas (RDSI, RTPC, RPCP).

II.3.4 Establecimiento de llamadas

Cuando un usuario móvil inicia una llamada, la EM busca una EB ofreciendo un nivel de señal recibida suficientemente alto y envía su petición a través de un canal de acceso aleatorio. Al recibir la petición, la EB asigna un canal de señalización bidireccional y establece un enlace con el CCSM sirviendo el área. El CCSM utiliza el IIUM recibido de la EM para preguntar a cual RUL pertenece el suscriptor. Los datos del suscriptor obtenidos del RUL se envían al RUV local. Después de que el usuario es aceptado por la red, la EM define el tipo de servicio que requiere y provee el número del destino de su llamada. La EB sirviendo la celda asigna un canal de tráfico y el CCSM enruta la llamada a su destino.

El procedimiento para establecer una llamada desde una red fija hacia un usuario móvil es similar al procedimiento descrito arriba. La principal diferencia es que la EM debe ser localizada por el CEB. Se transmite una señal de búsqueda sobre un canal especial monitoreado continuamente por todas las EM y cubre el área en la cual la EM se ha registrado. Cuando la EM recibe la señal de búsqueda, empieza un procedimiento de acceso idéntico al empleado cuando el usuario móvil inicia la llamada. Esto se ilustra en la figura 2.

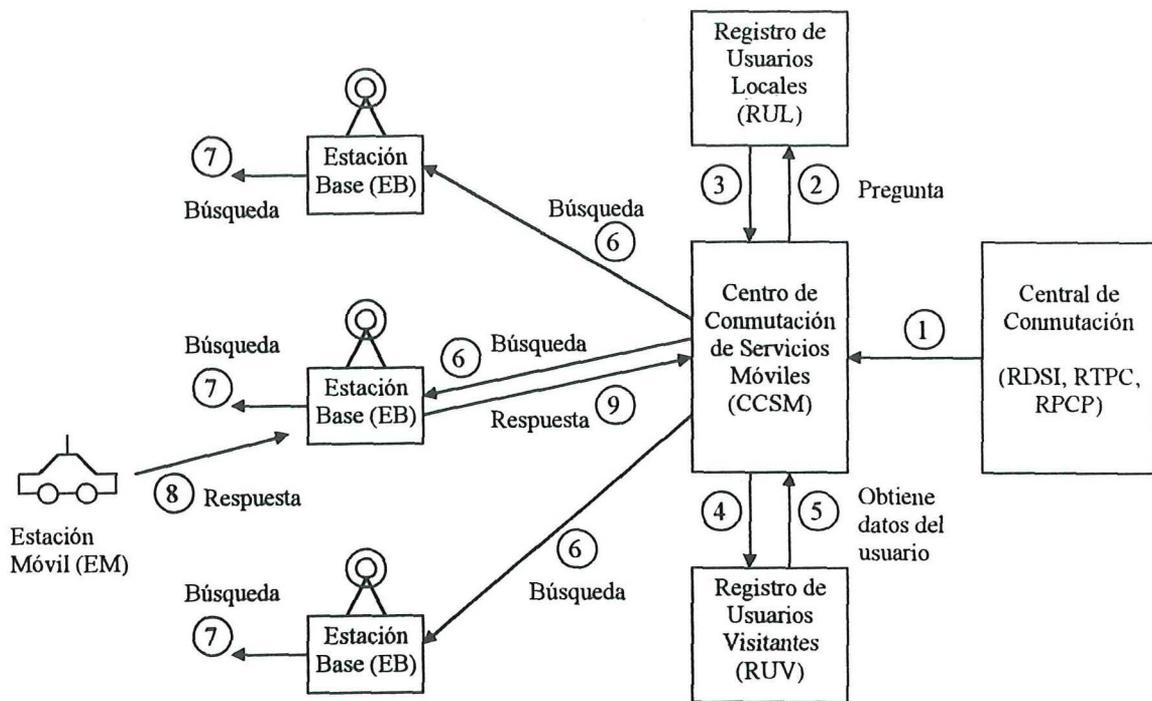


Figura 2. Procedimientos para arribo de llamadas a la estación móvil.

II.4 Aspectos del Enlace de Radio

II.4.1 Esquema de acceso múltiple

El sistema GSM cuenta con un ancho de banda disponible de 50 MHz: 25 MHz para los enlaces de subida (EM a EB) y 25 MHz para los enlaces de bajada (EB a EM). Cada banda de 25 MHz es dividida en 125 portadoras de 200 KHz cada una, de acuerdo a un esquema de acceso múltiple FDMA (Frequency Division Multiple Access). Se asigna una o más frecuencias portadoras a estaciones base individuales. Un usuario tiene acceso a cada portadora a través de una técnica de acceso múltiple TDMA (Time Division Multiple Access). Esta técnica consiste en dividir a cada portadora en ocho ranuras de tiempo de 0.577 ms. Cada ranura es un canal físico que puede ser utilizado por un usuario del sistema. Un marco está formado por ocho ranuras de tiempo y su duración es de 4.615 ms, constituyendo el marco básico en GSM. La figura 3 ilustra el esquema de acceso combinado FDMA/TDMA.

II.4.2 Codificación de voz y de canal.

La voz en GSM es codificada digitalmente a una tasa de 13 Kbps, y es llamada codificación de voz de tasa completa. Esta codificación es bastante eficaz comparada con la tasa normal de RDSI de 64 Kbps. Una de las adiciones importantes a la fase 2 será la introducción de un codificador de voz de tasa media operando alrededor de 7 Kbps, duplicando la capacidad de la red.

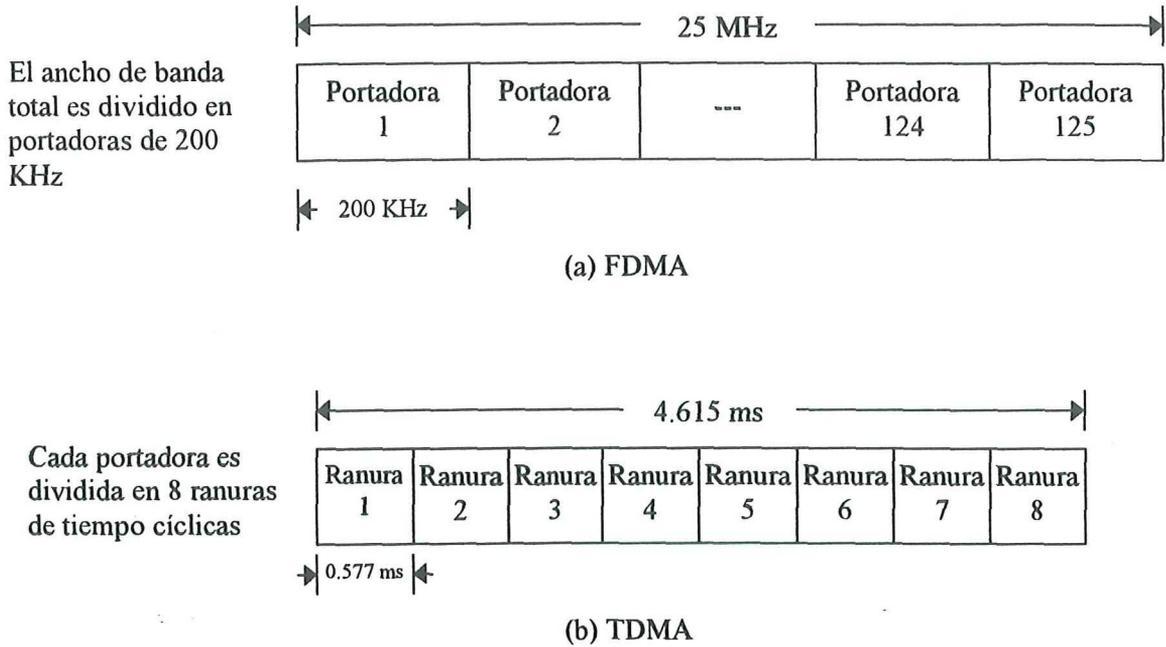
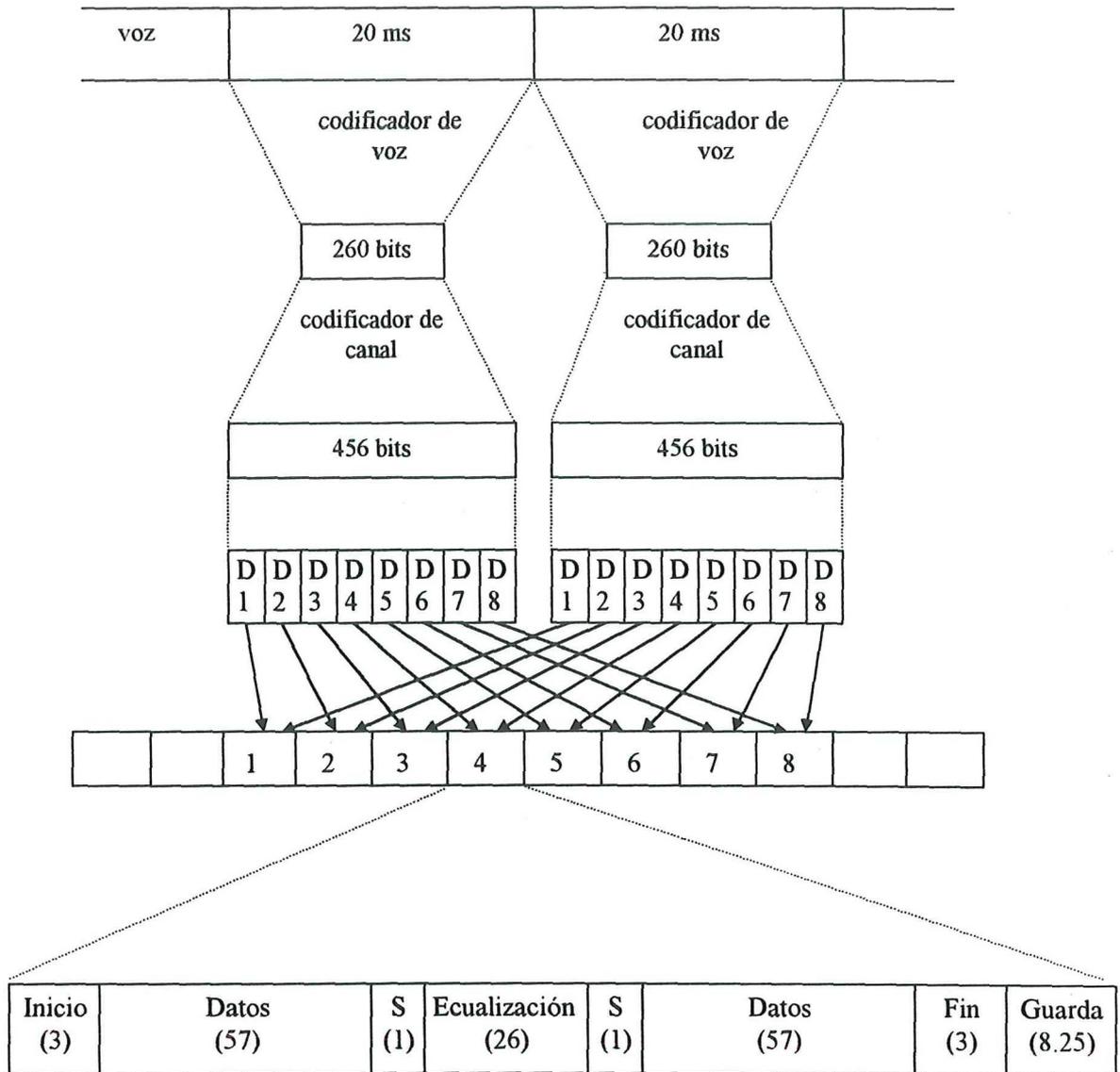


Figura 3. Esquema de acceso múltiple FDMA/TDMA.

Para entender como se ordena la información dentro de los marcos, considérese el diagrama de la figura 4 [Mehrotra, 1994]. La voz se digitaliza y se pasa a través de un codificador de voz, el cual toma una muestra de 20 ms y entrega 260 bits a la salida del mismo. Entonces, la tasa de datos a la salida del codificador de voz es de 13 Kbps. Posteriormente, la información se pasa a través de un codificador de canal, entregando a la salida 456 bits en 20 ms. Entonces, la tasa de datos a la salida del codificador de canal es de 22.8 Kbps. Los 456 bits de datos se dividen en 8 bloques de 57 bits y se entrelazan con los 8 bloques de otra muestra para combatir los efectos del ruido por transmisión en ráfagas. Además de los dos bloques de 57 bits, cada ranura de tiempo contiene una secuencia de entrenamiento de 26 bits utilizada para ecualización, bits de señalización y 8.25 bits de tiempo de guarda. La secuencia de entrenamiento es un patrón conocido que se compara

con el patrón recibido, con la esperanza de poder reconstruir el resto de la señal original. El control de error a través de FEC (Forward Error Correction) y la ecualización contribuyen a la robustez de las señales de radio contra interferencia y desvanecimiento por multitrayectorias.



S: Señalización

Figura 4. Codificación de voz y de canal.

Una ráfaga normal se transmite en 0.577 ms, resultando una tasa de bits total de 270.8 Kbps, y se modula en una portadora de 200 KHz utilizando modulación GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

II.4.3 Modulación.

La modulación utilizada en el sistema GSM es la modulación digital GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). GMSK es un tipo específico de la modulación MSK (Minimum Shift Keying) en la cual los pulsos rectangulares correspondientes a los bits de datos se filtran a través de un filtro pasabajas tipo gaussiano antes de su modulación [Mehrotra, 1994]. El suavizar los bordes de los pulsos reduce sustancialmente el ancho de banda requerido después de la modulación. La modulación GMSK tiene características que la hacen factible para aplicaciones de comunicaciones móviles, tales como: envolvente constante, espectro de potencia de salida compacto y buen desempeño en tasa de error.

II.4.4 Transmisión discontinua

Para maximizar la eficiencia espectral del sistema, GSM adoptó la transmisión discontinua. La transmisión discontinua es un método que toma ventaja del hecho de que una persona habla menos del 50 por ciento del tiempo en una conversación normal, apagando el transmisor durante los periodos de silencio. En esta forma se disminuye la interferencia promedio y se pueden tener celdas de menor tamaño, incrementándose con ello la capacidad del sistema. Un factor a considerar es que, debido a la naturaleza digital de GSM, cuando el transmisor se apaga se escucha un silencio total en el extremo receptor.

Para asegurar al receptor que no se perdió la conexión, se crea un ruido confortable en el equipo receptor. Un beneficio agregado de la transmisión discontinua es que aumenta el tiempo de vida de las baterías de los equipos portátiles.

III SISTEMA DE COMUNICACIONES MÓVILES UMTS

III.1 Introducción

El enorme crecimiento del mercado de comunicaciones inalámbricas a nivel mundial, aunado a los avances en la tecnología de comunicaciones y el acelerado desarrollo de los servicios en las redes fijas, apuntan hacia la inminente introducción de la tercera generación de sistemas de comunicaciones móviles. Los sistemas de la tercera generación están siendo investigados ampliamente en diversas partes del mundo. En Europa, se hace referencia a tales sistemas con el nombre de UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems), mientras que internacionalmente, y particularmente en la ITU (International Telecommunications Union), se conocen como FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications Systems), o más recientemente como IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for the year 2000). En este contexto, una de las cuestiones esenciales a resolver es saber cuáles serán las tecnologías que cumplirán los requerimientos de los servicios y aplicaciones móviles esperados para la próxima década.

La visión de UMTS es soportar todos los servicios y aplicaciones que los usuarios disfrutaban actualmente y tener el potencial para ofrecer nuevos servicios y aplicaciones de multimedios, con niveles de calidad semejantes a los de las redes fijas. Así, los proyectos dentro de UMTS deberán identificar que servicios y aplicaciones podrán ser soportados por el sistema, los requerimientos de los mismos, y los ambientes de operación. Se está desarrollando un considerable esfuerzo para determinar como asegurar que UMTS se diseñe y perciba como una evolución de los sistemas de segunda generación hacia una nueva

generación de servicios de banda amplia. La progresiva migración de la segunda a la tercera generación, que se espera inicie al término de este siglo, fomentará la incorporación de nuevos usuarios mientras que garantizará que los actuales usuarios perciban una evolución que será atractiva, benéfica y natural [Schwarz Da Silva *et al.*, 1997].

Tomando en cuenta el enorme desarrollo tecnológico y la amplia aceptación que ha tenido el sistema GSM (actualmente cuenta con mas de 190 operadores en mas de 80 países [Schwarz Da Silva *et al.*, 1997]), se considera a este sistema como el más apropiado para su evolución hacia UMTS [Magedanz, 1996]. Para la evolución de GSM hacia UMTS son varios los puntos que se pueden aprovechar y también varios los retos que se tienen que resolver. Como se mencionó en el capítulo anterior, GSM sólo ofrece servicios de datos de baja velocidad (además de los servicios de voz y otros suplementarios, por supuesto). Para que GSM pueda manejar servicios multimedios, uno de los principales puntos a resolver es la nueva interfaz de radio a utilizar. Dentro de las especificaciones de la interfaz de radio se encuentran el método de acceso al canal y el tipo de modulación.

Entre los esquemas de acceso múltiple que se investigan para UMTS se encuentra el esquema de Acceso Múltiple por Reservación de Paquetes (PRMA, del inglés Packet Reservation Multiple Access). En lo referente a las técnicas de modulación, los candidatos más fuertes son los esquemas de modulación digital multinivel, tales como las familias M -PSK y M -QAM. Las siguientes secciones tratan el esquema de acceso PRMA y las técnicas de modulación multinivel ya que son los que se utilizaron para analizar los distintos aspectos requeridos en el trabajo y son parte medular del mismo.

III.2 Acceso Múltiple por Reservación de Paquetes (PRMA)

El esquema de acceso múltiple por reservación de paquetes PRMA es un protocolo para transmisión desde terminales móviles hacia estaciones base. PRMA puede ser visto como una combinación de TDMA y ALOHA ranurado [Goodman, 1990]. El flujo de bits en el canal es primero organizado en ranuras de tiempo, tal que cada ranura puede transportar un paquete de una terminal móvil a la estación base. A su vez, las ranuras de tiempo son agrupadas en marcos. Dentro de un marco, las terminales reconocen cada ranura como disponible o reservada, a través de un paquete de retorno difundido en el marco anterior por la estación base hacia todas las terminales. Al igual que en ALOHA ranurado, las terminales con información nueva que transmitir contienen para tener acceso a las ranuras disponibles. Al final de cada ranura, la estación base difunde un paquete a través de un canal de señalización TDM que es accesado por todas las terminales móviles. El paquete reporta el resultado de la transmisión indicando que ranuras están reservadas y a que terminales han sido asignadas. Una terminal que tuvo éxito en el envío de su paquete obtiene la reservación para el uso exclusivo de la correspondiente ranura de tiempo en los marcos subsecuentes.

La duración del marco es seleccionada de manera que una terminal genera un paquete por marco. Después de ganar la reservación, la terminal continua utilizando su ranura reservada hasta no tener más paquetes que transmitir. La estación base, al no recibir más paquetes en la ranura reservada, informa a todas las terminales que la ranura está disponible de nuevo. En marcos subsecuentes, las terminales con información nueva que transmitir contienen por esa y otras ranuras disponibles. El mecanismo de contienda utiliza una probabilidad de obtener permiso p , una constante de diseño para todas las terminales en el

sistema PRMA. Una terminal contendiente espera una ranura disponible y, con probabilidad p , transmite el paquete a la estación base en la ranura disponible [Goodman, 1990]. Como cada terminal con reservación hace uso exclusivo de una ranura del marco, las terminales con reservación comparten el canal como en TDMA.

PRMA se presta para operar más adecuadamente al utilizar detectores de actividad en las terminales. Un detector de actividad clasifica las señales en cada instante como activas o inactivas. En el caso de terminales de voz, estas generan ráfagas de paquetes durante los periodos de habla, mientras que durante los periodos de silencio no es generado ningún paquete.

La figura 5 ilustra la operación de PRMA. Hay ocho ranuras de tiempo por marco y la estación base ha indicado que en el marco k seis ranuras están reservadas por las terminales 11, 5, 3, 1, 8 y 2. Dos ranuras, la 3 y la 7, están disponibles en el marco k . Al inicio del marco, las terminales 4 y 6 están contendiendo para acceder el canal. Ambas terminales obtienen permiso para transmitir en la ranura 3 y, como sus paquetes chocan, ninguna obtiene la reservación de esa ranura. Así pues, ambas terminales continúan en estado de contienda. Mientras tanto, la terminal 3 transmitió su último paquete en el marco $k-1$. Por lo tanto, en el marco k no transmite y en el marco $k+1$ pierde la reservación. Entonces la estación base indica que en el marco $k+1$ están disponibles las ranuras 3, 4 y 7. En el marco $k+1$, sólo la terminal 6 obtiene permiso para transmitir en la ranura 3. Entonces la terminal 6 gana la reservación de la ranura 3. La terminal 4, mientras tanto, obtiene permiso para transmitir en la ranura 4 y gana la reservación de la misma para marcos subsecuentes.

Marco k

Terminales contendientes: 4, 6

R11	R5	D	R3	R1	R8	D	R2
-----	----	---	----	----	----	---	----

Terminales
transmitiendo

11 5 4, 6 - 1 8 - 2

Marco $k+1$

Terminales contendientes: 4, 6

R11	R5	D	D	R1	R8	D	R2
-----	----	---	---	----	----	---	----

Terminales
transmitiendo

11 5 6 4 1 8 - 2

Marco $k+2$

Terminales contendientes:

R11	R5	R6	R4	R1	R8	D	R2
-----	----	----	----	----	----	---	----

Terminales
transmitiendo

11 5 6 4 1 8 - 2

Figura 5. Ejemplo de operación de PRMA.

En cualquier instante, el número de ranuras disponibles depende del número de terminales transmitiendo, cantidad sujeta a fluctuación aleatoria. Cuando hay pocas ranuras disponibles, las terminales con paquetes nuevos para transmitir están sujetas a retardos relativamente largos para obtener una reservación. A diferencia de los sistemas que sólo manejan paquetes de datos, los cuales responden a situaciones de congestión almacenando los paquetes hasta que puedan ser transmitidos, los sistemas que manejan paquetes de voz o video deben entregar los paquetes sin exceder un retardo máximo especificado. En PRMA cualquier paquete mantenido mas allá de cierto tiempo límite especificado, sin obtener reservación, es descartado por la terminal. Entonces, una medida del desempeño de PRMA es la probabilidad de que se descarte un paquete. Diferentes aplicaciones soportan distintos valores para esta medida de desempeño.

III.2.1 Efecto de captura

Con protocolos de acceso aleatorio tales como PRMA, es posible que dos o más terminales conteniendo intenten transmitir simultáneamente un paquete en la misma ranura del marco. Tal conflicto de contienda o acceso es llamado colisión. Tradicionalmente, dentro de la investigación de las redes de paquetes por canales de radio, se ha supuesto que un paquete es recibido correctamente al no presentarse colisiones, y que todos los paquetes involucrados en una colisión son perdidos [Tanenbaum, 1991]. Sin embargo, esta suposición ha sido reconsiderada porque incluso en el evento de una colisión, la señal de radio más fuerte puede aún capturar el canal (o ranura) [Orange, 1995].

El efecto de captura ha sido adoptado para describir el hecho de que cualquier radioreceptor práctico es resistente a ruido e interferencia, al menos a ciertos valores de estos [Linnartz, 1993]. El efecto de captura puede ser entendido como el fenómeno en el cual las decisiones para reconstruir un mensaje transmitido en el canal son dominadas por la señal de mayor potencia, aún en presencia de ruido e interferencia. Aspectos relevantes en el efecto de captura son entre otros, los niveles de potencia recibidos, el tipo de modulación, características de la interferencia, y comportamiento del canal. El cálculo exacto de la probabilidad de captura es una tarea complicada. Así lo indica el gran número de distintos modelos utilizados para calcular estas probabilidades [Linnartz, 1993].

Uno de los modelos del efecto de captura más comúnmente utilizados es el propuesto en [Kuperus y Arnbak, 1982]. Este modelo asume que un paquete captura una ranura del canal de radio, en presencia de n paquetes interfiriendo, si y únicamente si, su potencia instantánea P_s excede la potencia de interferencia compuesta instantánea P_n por al menos un factor de umbral (o razón de captura) z . La potencia recibida se supone constante durante la recepción del paquete. Consecuentemente, el paquete se considera recibido correctamente sí, y únicamente sí

$$\frac{P_s}{P_n} > z \quad (1)$$

III.3 Técnicas de Modulación Digital

En los sistemas de comunicaciones móviles se utilizan diversas técnicas de modulación. En la primera generación de estos sistemas se emplean los esquemas de modulación analógica. Sin embargo, dados los numerosos beneficios que ofrece la modulación digital, ésta se ha adoptado en los sistemas de la segunda generación y así mismo se perfila para dominar completamente los sistemas futuros [Rappaport *et al.*, 1997].

Existen varias razones por las cuales se ha incrementado la popularidad de las técnicas de modulación digital, entre las cuales se incluyen [Conte, 1988]:

- Proporcionan la capacidad de transmitir a altas velocidades digitales, sin aumentar demasiado la complejidad de las terminales;
- Las señales moduladas digitalmente poseen una alta inmunidad al ruido, ya que tienen sólo determinados niveles de amplitud;
- Es posible agregar a las señales digitales información redundante para corrección de errores, y cifrarlas mediante códigos secretos para protección y seguridad de la información;
- Permiten la obtención de alta eficiencia espectral y mejor utilización del ancho de banda;
- Permiten la obtención de valores de probabilidad de error a niveles bajos (1×10^{-12}) para relaciones señal a ruido bajas; y
- Ofrecen facilidad de multicanalización de varias formas de información (por ejemplo, voz, datos y video).

Son varios los factores que influyen en la selección del esquema de modulación digital más adecuado. Los esquemas de modulación actuales no cumplen con todos los requisitos simultáneamente. Algunos son mejores en función de la tasa de bits erróneos, mientras que otros son mejores en cuanto a eficiencia de ancho de banda. Dependiendo de las demandas de la aplicación particular se hace un compromiso cuando se selecciona el tipo de modulación. Por ejemplo, esquemas de modulación de alto nivel (M -arios) disminuyen el ancho de banda necesario pero incrementan el nivel de potencia requerida en recepción, y por lo tanto, cambian eficiencia en potencia por eficiencia en ancho de banda.

III.3.1 Técnicas de modulación en cuadratura

Las formas más simples de los sistemas de portadora digital son los que consideran modulación binaria en amplitud, fase o frecuencia, y tienen la particularidad de no poder transmitir a velocidades mayores que el ancho de banda asignado, es decir, el ancho de banda requerido en Hz es igual a la velocidad de transmisión de datos en bps. Sin embargo, al utilizar esquemas de modulación multinivel se puede reducir el ancho de banda requerido para transmitir la secuencia digital en banda base. Estas técnicas consisten en la combinación de pulsos sucesivos binarios para formar un pulso de mayor longitud, lo que en consecuencia requerirá un menor ancho de banda de transmisión. Estos sistemas son utilizados comúnmente tanto en sistemas de microondas como en comunicaciones de datos por satélite.

Cuando se tiene un canal limitado en ancho de banda, como es el caso de este estudio, donde se requiere transmitir tasas de datos a altas velocidades, se emplean técnicas de

modulación con alta eficiencia espectral, es decir, técnicas de modulación que permitan transmitir mas información sobre el mismo ancho de banda, mediante el incremento de bits en un mismo símbolo (o baud). Para lograr este objetivo se hace uso de las técnicas de modulación en cuadratura. Esto implica el separar la señal de información binaria en dos (o más) flujos de datos, y modularlos con cierta variación de fase uno con respecto al otro, obteniendo un número determinado de fases y uno o varios niveles de amplitud de la señal. Se denomina modulación en cuadratura debido a que los flujos de datos en que se separa la información se colocan a 90 grados uno del otro, realizándose una suma vectorial de los dos componentes dando origen a una “constelación” (figura 6). Se denomina constelación a la representación gráfica de todos los puntos posibles que puede tomar la señal dentro del cuadrante, en base a los niveles y fases de la señal resultante de la modulación en cuadratura [Conte, 1988].

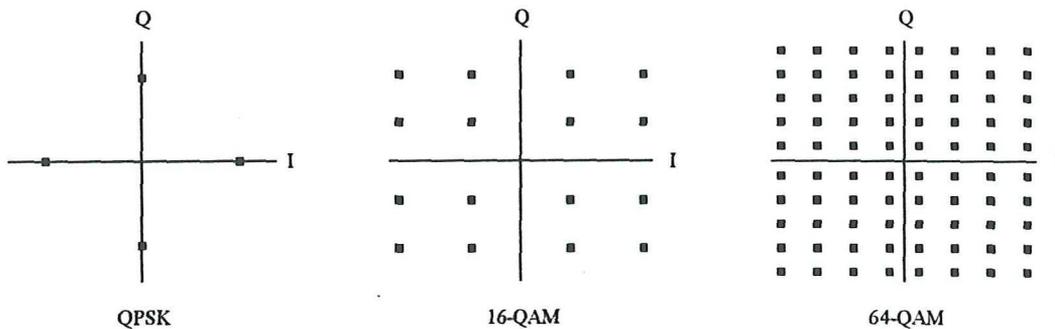


Figura 6. Constelaciones de esquemas de modulación en cuadratura.

En la modulación en cuadratura se aplican los conceptos de modulación con uso eficiente del espectro de frecuencias, dado que en estos esquemas la velocidad de

transmisión sí puede ser mayor que el ancho de banda asignado. Una de las características de la modulación eficiente en ancho de banda es que para lograr una misma tasa de bits erróneos los esquemas de mayor nivel requieren una mejor relación señal a ruido. Esto resulta en una división entre los distintos esquemas de modulación, con respecto a la eficiencia espectral y la eficiencia en potencia. Los esquemas de modulación simples son eficientes en potencia pero no en la utilización del espectro de frecuencias. Por otro lado, los esquemas de modulación multinivel son eficientes en el uso del espectro de frecuencia, pero al aumentar el nivel de la modulación disminuye su eficiencia en potencia. Por ejemplo, en comunicaciones vía satélite se tienen restricciones en cuanto al abastecimiento de potencia, razón por la cual tradicionalmente se han utilizado esquemas de modulación de bajo nivel, como BPSK y QPSK.

Como ya se ha mencionado, en la transmisión digital es frecuente utilizar técnicas de modulación a niveles mayores que el binario, teniéndose por ejemplo, las familias M -PSK y M -QAM. En el caso particular de QPSK se tienen 4 fases posibles, por lo que $M = 4$, y para 8PSK se tienen ocho fases posibles, por lo tanto $M = 8$. Matemáticamente se puede demostrar que el nivel M está directamente relacionado con el número de bits que intervienen en un símbolo dado mediante la ecuación 2:

$$M = 2^N \quad (2)$$

donde: M = número de combinaciones posibles con n bits, y

N = número de bits.

III.3.2 Esquemas de modulación multinivel M -PSK

La potencia transmitida y el ancho de banda del canal son dos recursos básicos en los sistemas de comunicaciones móviles. En determinadas situaciones uno de estos recursos puede ser más importante que el otro y, por lo tanto, muchos canales pueden clasificarse como de potencia limitada o de banda limitada, de ahí el creciente interés en los métodos de modulación multinivel para sistemas de comunicación digital, requeridos para manejar altas tasas de bits por segundo dentro de restricciones de ancho de banda fijas.

La eficiencia espectral de la técnica de modulación M -PSK está dada por la ecuación 3:

$$f_b / B = \log_2 M \quad (3)$$

donde: f_b = tasa de bit,

B = ancho de banda del canal, y

M = nivel de modulación.

Por ejemplo, el sistema de modulación 8PSK ($M = 8$) puede transmitir datos con una eficiencia espectral de hasta 3 bps/Hz. En la figura 7(a), se puede observar un diagrama fasorial para M -PSK, $M = 8$. Todas las señales del conjunto tienen igual energía. Cada señal se demodula correctamente en el receptor si la fase está entre $\pm\pi/M$ radianes de la fase correcta ϕ_i , como se muestra en la figura 7(b). En presencia de ruido, el cálculo de la probabilidad de error implica un cálculo de que la fase recibida se encuentre, en el instante de muestreo, fuera del segmento angular $(-\pi/M) \leq \phi_i < (\pi/M)$.

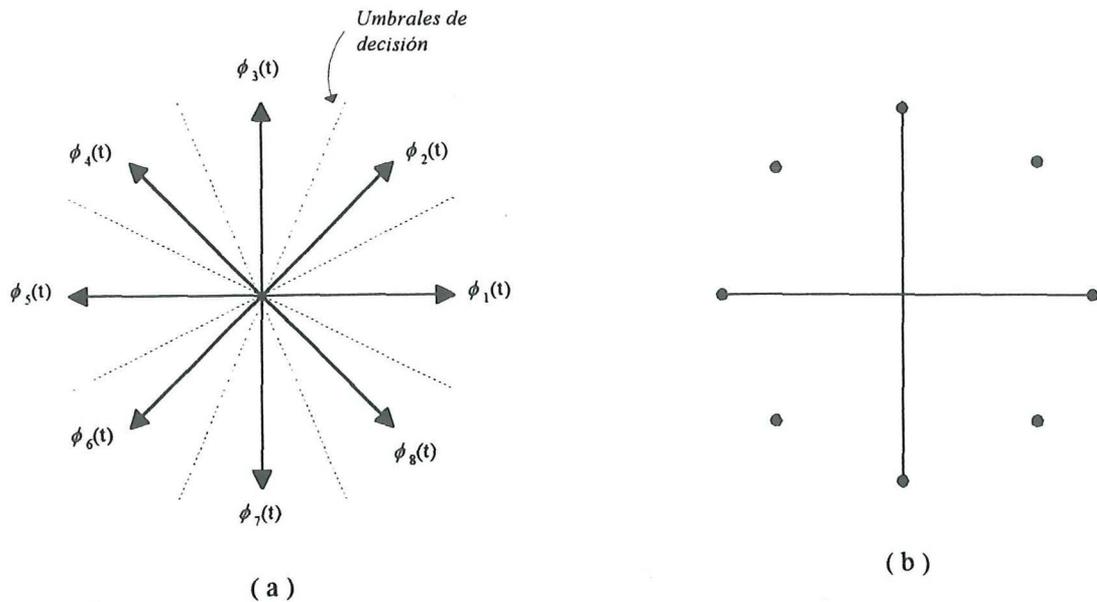


Figura 7. Diagramas de M -PSK, $M = 8$: (a) Diagrama fasorial; (b) Constelación.

III.3.3 Esquemas de modulación QAM

En los esquemas M -PSK todos los puntos de la constelación se encuentran sobre una circunferencia, lo cual implica una amplitud constante. Si se había visto la conveniencia de suponer dos (o más) canales en cuadratura, los niveles de las señales modulantes en cada canal no eran independientes, pues la composición de ambos debía resultar en una señal de amplitud constante. Si se quita esta condición y se permite que las señales de banda base en los dos canales en cuadratura sean totalmente independientes estamos en presencia de un esquema denominado Modulación por Amplitud en Cuadratura (QAM, del inglés Quadrature Amplitude Modulation). Así, la información digital está contenida tanto en la fase como en la amplitud de la portadora transmitida, como se puede observar en la figura 6 para 16-QAM. Las técnicas de modulación M -QAM se han desarrollado bastante en los

últimos años teniéndose niveles de hasta 1024-QAM, con la necesidad implícita de valores de señal a ruido mayores para obtener una buena calidad.

III.3.4 Comparación de esquemas de modulación multinivel

La elección del método de modulación digital depende, en gran medida, de la eficiencia deseada de ancho de banda, así como del desempeño en la tasa de bits erróneos. Es evidente que cuando la eficiencia espectral aumenta, la potencia de la señal transmitida también debe incrementarse, para mantener una probabilidad de error dada. De la misma forma, para una potencia de transmisión fija, un incremento en el número de niveles de modulación ocasiona un aumento en la probabilidad de error.

La eficiencia espectral teórica de QAM y QPSK para una determinada probabilidad de error es la misma; necesitan la misma potencia en la señal transmitida o la misma relación señal a ruido. Pero cuando los esquemas pasan a mayores niveles (8, 16, etc.) esto cambia. En general los esquemas M -QAM ofrecen la ventaja de requerir menor potencia que la M -PSK para una probabilidad de error y un valor de M dados.

La figura 8 muestra los requerimientos de potencia, dada en valores de relación portadora a ruido (C/N , del inglés Carrier/Noise, en dB), para determinadas probabilidades de error (P_e) [Feher, 1987]. Se observa claramente que el desempeño del esquema M -QAM, para una determinada probabilidad de error, es notablemente mejor a los esquemas M -PSK, específicamente para los esquemas de alto orden ($M > 4$). Esto se refleja en la necesidad de incrementar la potencia para soportar la probabilidad de error deseada (cada incremento de 3 dB significa incrementar al doble la potencia original).

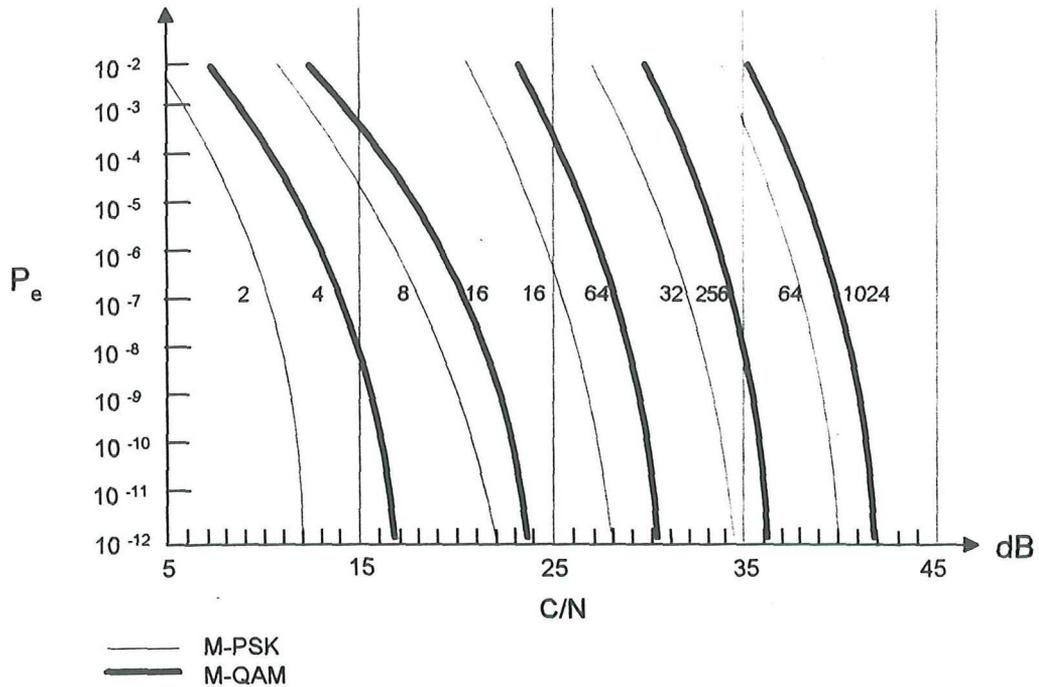


Figura 8. Desempeño de los esquemas M -arios PSK y QAM.

En resumen, los esquemas M -PSK son ideales cuando se requieren eficiencias espectrales menores de 3 b/s/Hz (por ejemplo, QPSK), ya que su construcción es relativamente más sencilla y económica que QAM. Para lograr la transmisión de tasas de datos mayores, sobre anchos de banda limitados, será necesario utilizar esquemas con eficiencias espectrales mayores a 3 b/s/Hz, recomendado utilizar técnicas de modulación M -QAM (por ejemplo, 16-QAM).

IV IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN

IV.1 Introducción

Una vez definido el sistema bajo estudio se procedió a su implementación en un simulador de redes de comunicaciones. Dentro de las opciones disponibles en CICESE se encontraban los siguientes paquetes de simulación:

- COMNET III
- NETWORK II.5
- SIMSCRIPT II.5
- OPNET

De estos paquetes, los más factibles a utilizar eran SIMSCRIPT y OPNET, debido entre otras cosas a que permiten la definición de enlaces de radio y la creación de nuevos protocolos, a diferencia de COMNET y NETWORK que solo permiten la utilización de protocolos estandarizados y variantes muy limitadas. Ahora bien, dado que SIMSCRIPT es un lenguaje de propósito general, el desarrollar un modelo involucra el desarrollo de todas las etapas tanto de generación de tráfico, esquema de acceso, técnicas de modulación, cálculo de enlace, presentación de resultados, etc.. Por su parte, OPNET es un simulador orientado a telecomunicaciones que cuenta con objetos que realizan algunas de estas etapas y solo hay que modificar o agregar algunas funciones extras, implicando ello un tiempo de desarrollo menor. Esta fue la principal razón por la cual se decidió utilizar esta herramienta. Mas características de OPNET son descritas en el apéndice B.

IV.2 Modelo de Red

La especificación de un sistema en OPNET requiere la definición de tres tipos de modelos: modelo de red, modelo(s) de nodo(s), y modelo(s) de proceso(s) (para mayor referencia véase el apéndice B). Básicamente, el modelo de red consiste en la ubicación geográfica de los nodos (topología de la red) y el tipo de los mismos. La topología de red proyectada en el trabajo consiste de bloques de 7 celdas, cada una de las cuales utiliza frecuencias distintas, de manera que no se cause interferencia entre estas celdas. Sin embargo, estas mismas frecuencias se pueden utilizar en otro bloque, separado por una distancia de reuso D dada por la ecuación 4:

$$D = R\sqrt{3N_c} \quad (4)$$

donde: D = Distancia de reuso;
 R = Radio de las celdas; y
 N_c = Número de celdas por bloque.

Una topología como la descrita es la que se muestra en la figura 9. Desde el punto de vista de una celda que utiliza un cierto grupo de frecuencias, las celdas que utilizan ese mismo grupo de frecuencias se les conoce como celdas co-canal.

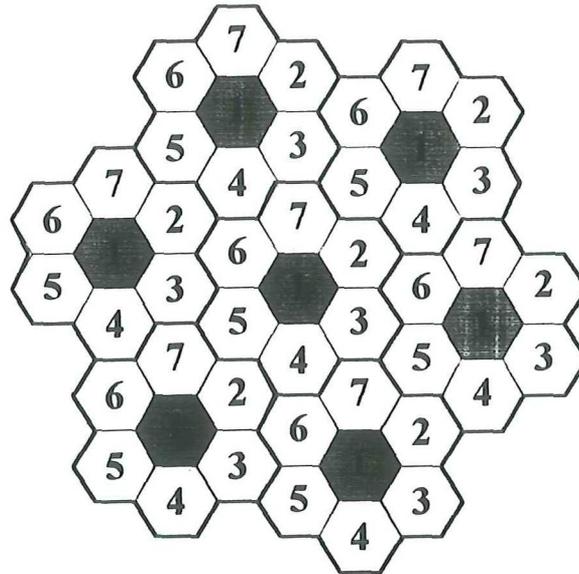


Figura 9. Topología de un sistema celular.

El modelar todas estas celdas resulta repetitivo ya que en todas se consideran las mismas condiciones y, por lo tanto, el comportamiento resultará similar para todas las celdas. Así pues, el modelo de red que se utilizó fue el siguiente (figura 10):

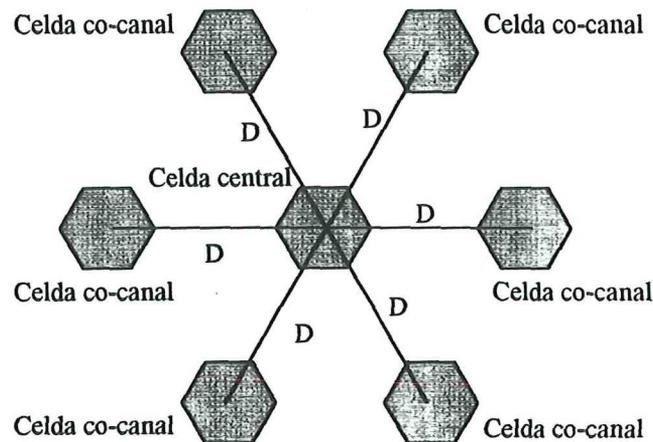


Figura 10. Modelo de red.

En el modelo se utilizó un radio de celdas de 10 Km y 7 celdas por bloque. De esta forma, la distancia de reuso es 45.825 Km.

Ahora bien, dentro de cada celda los nodos se ubicaron de la siguiente manera (figura 11):

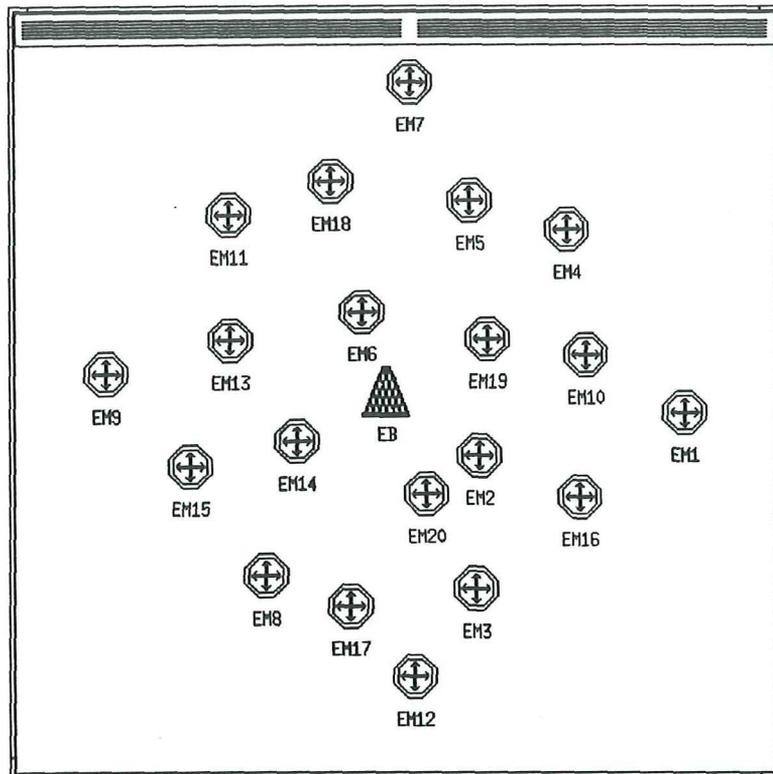


Figura 11. Modelo de celdas.

En este modelo se pueden observar dos tipos de nodos: las estaciones móviles y la estación base. La arquitectura interna de ambos tipos de nodos está definida en el modelo de nodos, que se explica en el siguiente apartado. La estación base se encuentra en el centro de la celda y las estaciones móviles se encuentran confinadas dentro de un radio de 10 Km.

IV.3 Modelos de los Nodos

Como se recordará, el objetivo de esta investigación está enfocado en la evolución de la interfaz de radio de GSM para adaptarse a los objetivos de UMTS. Así pues, solo se implementó la interfaz de radio.

En el modelo de nodos se define la arquitectura de los mismos a través de un diagrama de bloques, cada bloque realiza una o más funciones de acuerdo a un modelo de proceso. En el modelo de red utilizado se tienen dos tipos de nodos: el de las estaciones móviles y el de la estación base.

IV.3.1 Modelo de Estación Móvil

Las principales funciones del modelo de las estaciones móviles son las siguientes:

- Generar conexiones de voz, datos y video.
- Generar periodos de habla y de silencio (para el servicio de voz).
- Dividir la información en paquetes.
- Ejecutar la parte correspondiente del esquema de acceso al canal.
- Modular y transmitir la información.

Estas funciones se representan a través de varios bloques los cuales quedan unidos de la siguiente forma (figura 12).

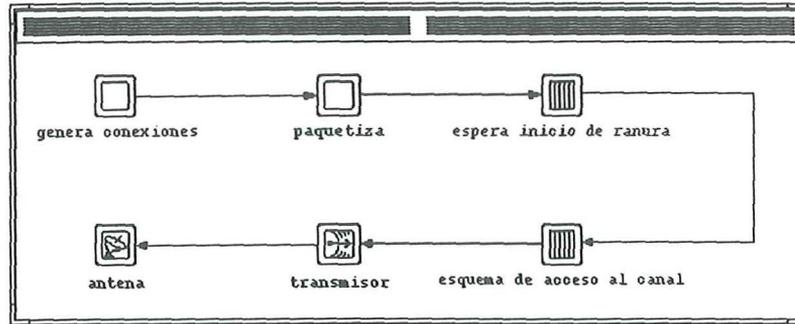


Figura 12. Modelo de estación móvil.

IV.3.2 Modelo de Estación Base

La estación base, por su parte, debe realizar las siguientes funciones:

- Llevar el control de las ranuras y los marcos.
- Recepción y demodulación de los paquetes de información.
- Ejecutar la parte correspondiente del esquema de acceso al canal.
- Llevar las estadísticas de desempeño del sistema.

Estas funciones se representan en el siguiente diagrama de bloques (figura 13).

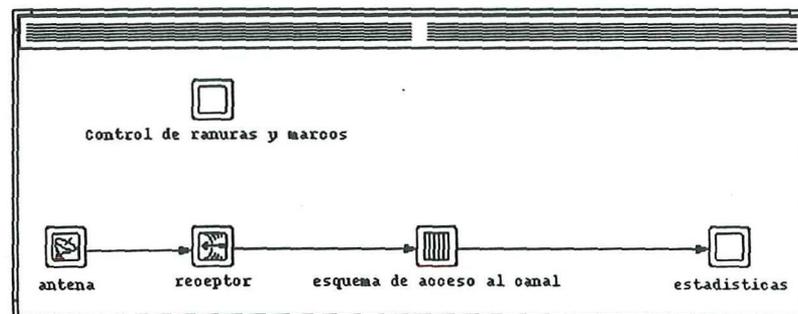


Figura 13. Modelo de estación base.

IV.4 Modelos de los procesos

En los modelos de proceso se implementan las funciones a realizar por los bloques definidos por el usuario que conforman un nodo. En el modelo de la estación móvil se tienen cuatro bloques en los cuales se tienen que definir las funciones que realizan. En la estación base son tres los bloques que requieren la definición de un modelo de procesos. A continuación se describen cada uno de estos bloques. Cada estado de los diagramas requiere programación para que se lleven al cabo las funciones asignadas. OPNET cuenta con su propio lenguaje denominado Proto-C y se auxilia, además, del lenguaje C.

IV.4.1 Modelo del proceso “genera conexiones” en estación móvil

Este proceso se encarga de generar peticiones de conexión para los servicios de voz, datos y video. El diagrama de estados se muestra en la figura 14.

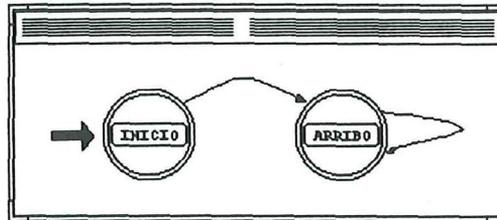


Figura 14. Modelo del proceso “genera conexiones” en la estación móvil.

En el primer estado se inicializan variables y se espera la primera petición para generar una conexión de acuerdo a una función de distribución, la cual depende del tipo de aplicación o servicio. Cuando se genera esta petición se pasa al siguiente estado, donde se determina el tipo de servicio (voz, datos, video) y la duración de la conexión, también de acuerdo a una función de distribución. Después se envía la petición al siguiente bloque.

IV.4.2 Modelo del proceso “paquetiza” en estación móvil

En la tesis se requirió modelar voz, datos y video. Es importante mencionar como se modelaron estos servicios. Como se recordará, GSM utiliza la transmisión discontinua, esto es que durante los periodos de silencio no se transmite, de manera que se pueda disminuir la interferencia en celdas adyacentes y aumentar la vida de las baterías; mientras que en PRMA durante los periodos de silencio se pierde la reservación de la ranura de forma que pueda ser utilizada por algún otro usuario del sistema (y también para aumentar la vida de las baterías). Para simular el comportamiento de la voz se utilizó el modelo propuesto en [Orange, 1995]. De acuerdo con este modelo, durante una conversación telefónica se puede estar en uno de dos periodos: periodo de habla o periodo de silencio. La duración del periodo de habla está definido de acuerdo a una función de distribución exponencial con media igual a 1.0 segundos, mientras que el periodo de silencio es igualmente exponencial pero con media igual a 1.35 segundos. El modelo realizado quedó de la siguiente forma (figura 15):

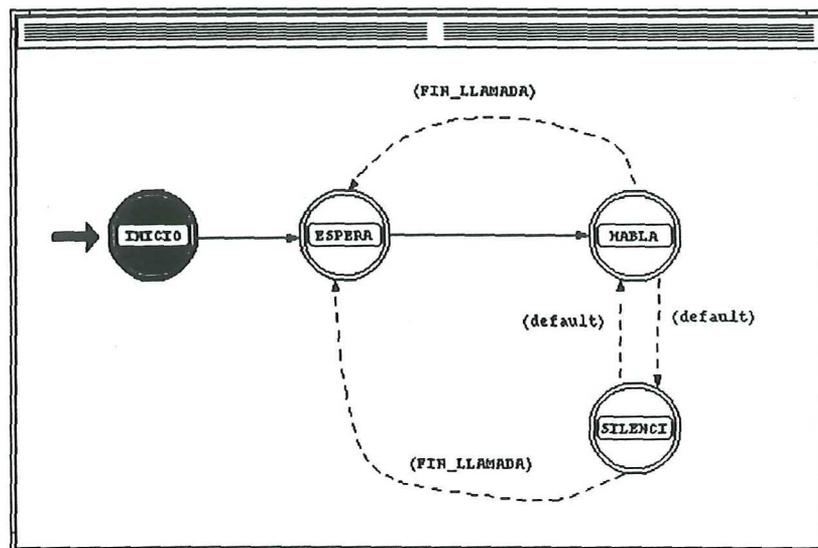


Figura 15. Modelo del proceso “paquetiza” en la estación móvil.

En cuanto a los servicios de datos y video, estos transmiten a una tasa constante, es decir, utilizan la ranura durante todo el transcurso de la conexión. Por lo tanto, para estos servicios no se aplica el modelo anterior, sino que simplemente se pasan los paquetes al siguiente bloque.

IV.4.3 Modelo del proceso “espera inicio de ranura” en estación móvil

El modelo utilizado para este proceso se muestra en la figura 16. Este proceso determina en que instante llegó la petición y la retiene hasta que sea el inicio de la primera ranura de un marco, momento en el cual podrá pasarse al siguiente módulo para su posible transmisión.

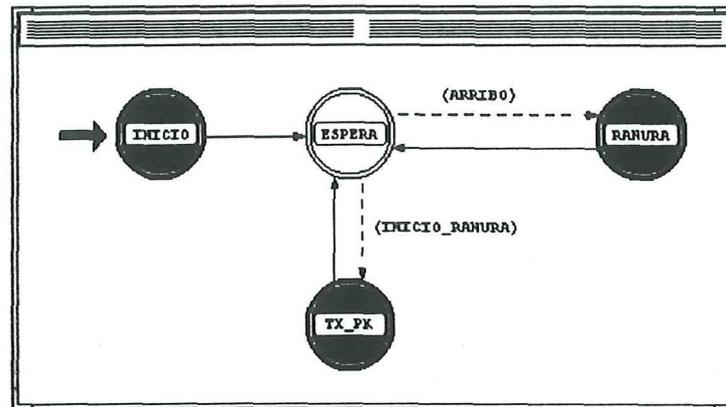


Figura 16. Modelo del proceso “espera inicio de ranura” en la estación móvil.

IV.4.4 Modelo del proceso “esquema de acceso al canal” en la estación móvil

Este proceso se implementó a través del diagrama de estados mostrado en la figura 17. Normalmente el proceso se encuentra en estado de reposo, y al recibir un paquete (condición “ARRIBO”) pasa a otro estado, en donde revisa si la ranura actual está libre. Si la

ranura está disponible y se obtiene permiso para transmitir se transmite el paquete. En caso contrario, se debe esperar la siguiente ranura y revisar nuevamente el estado de la ranura actual (condición “FIN_ESPERA”). Este proceso continúa mientras no se pueda transmitir el paquete o el retardo desde su creación exceda el retardo máximo permitido. Si se excede este tiempo, el paquete es desechado y la conexión se considera bloqueada. En el caso del servicio de voz, si ya se había establecido la conexión, la consecuencia es que se empiezan a descartar paquetes.

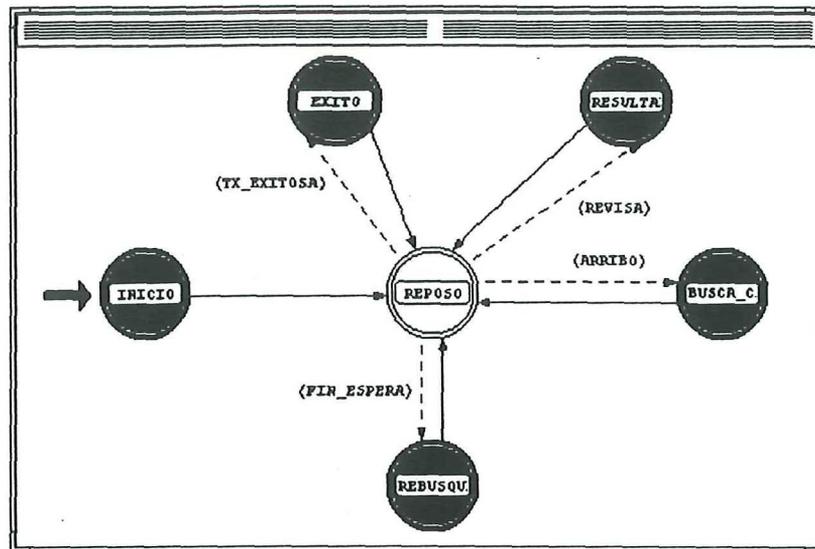


Figura 17. Modelo del proceso “esquema de acceso al canal” en la estación móvil.

Cuando se ha logrado transmitir el paquete y se tuvo éxito en la obtención de la ranura (la notificación se recibe de la estación base), se pasa al estado “ÉXITO”, en donde se continúa la transmisión de los siguientes paquetes mientras permanece la conexión. En caso de que no se obtenga ninguna notificación significa que no se tuvo éxito y deberá revisarse

el retardo hasta ese momento y decidir si todavía hay tiempo para intentar transmitir el paquete, repitiéndose el proceso anteriormente descrito.

En los servicios que maneja GSM se requiere una ranura por marco para transportar la información. Para servicios de mayor ancho de banda se requieren mas ranuras por marco. Así, en los servicios que se utilizaron en este trabajo se requieren una ranura por marco para los servicio de voz y datos a 9.6 Kbps, y cuatro ranuras por marco para los servicios de datos y video a 64 Kbps. Esto nos lleva a que este proceso deba revisar primero el tipo de servicio y determinar el número de ranuras que debe haber disponibles antes de intentar transmitir la información.

IV.4.5 Modelo del proceso “esquema de acceso al canal” en estación base

Este modelo realiza la parte del esquema de acceso PRMA correspondiente a la estación base y se implementó a través del diagrama de estados de la figura 18. Este proceso también se encuentra normalmente en reposo. Sin embargo, al recibirse uno o más paquetes, se determina si la relación señal a ruido del paquete de mayor potencia excede el umbral requerido. Si esta condición resulta cierta, se pasa al estado “RESERVA”, en el cual se avisa a las estaciones móviles que la ranura fue reservada. Para simplificación del modelo esto se realiza a través de funciones de interrupción disponibles en OPNET. Dichas funciones permiten realizar todo el procedimiento requerido en el enlace de bajada. También se calendariza un evento para que al término de la conexión o del periodo de habla en el caso de voz, se libere esa ranura y la pueda utilizar algún otro usuario.

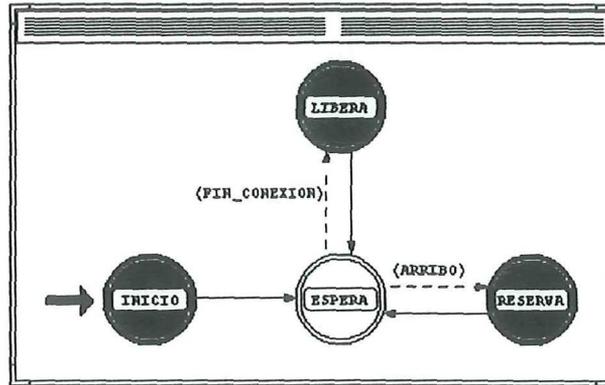


Figura 18. Modelo del proceso “esquema de acceso al canal” en estación base.

IV.4.6 Modelo del proceso “control de ranuras y marcos” en la estación base

Como su nombre lo indica, este proceso es el que lleva el control de las ranuras y los marcos. Es el que indica cuando ha iniciado una nueva ranura y/o un nuevo marco, y cuales ranuras están disponibles y cuales reservadas. El diagrama de estados para modelar este proceso se muestra en la siguiente figura (figura 19).

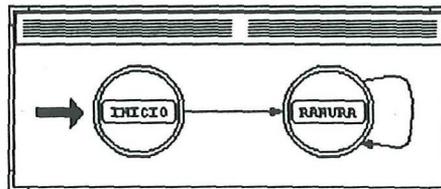


Figura 19. Modelo del proceso “control de ranuras y marcos” en la estación base.

IV.4.7 Modelo del proceso “estadísticas” en la estación base.

Este proceso registra las estadísticas de desempeño del sistema. Es aquí donde se mide el retardo en obtención de canal, las probabilidades de bloqueo y descarte de paquetes, así

como la relación señal a ruido y la tasa de bits erróneos. El diagrama de estados correspondiente es el que se muestra a continuación (figura 20).

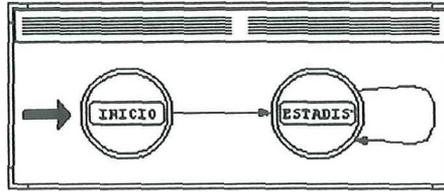


Figura 20. Modelo del proceso “estadísticas” en la estación base.

A los modelos se le pueden modificar varios parámetros, tales como la duración de la ranura, tipo de modulación, tasa de transmisión, etc. Esto se hace antes de cada corrida a través de una ventana de diálogo, de manera que se pueden correr simulaciones con distintos valores. Los utilizados en esta tesis se indican en el siguiente capítulo.

V SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1 Plan de Simulación

Para llevar al cabo el análisis de desempeño de los modelos propuestos se estableció un plan de corridas de simulación, el cual constó de mas de 200 corridas, que representaron mas de 1500 horas de tiempo real y tomaron aproximadamente 400 horas de procesamiento. El número de corridas para cada modelo dependió de que tan pronto se alcanzaba el valor máximo permitido para las probabilidades de bloqueo de llamadas o de descarte de paquetes de voz. En las siguientes tablas se resumen los parámetros que se utilizaron en las simulaciones [RACE Especificación D732, 1994; DuBose, 1991].

Tabla I. Parámetros de las corridas de GSM.

Sistema GSM	
Interfaz de radio	
Esquema de acceso múltiple	TDMA
Duración del marco	4.615 ms
Ranuras por marco	8
Esquema de modulación	GMSK
Tasa de transmisión	270.8 Kbps
Ancho de banda de canal	200 KHz
Servicios	
Voz	@ 13 Kbps
Datos	@ 9.6 Kbps

Tabla II. Parámetros de las corridas de UMTS

Sistema UMTS		
Interfaz de radio		
Esquema de acceso múltiple	PRMA	
Duración del marco	4.615 ms	
Esquema de modulación:	Ranuras	Tasa de transmisión
GMSK	8	270.8 Kbps
QAM, QPSK	11	400 Kbps
8QAM, 8PSK	17	600 Kbps
16QAM, 16PSK	23	800 Kbps
Ancho de banda del canal	200 KHz	
Servicios		
Voz	@ 13 Kbps	
Datos	@ 9.6 Kbps y 64 Kbps	
Video	@ 64 Kbps	

Tabla III. Parámetros de los servicios empleados.

Voz (Telefonía)	
Tasa de interarribo (media)	0.5 llamadas/hora
Duración de llamada (media)	120 seg.
Modelo de interarribos	Poisson
Modelo de duración de llamada	Exponencial
Datos (Transmisión de archivo)	
Tasa de interarribo (media)	0.05 conexiones/hora
Tamaño de archivo (media)	1.6 Mbytes
Modelo de interarribos	Poisson
Modelo de tamaño de archivo	Exponencial
Video (Videotelefonía)	
Tasa de interarribo (media)	0.1 llamadas/hora
Duración de llamada (media)	120 seg.
Modelo de interarribos	Poisson
Modelo de duración	Exponencial

Para medir el desempeño de las interfaces de radio de los sistemas GSM y UMTS se varió el número de usuarios en el sistema y se midieron varios parámetros, estos fueron:

- Probabilidad de bloqueo de conexiones.
- Probabilidad de descarte de paquetes de voz.
- Retardo en obtención de canal.
- Relación portadora a ruido (C/N) en el enlace de subida (estación móvil a estación base).
- Tasa de bits erróneos (BER) en el enlace de subida.

Los valores mínimos o máximos que establecen el grado de servicio que deben cumplir los sistemas son los que se muestran en la tabla IV [RACE Especificación D732, 1994; Mehrotra, 1994; Orange, 1995].

Tabla IV. Grado de servicio a cumplir.

Parametro	Servicio		
	Voz	Datos	Video
Porcentaje de bloqueo de conexión	< 2%	< 2%	< 2%
Porcentaje de descarte de paquetes	< 1%	N/A	N/A
Retardo en obtención de canal	< 5 seg ó < 30 ms *	< 5 seg.	< 5 seg.
C/N	> 9.5 dBm	> 9.5 dBm	> 9.5 dBm
BER	< 1×10^{-3}	< 1×10^{-6}	< 1×10^{-6}

* : < 5 seg. para establecimiento de conexión y < 30 ms durante la conexión.

N/A : No se aplica.

V.2 Análisis de Resultados

Como GSM es un sistema estandarizado solo se realizó un tipo de simulación utilizando los parámetros del estándar. El objetivo de simular GSM fue tener una referencia para comparar y tratar de validar los resultados obtenidos en UMTS, ya que para este sistema aún no hay otros estudios contra los cuales comparar. Para UMTS se ejecutaron dos tipos de corridas, uno para comparación directa contra GSM y otro con capacidad de ofrecer servicios multimedios, objetivo clave del sistema. En los siguientes apartados se presentan y analizan los resultados y se hace una comparación de los sistemas estudiados.

V.2.1 GSM con servicios de voz y datos a 9.6 Kbps

En este sistema se obtuvieron los resultados que se muestran en las siguientes tres gráficas. En la primera (figura 21) se muestran las probabilidades de bloqueo de las conexiones dependiendo del número de usuarios en la celda. Cada punto en la gráfica representa el promedio de tres corridas con una semilla distinta en cada una de ellas. Se empezó con 100 usuarios y se fue incrementando de 20 en 20 hasta que se rebasara el valor de bloqueo máximo permitido (2%), el cual se alcanza antes de 150 usuarios; sin embargo, se continuó hasta 200 usuarios para ver el comportamiento del sistema. Así, se ve que a un pequeño incremento en el número de usuarios, la probabilidad de bloqueo aumenta rápidamente. Para que el sistema pueda cumplir con el grado de servicio del 2% se considera que 140 usuarios por celda es el límite superior.

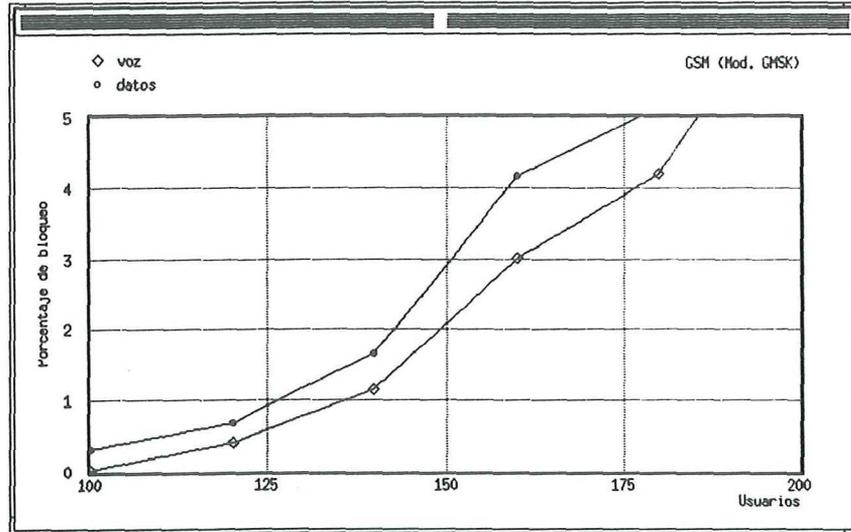


Figura 21. Porcentajes de bloqueo de conexiones en GSM.

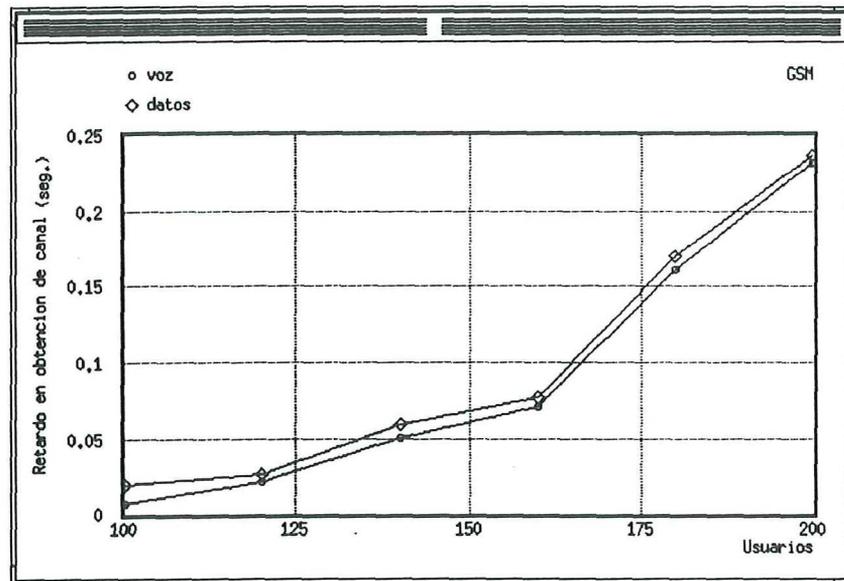


Figura 22. Retardo en obtención de canal en GSM.

En la figura 22 se puede observar el retardo en la obtención de canal. Aquí se observa que para el valor recomendado de 140 usuarios por celda, se tiene un retardo en la obtención del canal entre 50 y 60 ms, mientras que para 200 usuarios llega casi a 250 ms,

pero aún así, este retardo resulta casi imperceptible y bastante inferior al límite máximo de 5 seg.

En la siguiente gráfica (figura 23) se mide el BER en el enlace de subida. En ella vemos que se cumple el requerimiento de un $BER < 1 \times 10^{-3}$ para el servicio de voz y un $BER < 1 \times 10^{-6}$ para datos. También se observa que el incremento en el número de usuarios no resulta necesariamente en un incremento del BER, esto se debe a que una vez que una terminal tiene asignada una ranura solo ella puede transmitir durante esa ranura y solo se tiene interferencia de terminales móviles en las celdas co-canal adyacentes y generalmente solo habrá un usuario por celda transmitiendo en ese mismo instante. Las fluctuaciones que se observan se deben a la naturaleza estocástica de la interferencia y las condiciones de propagación (para mayor referencia se puede consultar el apéndice A, donde se tratan los aspectos de propagación de señales en enlaces de radio)

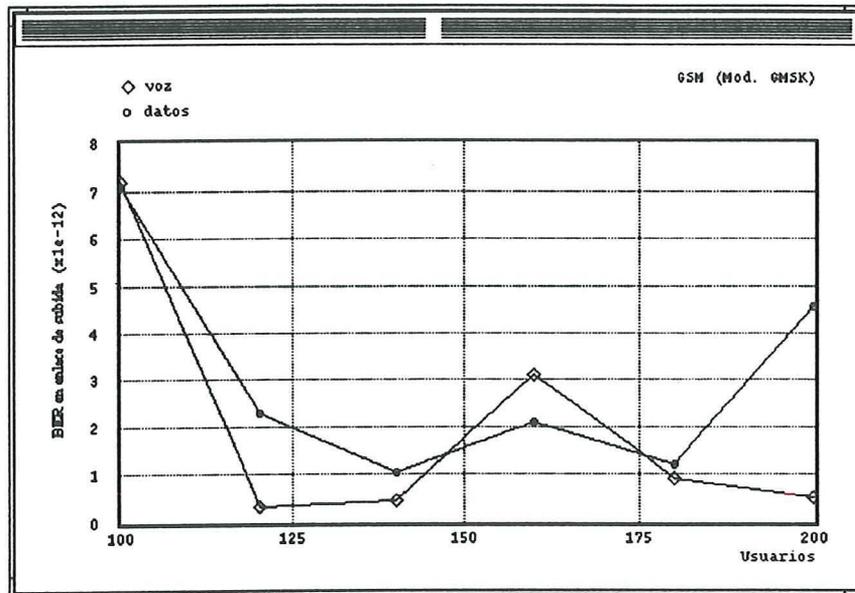


Figura 23. BER en enlace de subida en GSM.

V.2.2 UMTS con modulación GMSK y servicios de voz y datos a 9.6 Kbps

Los resultados obtenidos para el sistema UMTS operando bajo el esquema de acceso múltiple PRMA y de modulación GMSK se muestran en las tres gráficas siguientes. En la primera de ellas (figura 24) se grafica el porcentaje de descarte de paquetes para el servicio de voz y el porcentaje de bloqueo de conexiones para el de datos (cabe recordar que en el servicio de datos la ranura se utiliza durante toda la transmisión, por lo que solo se debe ganar la asignación una sola vez, mientras que en el de voz se debe ganar cada que se inicia un periodo de habla).

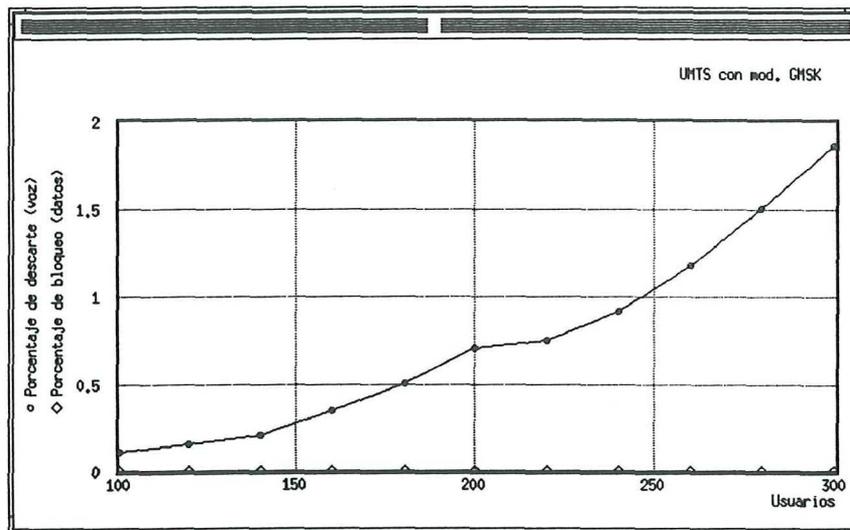


Figura 24. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación GMSK.

En esta figura se puede observar que las conexiones de datos no se bloquean y esto es porque el retardo máximo para obtención de canal es de 5 seg. y es muy probable que durante ese lapso se libere alguna ranura al haber un periodo de silencio en alguna de las terminales. Por otra parte, el descarte de paquetes de voz muestra un crecimiento natural al

incrementar el número de usuarios en la celda; sin embargo, este aumento no es tan rápido como en GSM, en el que un incremento de 20 usuarios resultaba en un fuerte incremento en el porcentaje de bloqueo. Para este sistema (UMTS con modulación GMSK) el número de usuarios por celda máximo recomendado es de 240 usuarios, ya que después de este valor se rebasa el máximo valor de descarte de paquetes de voz permitido (1%). Esto resulta en un incremento del 71% con respecto a GSM por el solo hecho de utilizar PRMA en vez de TDMA y manteniendo el mismo tipo de modulación. Este incremento se debe al hecho de liberar las ranuras en los periodos de silencio en el servicio de voz.

En cuanto al retardo en la obtención de canal (figura 25) vemos una notable disminución debido nuevamente a que las terminales continuamente están liberando ranuras al entrar en periodos de silencio. También se puede observar que la variación para el servicio de voz es pequeña (de 6.5 a 8 ms), mientras que para datos es más amplia (de 5 a 11 ms). La razón de esto se encuentra en los valores máximos permitidos (30 ms para voz y 5 seg. para datos).

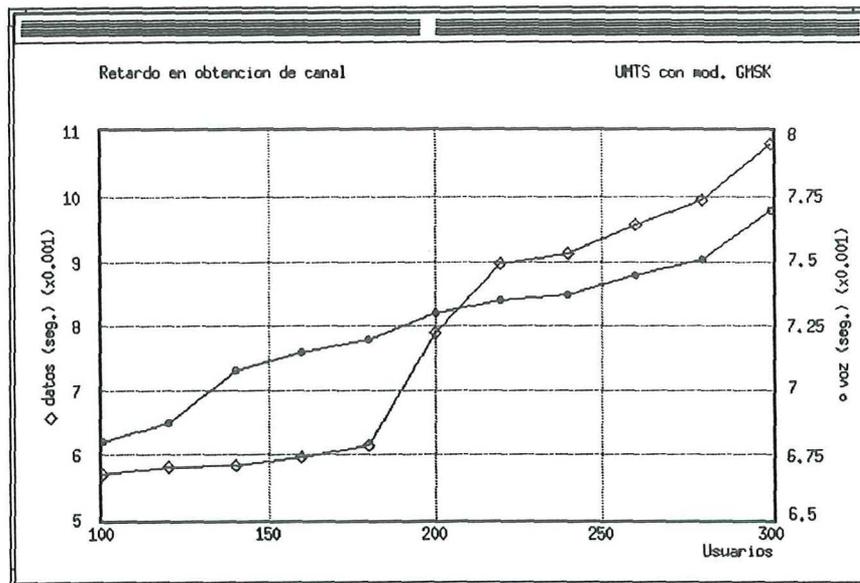


Figura 25. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación GMSK.

Por último, la figura 26 muestra los valores de BER, notándose que nuevamente cumplen con los valores mínimos requeridos y que se obtienen valores muy semejantes a los del sistema anterior. Como se mencionó antes, esto se debe a que el caso típico es que la interferencia se deba solo a seis usuarios transmitiendo simultáneamente en las celdas co-canal adyacentes.

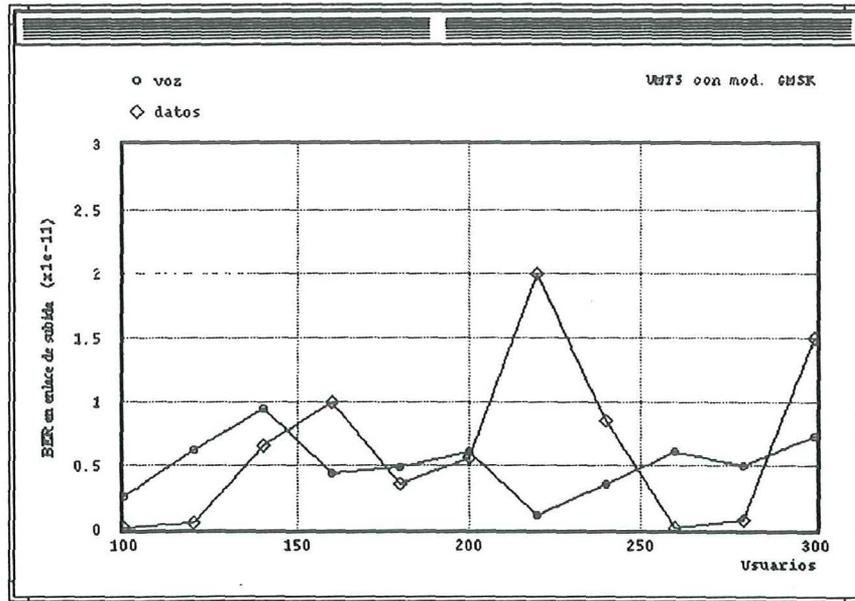


Figura 26. BER en enlace de subida en UMTS con modulación GMSK.

V.2.3 UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz y datos a 9.6 Kbps

Con la idea de reducir el tiempo de procesamiento de las corridas y no extender la tesis con demasiadas gráficas, para este análisis se tienen dos esquemas de modulación posibles: QPSK y QAM. El análisis es válido para ambos tipos de modulación ya que los dos utilizan la misma tasa de transmisión y las curvas de BER vs C/N son idénticas.

La figura 27 muestra los porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones. En ella se puede apreciar que el número de usuarios óptimo es de 380 usuarios por celda, obteniéndose una ganancia del 58% con respecto al sistema anterior. Esto se debe a que, al utilizar una tasa de transmisión mayor, el número de ranuras por marco también se incrementa. En este sistema se tienen 11 ranuras por marco, mientras que en el anterior eran solo 8.

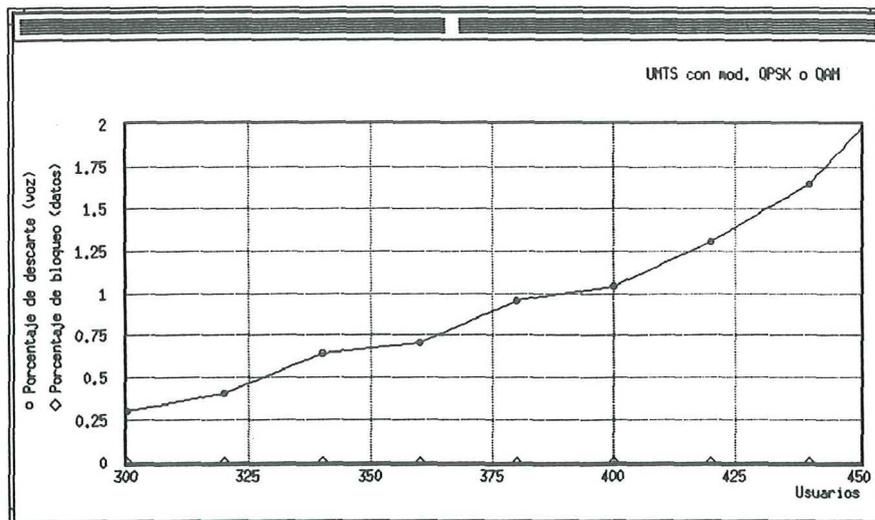


Figura 27. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación QPSK o QAM.

En la siguiente gráfica (figura 28) se muestra el retardo en la obtención de canal. Nuevamente vemos un incremento dependiendo del número de usuarios en la celda y que los valores están muy por debajo de los valores máximos permitidos.

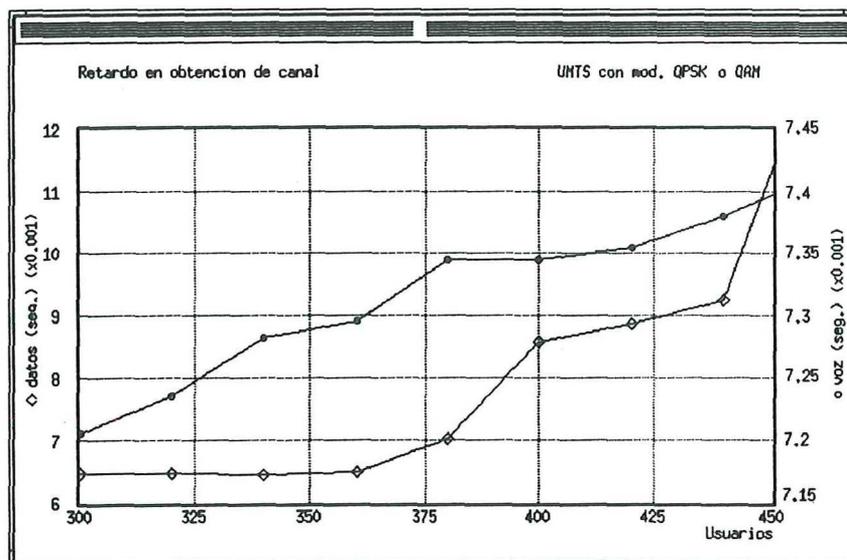


Figura 28. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación QPSK o QAM.

La última gráfica de estos sistemas es la del BER (figura 29). Como ya se mencionó anteriormente, QPSK y QAM tiene el mismo comportamiento en BER vs C/N, por lo que al analizar un sistema se están analizando los dos. Así pues, se observa que estos sistemas también resultan en una tasa de bits erróneos muy buena y, por lo tanto, ambos pueden ser implementados.

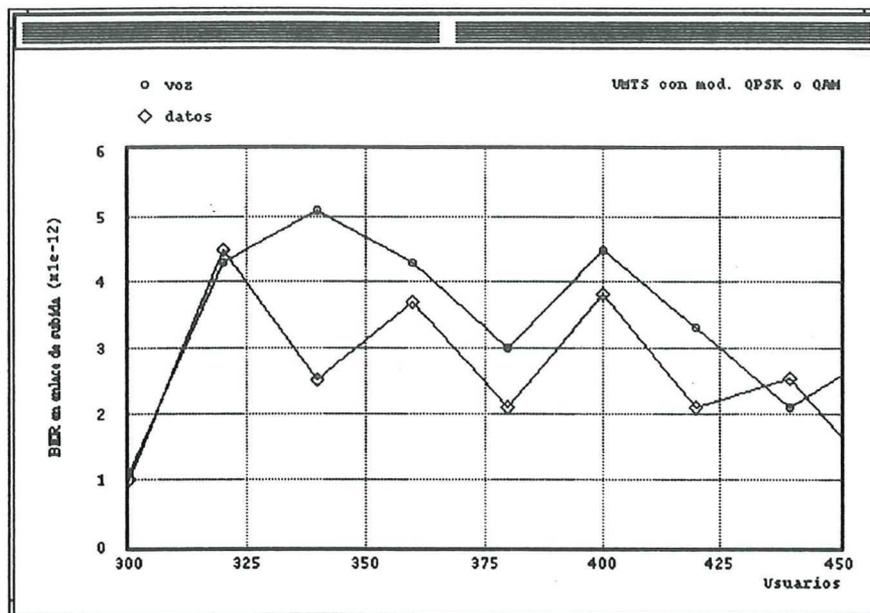


Figura 29. BER en enlace de subida en UMTS con modulación QPSK o QAM.

V.2.4 UMTS con modulación 8PSK u 8QAM y servicios de voz y datos a 9.6 Kbps

A diferencia del caso anterior, donde las tasas de transmisión y las curvas de BER vs C/N eran idénticas y se pudo hacer un mismo análisis para ambas modulaciones, en este caso las curvas de BER vs C/N no son las mismas (aunque las tasas de transmisión si lo sean) y, por lo tanto, el análisis es común en cuanto a las probabilidades de bloqueo y descarte, así

como al retardo en obtención de canal, mientras que en el análisis del BER es diferente para cada modulación.

En cuanto a capacidad, estos sistemas tienen un incremento del 42% con respecto a los sistemas anteriores y del 285% con respecto a GSM. Este incremento es considerando 540 usuarios por celda de manera que se mantenga el porcentaje de descarte de paquetes de voz por debajo del 1%, como es requerido, y que es mostrado en la figura 30.

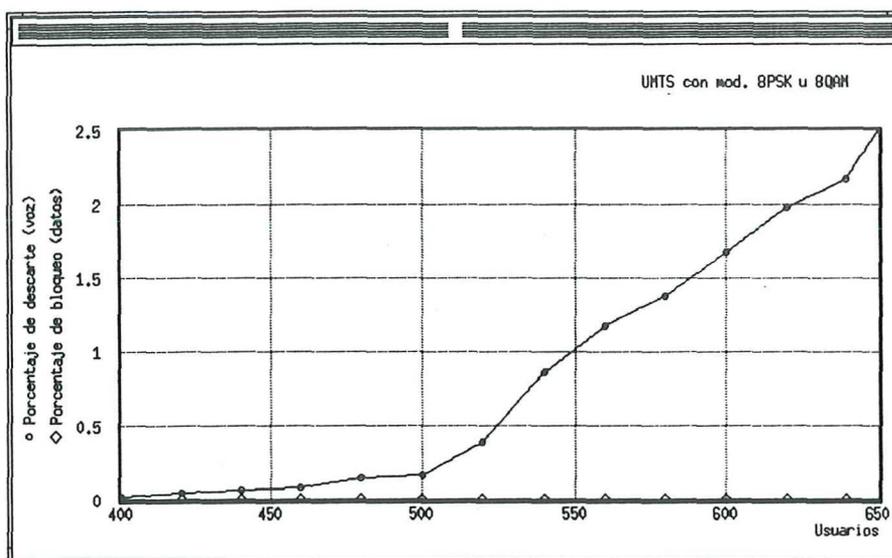


Figura 30. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación 8PSK u 8QAM.

En la obtención del canal, los sistemas con 8PSK u 8QAM también presentan valores de retardo promedio relativamente bajos que cumplen fácilmente con los valores permitidos, tal como se muestra en la figura 31.

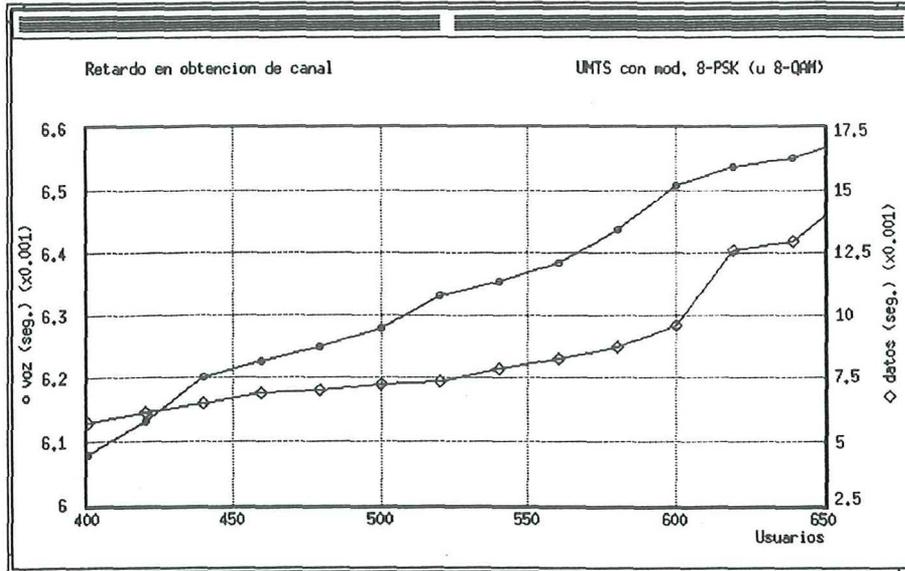


Figura 31. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación 8PSK u 8QAM.

En la tasa de bits erróneos es necesario analizar ambos sistemas por separado ya que sus gráficas de BER vs C/N son distintas. Así, se tiene que para 8QAM se observa un comportamiento muy bueno con valores suficientemente pequeños para garantizar una buena calidad de servicio (valores de BER alrededor de 1×10^{-8} , como se muestra en la figura 32), mientras que para 8PSK los valores cumplen con el requerimiento por muy poco margen (valores entre 1×10^{-7} y 1×10^{-6} , como se observa en la figura 33). Por lo tanto, es más recomendable el sistema con 8QAM.

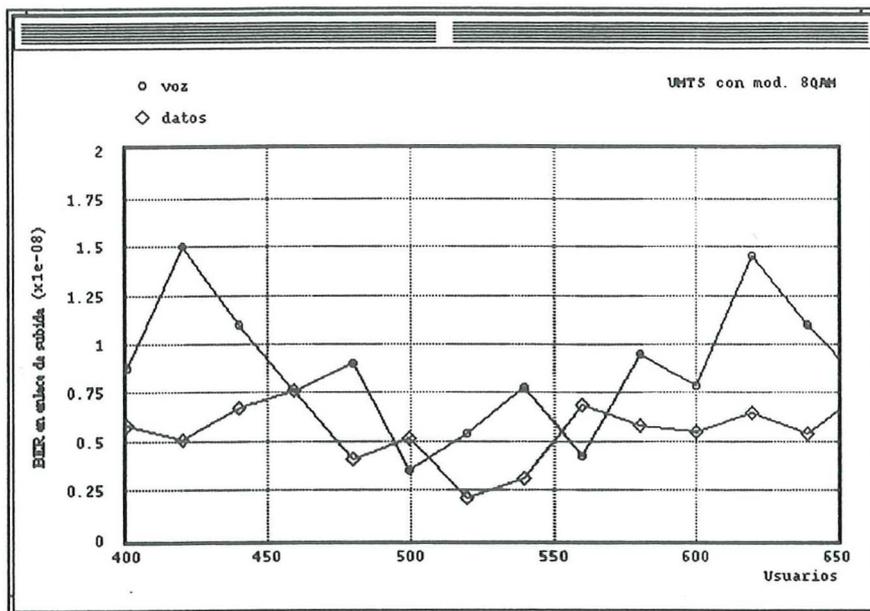


Figura 32. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 8QAM.

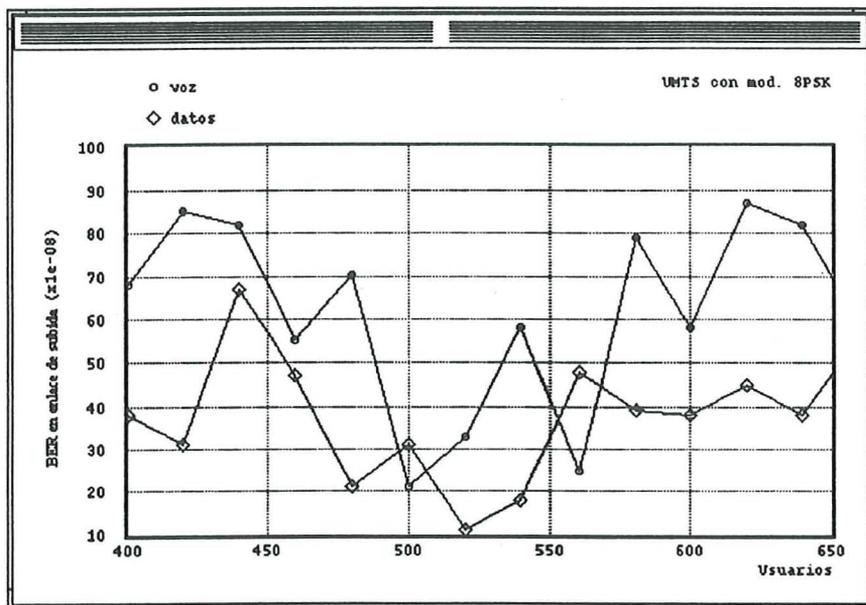


Figura 33. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 8PSK.

V.2.5 UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM y servicios de voz y datos a 9.6 Kbps

Continuando con el análisis, se presentan ahora los resultados utilizando PRMA combinado con 16PSK y 16QAM. Primeramente, de la figura 34 se puede determinar que el número óptimo de usuarios por celda para estos sistemas es de 700 usuarios. Esto resulta en un incremento del 400% con respecto a GSM y del 29% con respecto a los sistemas con 8PSK u 8QAM.

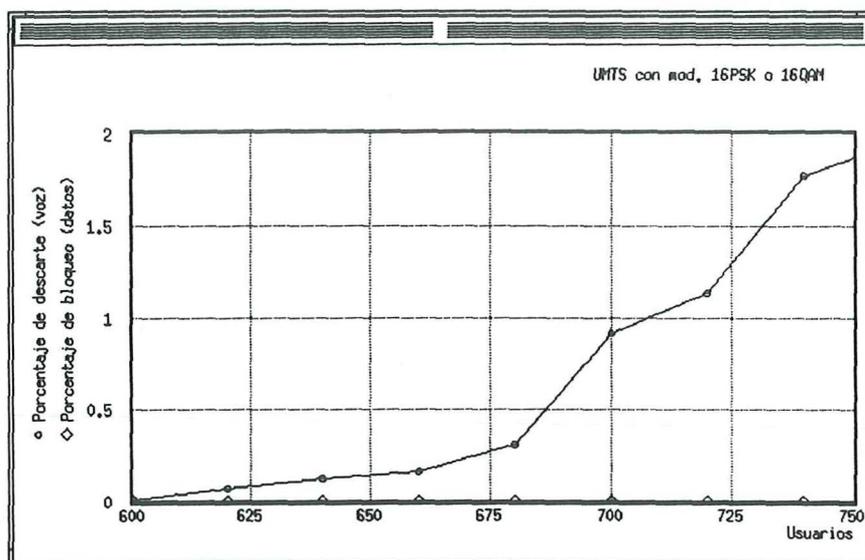


Figura 34. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM.

En cuanto al retardo en la obtención de canal, el valor promedio disminuye un poco con respecto a los anteriores sistemas, manteniéndose muy por debajo de los valores máximos permitidos, por lo que se puede considerar a los sistemas sin problemas en este aspecto. La gráfica correspondiente es la de la figura 35.

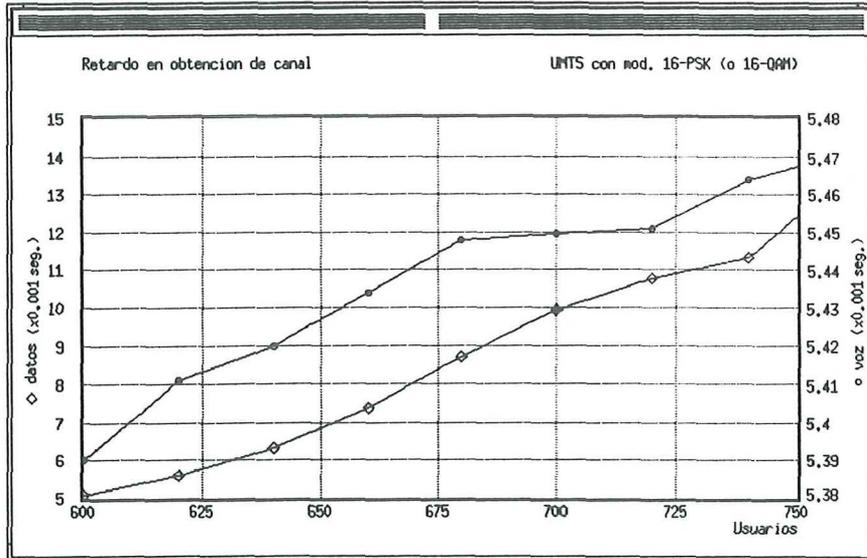


Figura 35. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM.

Donde se presentan los problemas con estos sistemas es en la tasa de bits erróneos. Así, por ejemplo, se tiene que para 16QAM el BER es mayor que 1×10^{-5} (véase la figura 36) por lo cual no cumple con el requerimiento para el servicio de datos que debe ser menor que 1×10^{-6} . Este sistema solo sería adecuado para la transmisión de voz ya que este servicio solo requiere una tasa menor a 1×10^{-3} , que si puede ser proporcionada con 16QAM. Por otra parte, con la modulación 16PSK ni siquiera el servicio de voz podría ser ofrecido ya que para este sistema el BER es mayor que 1×10^{-3} (alrededor de 1×10^{-2} , como se puede observar en la figura 37), y por lo tanto, este sistema no es factible de implementar.

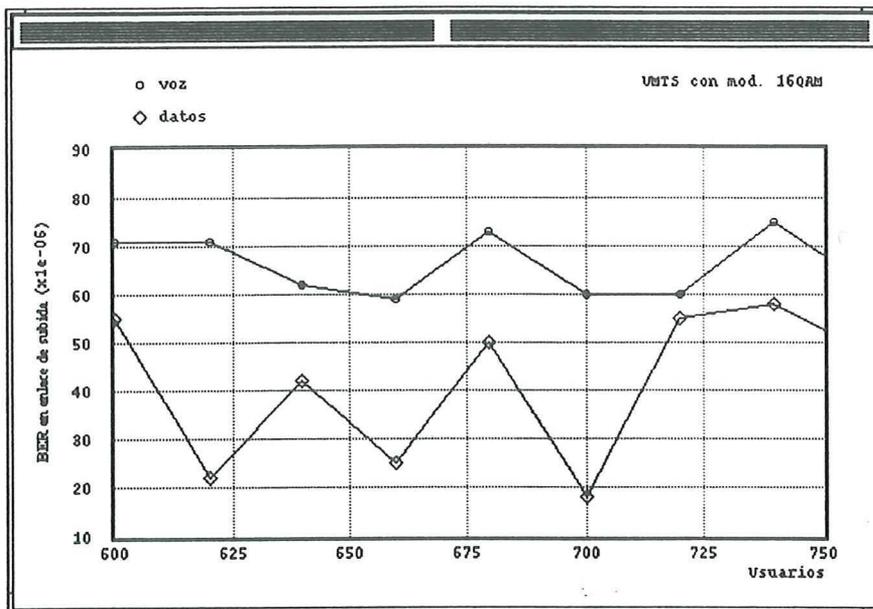


Figura 36. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 16QAM.

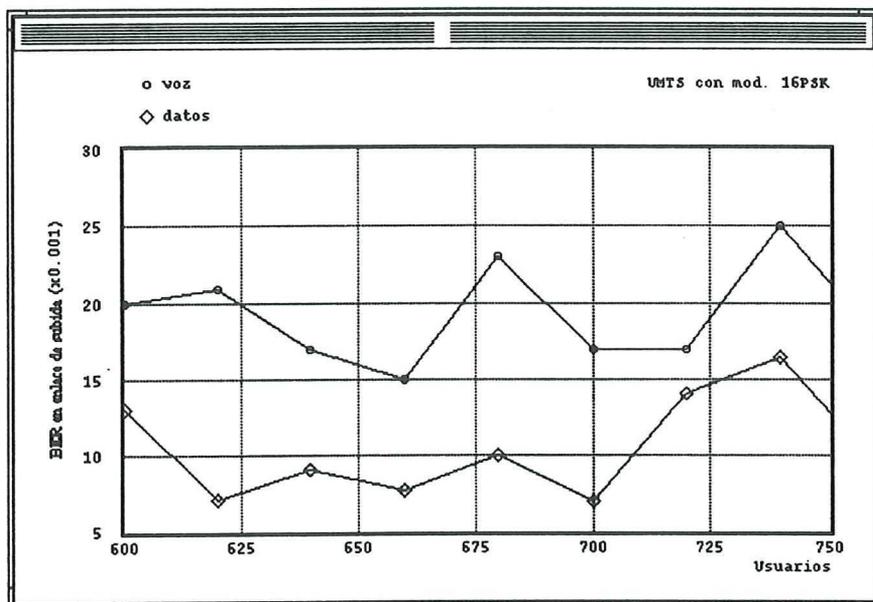


Figura 37. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 16PSK.

V.2.6 Comparación de sistemas

Antes de continuar con mas resultados se hará una comparación entre los sistemas vistos hasta este punto. Hasta ahora hemos visto que la introducción del esquema de acceso múltiple PRMA ha ayudado a aumentar la capacidad del sistema y que conforme hemos aumentado el nivel del esquema de modulación, este incremento ha sido aún mayor. Así, en cuanto a capacidad se podría pensar en utilizar un sistema con PRMA y modulación 16QAM ó 16PSK, que son los que soportan mayor número de usuarios por celda. Sin embargo, la utilización de estos esquemas de modulación no cumple con los requerimientos en la tasa de bits erróneos, por lo que deben descartarse y entonces bajar al nivel de modulación 8QAM u 8PSK. De estos dos esquemas, 8PSK apenas alcanza el umbral requerido en la tasa de bits erróneos, a diferencia de 8QAM que cumple con relativa facilidad este requerimiento. Es por eso que el sistema que se recomienda es el que utiliza PRMA combinado con modulación 8QAM. En cuanto al retardo en la obtención de canal, en este aspecto no se tienen mayores problemas, ya que en todos los sistemas el retardo promedio está suficientemente abajo de los valores requeridos.

En la siguiente tabla se resume el comportamiento de los distintos sistemas en los aspectos estudiados como son capacidad, tasa de bits erróneos y retardo en obtención de canal. Los valores que aparecen en dicha tabla son los que se obtienen para la capacidad óptima del sistema respectivo.

Tabla V. Comparación de sistemas.

Sistema	Capacidad		Tasa de bits erróneos	Retardo en obtención de canal
	vs GSM	vs anterior		
GSM	Buena (140 usuarios)		Excelente ($\approx 1 \times 10^{-12}$)	Aceptable (<0.06 s)
PRMA con GMSK	+71%	+71%	Excelente ($\approx 5 \times 10^{-12}$)	Aceptable (<10 ms)
PRMA con QAM o QPSK	+171%	+58%	Excelente ($\approx 2.5 \times 10^{-12}$)	Aceptable (<10 ms)
PRMA con 8QAM	+285%	+42%	Muy bueno ($\approx 5 \times 10^{-9}$)	Aceptable (<13 ms)
PRMA con 8PSK	+285%	+42%	Suficiente ($\approx 4 \times 10^{-7}$)	Aceptable (<13 ms)
PRMA con 16QAM	+400%	+29%	No suficiente ($\approx 4 \times 10^{-5}$)	Aceptable (<13 ms)
PRMA con 16PSK	+400%	+29%	Malo ($\approx 1 \times 10^{-2}$)	Aceptable (<13 ms)

Una vez que se obtuvo el desempeño de los distintos sistemas ofreciendo los servicios de GSM (voz y datos a 9.6 Kbps), se continuó con la simulación de los sistemas ofreciendo los servicios básicos planeados para UMTS en su primera etapa (voz, video a 64 Kbps y datos a 64 Kbps). Para estos servicios solo se probaron los sistemas con PRMA y esquemas de modulación de alto nivel, que son los más factibles a implementar. Enseguida se realiza el análisis de los resultados obtenidos.

V.2.7 UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps

Las gráficas que muestran el comportamiento de este sistema son las que se muestran a continuación. De la primera de ellas (figura 38) se puede obtener el número de usuarios

óptimo por celda. Así, tenemos que 70 usuarios por celda es el número indicado. Aunque para el servicio de voz no se llega al valor máximo permitido de descarte de paquetes (1%), en los servicios de video y datos si se llega al de bloqueo de llamadas (2%). Se observa que el número de usuarios disminuye notablemente (cerca del 80%) comparado cuando el sistema no ofrecía servicios de mayor ancho de banda (video y datos a 64 Kbps) y la razón es que estos servicios requieren mas ranuras por marco para que se pueda ofrecer el servicio. En los sistemas vistos anteriormente solo se requería una ranura por marco para los servicios, mientras que en este y los sistemas que se verán mas adelante, se requiere una ranura por marco para el servicio de voz y cuatro ranuras por marco para los servicios de video y datos.

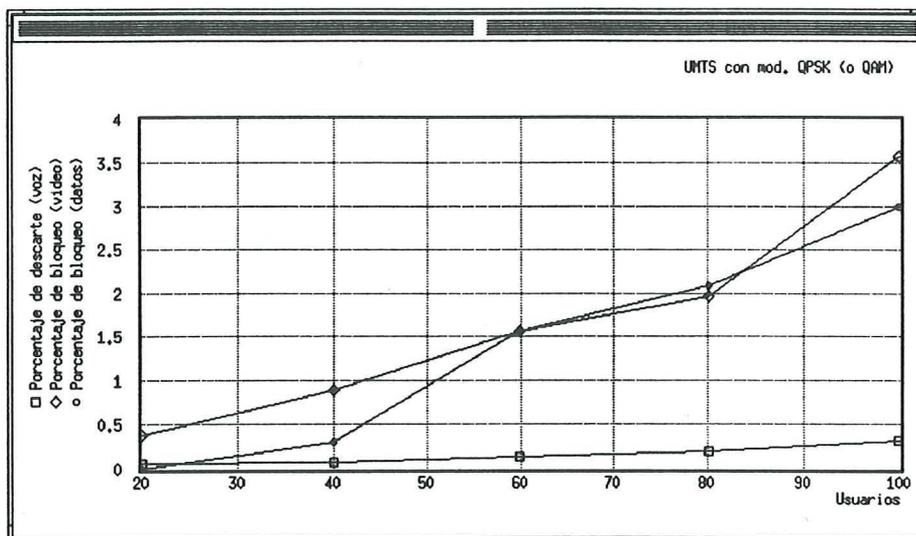


Figura 38. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

En el retardo en la obtención de canal también se puede ver el efecto de introducir servicios de mayor ancho de banda. Así, tenemos que para los servicios de video y datos el retardo se incrementa notablemente, como puede observarse en la figura 39, y es que ahora es más difícil encontrar cuatro ranuras libres simultáneamente.

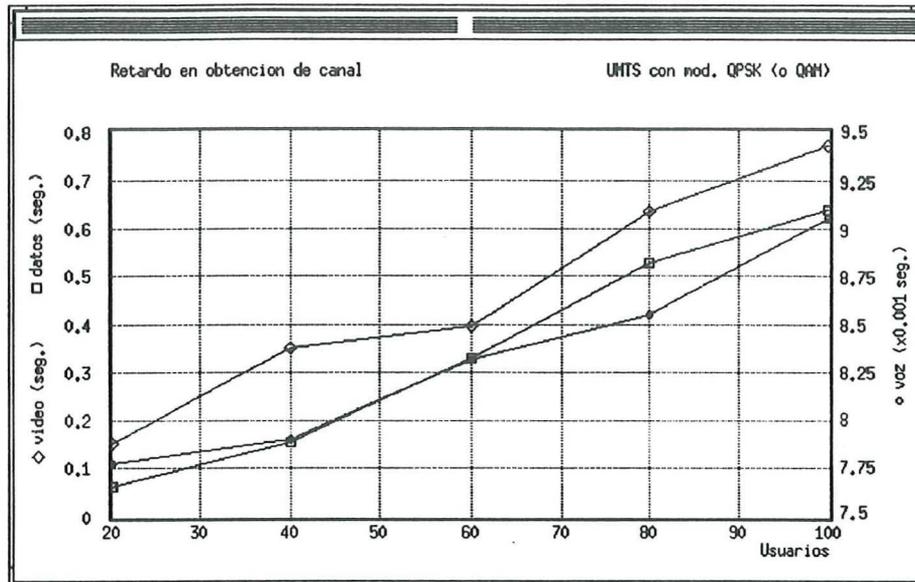


Figura 39. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

En cuanto a la tasa de bits erróneos, en la figura 40 se observa un comportamiento similar al que se tenía con los servicios de menor ancho de banda. Esto confirma lo dicho con anterioridad, de que una vez que se tiene asignada una ranura, la interferencia es solo de las terminales que utilizan esa misma ranura en las celdas co-canal adyacentes, que típicamente es solo una por celda. Así, nuevamente se tiene que tanto QPSK como QAM cumplen con el requerimiento de BER para todos los servicios.

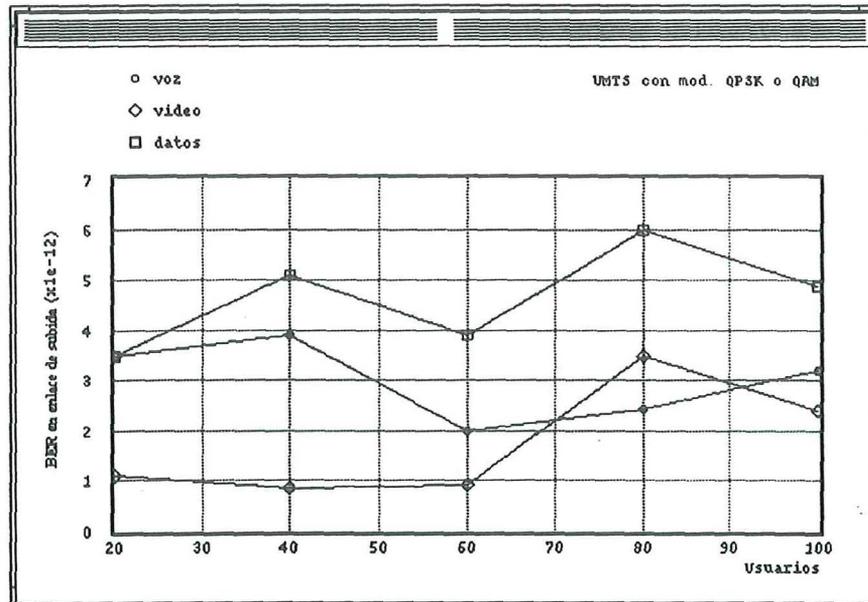


Figura 40. BER en enlace de subida en UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

V.2.8 UMTS con modulación 8PSK u 8QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps

Con estos tipos de modulación la capacidad de usuarios por celda es muy similar a la de GSM, el incremento es de apenas 14%. Claro que ahora se están proporcionando servicios de mayor ancho de banda y solo hasta este nivel de modulación se alcanza la capacidad de GSM. Donde se nota un fuerte incremento es con respecto al sistema anterior, ya que ahora se tiene un 128% mas de usuarios por celda. Además de obtener el número de usuarios por celda óptimo, de la figura 41 se puede observar que los tres servicios llegan a

los límites máximos permitidos de bloqueo de conexiones o descarte de paquetes de voz casi simultáneamente, es decir, bajo el mismo número de usuarios, a diferencia del sistema anterior, en el que el servicio de voz quedaba muy por debajo de su límite cuando se alcanzaba el máximo permitido en video y datos.

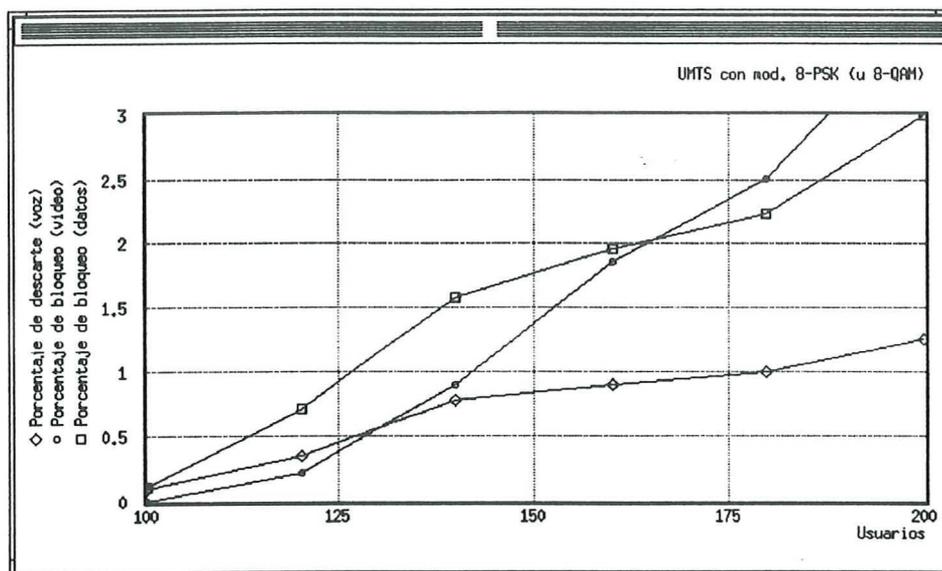


Figura 41. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación 8PSK u 8QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

El retardo en la obtención del canal es muy similar al sistema anterior, como se puede observar en la figura 42. El desempeño para este parámetro sigue siendo suficientemente bueno.

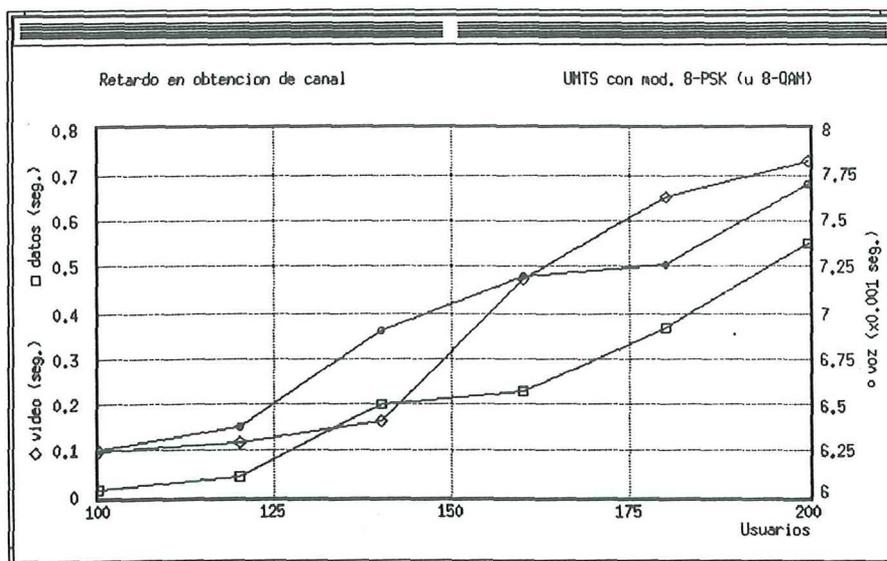


Figura 42. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación QPSK o QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

Para el análisis del BER tenemos dos gráficas distintas, una para 8QAM (figura 43) y otra para 8PSK (figura 44). En ellas observamos que se tiene una tasa de bits erróneos muy buena para 8QAM, mientras que para 8PSK el requerimiento es cumplido con poco margen, por lo que nuevamente el sistema recomendable es el que utiliza 8QAM.

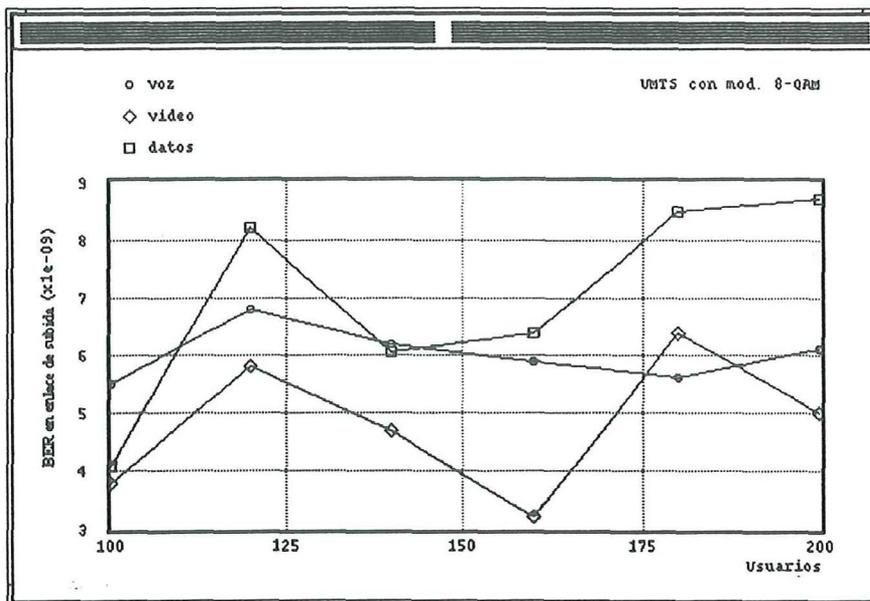


Figura 43. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 8QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

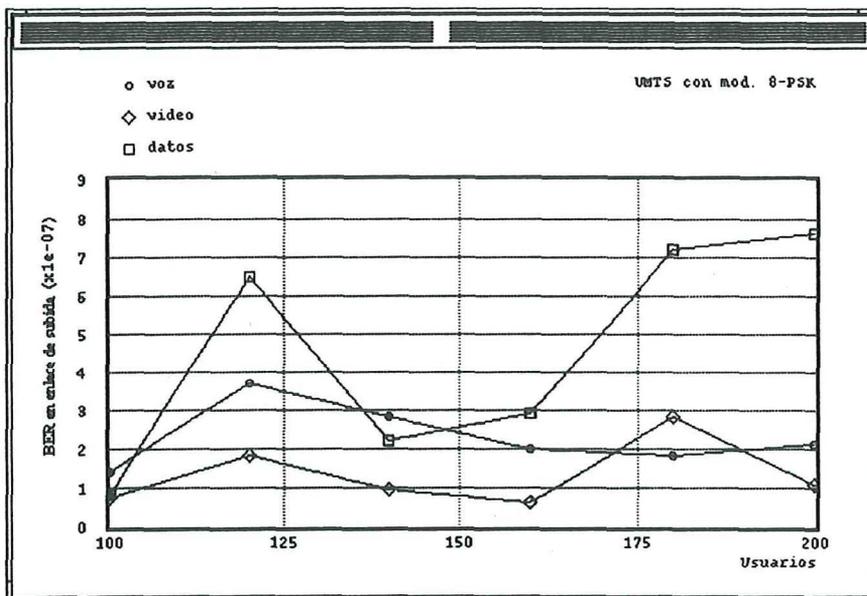


Figura 44. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 8PSK y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

V.2.9 UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps

La figura 45 ayuda a obtener el número de usuarios por celda óptimo para estos sistemas, y este es de aproximadamente 350 usuarios por celda. La capacidad se ve limitada por el grado de servicio que se debe cumplir para el servicio de voz, ya que a partir de ese valor ya se está muy cerca del 1% de descarte de paquetes. Para los servicios de video y datos los porcentajes de bloqueo de conexiones siguen por debajo del 2% para la capacidad especificada.

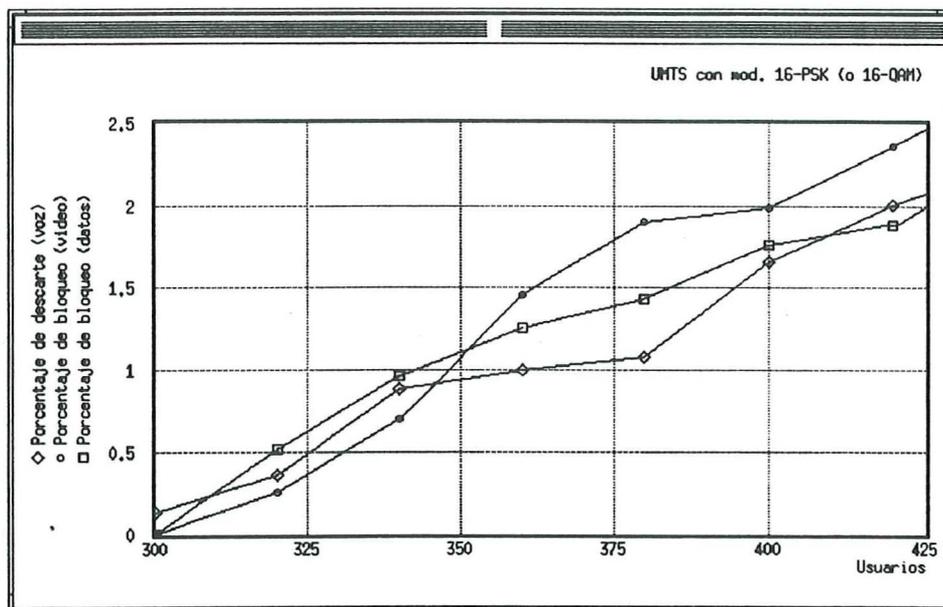


Figura 45. Porcentajes de descarte de paquetes y de bloqueo de conexiones en UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

En el aspecto de retardo en obtención de canal ambos tipos de modulación se desempeñan bastante bien, similar a como lo han hecho los sistemas anteriores. Esto puede ser visto en la figura 46.

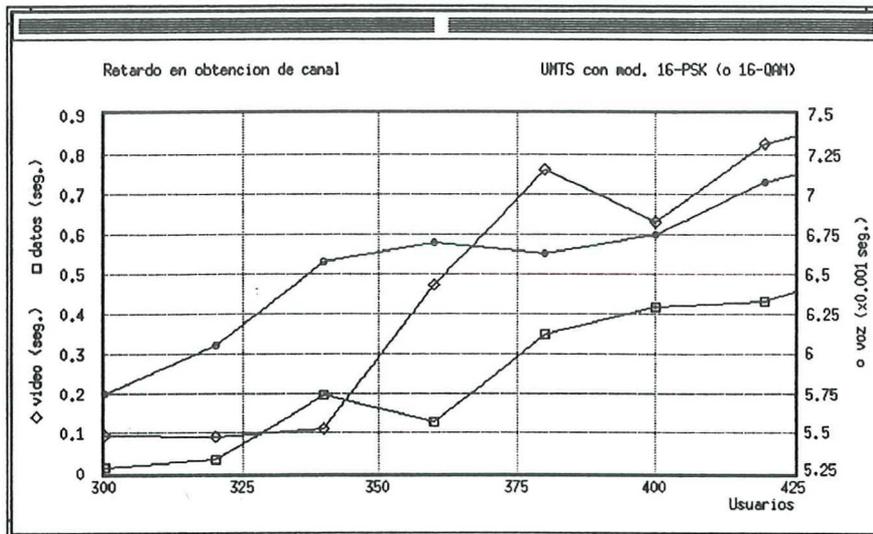


Figura 46. Retardo en obtención de canal en UMTS con modulación 16PSK ó 16QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

Al igual que la vez anterior en que se probaron estos tipos de modulación, nuevamente se observa que estos sistemas no cumplen con los requerimientos de BER para los servicios de video y datos. Con 16QAM si se cumple con el requerimiento para voz, no siendo así con 16PSK, que es completamente malo y, por lo tanto, no factible. Las figuras 47 y 48 muestran el desempeño de ambos sistemas.

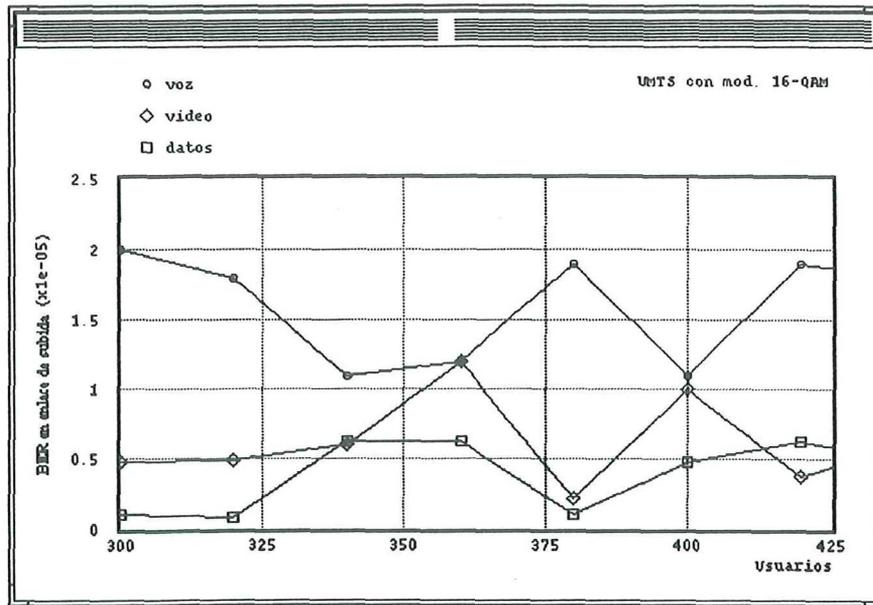


Figura 47. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 16QAM y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

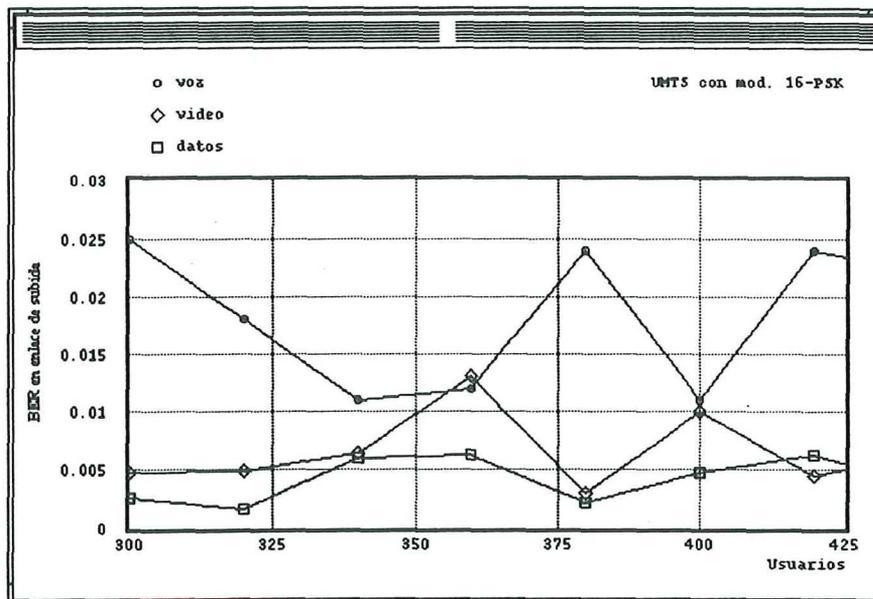


Figura 48. BER en enlace de subida en UMTS con modulación 16PSK y servicios de voz, video y datos a 64 Kbps.

V.2.10 Comparación de sistemas con servicios multimedia

Nuevamente se hará una comparación, ahora con los sistemas analizados en la última parte y que son los que ofrecen la posibilidad de transmisión de servicios de mayor ancho de banda. De los resultados obtenidos se vio que los sistemas que pueden soportar mayor número de usuarios por celda son los que utilizan esquemas de modulación de mas alto nivel, como son 16QAM y 16PSK. Sin embargo, estos presentan el problema de no ofrecer una tasa de bits erróneos lo suficientemente baja para garantizar un grado de servicio adecuado y, por lo tanto, en primera instancia, no son adecuados para implementarse. Si acaso el sistema con 16QAM se podría utilizar para ofrecer servicio de voz. Entonces, si se descartan estos sistemas y viendo que 8QAM proporciona una tasa de bits erróneos mejor que la de 8PSK, el sistema que se recomienda utilizar es PRMA combinado con modulación 8QAM. El retardo en la obtención de canal no es un factor fuerte en esta decisión ya que todos los sistemas tienen muy buen desempeño en este parámetro. En la tabla VI se resume esta comparación. Nuevamente los valores corresponden a la capacidad óptima de los sistemas.

Tabla VI. Comparación de sistemas ofreciendo servicios multimedia.

Sistema	Capacidad		Tasa de bits erróneos	Retardo en obtención de canal
	vs GSM	vs anterior		
PRMA con QAM o QPSK	Baja (70 usuarios) -50%		Excelente ($\approx 3 \times 10^{-12}$)	Aceptable (< 10 ms)
PRMA con 8QAM	Buena (150 usuarios) +14%	+128%	Muy bueno ($\approx 5 \times 10^{-9}$)	Aceptable (< 7 ms)
PRMA con 8PSK	Buena (150 usuarios) +14%	+128%	Bueno ($\approx 2 \times 10^{-7}$)	Aceptable (< 7 ms)
PRMA con 16QAM	Mejor (350 usuarios) +150%	+118%	No suficiente ($\approx 1 \times 10^{-5}$)	Aceptable (< 7 ms)
PRMA con 16PSK	Mejor (350 usuarios) +150%	+118%	Malo ($\approx 1 \times 10^{-2}$)	Aceptable (< 7 ms)

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 Conclusiones

El desarrollo y culminación de esta tesis implicó el estudio del sistema de comunicaciones móviles GSM, el cual se está extendiendo por todo el mundo y que probablemente llegará pronto a México, por lo que no debemos quedar rezagados en esta área tan importante. Por otra parte, GSM ha estado evolucionando y se espera que la próxima etapa sea la introducción de servicios multimedios, tales como voz, datos y video. Esta etapa permitiría la introducción del sistema UMTS y otros similares como una evolución de los sistemas actuales hacia sistemas de mayor ancho de banda. Así pues, sería importante que se considerara este trabajo y que, una vez que se decida introducir GSM en México, se introdujera con estas nuevas capacidades.

En esta tesis se analizó el comportamiento de un esquema de acceso múltiple considerado entre los candidatos para la interfaz de radio de los sistemas de comunicaciones móviles de la tercera generación. El esquema del que se habla es PRMA. Una razón por la cual se eligió estudiar este esquema es que permite una evolución natural del sistema GSM, lo cual es uno de los objetivos de los estudios que se realizan actualmente en diversas partes del planeta.

Se estudió al esquema de acceso múltiple PRMA operando bajo distintas técnicas de modulación digital de alta eficiencia espectral, específicamente las familias M -QAM y M -PSK. Además, se realizó una comparación directa con el sistema GSM y sus esquemas de acceso TDMA y de modulación GMSK. De este estudio se obtuvo que PRMA resulta un

muy buen esquema de acceso múltiple para el servicio de voz, aumentando la capacidad del sistema en un porcentaje mayor al 70%, al aprovechar los periodos de silencio en las conversaciones. También se mostró que la introducción de una técnica de modulación de alto nivel ayuda a incrementar esta capacidad en un porcentaje aún mayor, dependiendo del nivel de modulación. La limitante que se tuvo para utilizar un esquema de modulación de alto nivel fue la calidad de los servicios. Así, se tiene que de los sistemas probados el que tiene un mejor compromiso entre capacidad del sistema y calidad de los servicios fue PRMA con modulación 8QAM. PRMA con modulación 8PSK también ofrece un compromiso aceptable y la decisión sobre cual utilizar deberá considerar aspectos económicos de implementación. En principio se sabe que 8QAM requiere equipo más sofisticado y caro comparado con 8PSK.

Como se mostró en el capítulo anterior, el esquema de modulación 16QAM ofrece la mayor capacidad de usuarios pero solo puede garantizar buena calidad de servicio para transmisión de voz, no siendo así para video y datos, que requieren mejor calidad. Lo interesante de este resultado es que se puede utilizar en áreas de alta densidad de usuarios. En estas áreas se utilizarían dos métodos de acceso al canal, dependiendo del tipo de servicio requerido. Si el usuario requiere servicio de voz, se utilizaría PRMA con modulación 16QAM; si el servicio solicitado es de video o datos, entonces se utilizaría PRMA con 8QAM. Para ello, el usuario deberá contar con una terminal capaz de conmutar entre estas dos técnicas de modulación, lo cual es factible de realizar.

Como recapitulación de lo mencionado anteriormente, se puede mencionar la principal contribución de este trabajo. Esta contribución es el análisis realizado para determinar la

factibilidad de transmisión de servicios multimedios en redes de comunicaciones inalámbricas. A partir de temas que hasta la fecha se habían estudiado aisladamente, se juntaron estos para formar un sistema que pudiera ofrecer nuevas capacidades de transmisión a los usuarios móviles, con los resultados ya mencionados.

VI.2 Recomendaciones

Dentro de esta línea de investigación se puede continuar con varios temas que pueden mejorar el sistema. Entre estos temas se ponen a consideración para su posible análisis:

- Análisis de técnicas de post-modulación (por ejemplo, técnicas de corrección de error) que puedan mejorar la tasa de bits erróneos, de manera que sea posible utilizar 16QAM para transmisión de video y datos.
- Estudio de la repercusión al utilizar antenas direccionales (en este estudio se utilizaron antenas omnidireccionales).
- Analizar los efectos de reducir o incrementar el tamaño de las celdas, así como la potencia de transmisión.
- Estudio de la señalización para procedimientos tales como establecimiento de conexión, liberación de conexión, etc.

LITERATURA CITADA

AT&T: Wireless Services Inc. 1997. "Brief History of Cellular".

http://www.attws.com/linda/aboutus/us_fct05.html

Balston, D. M. 1992. "The Pan-European System: GSM". En: D. M. Balston y R. C. V. Macario (eds.). "Cellular Radio Systems". Artech House Inc., Norwood, MA, USA.

Conte Galván, Roberto. 1988. "Análisis, Diseño y Simulación de Sistemas de Radio Digital de Microondas". Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, CICESE, Ensenada, B. C., Tesis de Maestría en Ciencias.

DuBose, Ken. 1991. "An Effective Bit Rate/Table Lookup Based Admission Control Strategy for the ATM B-ISDN". Carnegie Mellon University. Tesis de Maestría en Ciencias.

Dupuis, Philippe. 1995. "A European View on the Transition Path Toward Advanced Mobile Systems". IEEE Personal Communications Magazine. 2(1): 60-63 p.

Goodman, David. 1990. "Cellular Packet Communications". IEEE Transactions on Communications. 38 (8): 1272-1280 p.

Feher, Kamilo. "Telecommunications Measurements, Analysis, and Instrumentation". Prentice-Hall. Primera edición. Englewood Cliffs, NJ, USA. 412 pp.

Kuperus, F. y J. Arnbak. 1982. "Packet radio in a Rayleigh channel". ELECTRONIC LETTERS. 18 (12): 506-507 p.

LITERATURA CITADA (continuación)

- Linnartz, Jean-Paul. 1993. "Narrowband Land-Mobile Radio Networks". Artech House. Primera edición. Norwood, MA, USA. 345 pp.
- Magedanz, Thomas. 1996. "Integration and Evolution of Existing Mobile Telecommunications Systems Toward UMTS". IEEE Communications Magazine. 34 (2): 90- 96 p.
- Mehrotra, Asha. 1994. "Cellular Radio, Analog and Digital Systems". Artech House Inc. Primera edición. Norwood, MA, USA. 460 pp.
- MIL3, Inc. 1997. OPNET Modeler Overview. Washington, D. C.
- Mouly, M. y M.-B. Pautet. 1995. "Current Evolution of the GSM Systems". IEEE Personal Communications Magazine.
- Orange, Matthew. 1995. "Performance of Microcellular PRMA in a Fading Channel Environment". School of Engineering Report. The University of Auckland. Auckland, New Zealand. (557): 60 p.
- RACE, Especificación D731. 1994. "Mobile Communications: General Aspects and Evolution".
- RACE, Especificación D732. 1994. "Service Aspects".
- Rapeli, Juha. 1995. "UMTS: Targets, System Concept, and Standardization in a Global Framework". IEEE Personal Communications Magazine. 2(1): 20-28 p.

LITERATURA CITADA (continuación)

Rappaport, Theodore S., K. Blankenship y H. Xu. 1997. "Propagation and Radio System Design Issues in Mobile Radio Systems for the GloMo Project". Bradley Department of Electrical and Computer Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University. Virginia, USA. 29 pp.

Schwarz Da Silva, Joao y Bosco E. Fernandes. 1995. "The European Research Program for Advanced Mobile Systems". IEEE Personal Communications Magazine. 2(1): 14-19 p.

Schwarz Da Silva, J., B. Arroyo-Fernández, B. Barani, J. Pereira y D. Ikonomou. 1997. "Evolution Towards UMTS". European Commission - DG XIII-B.4.
<http://www.at.infowin.org/ACTS/IENM/CONCERTATION/MOBILITY/literat.htm>

Tanenbaum, Andrew. 1991. "Redes de Ordenadores". Prentice-Hall. Segunda edición. México, D. F. 760 pp.

APÉNDICE A. PROPAGACIÓN EN ENLACES DE RADIO

A.1 INTRODUCCIÓN

Las condiciones de propagación en los enlaces de radio (o radiopropagación) limitan el área que puede ser cubierta por un transmisor o la máxima tasa de datos en un sistema de comunicaciones móviles. El enlace de radio hacia y desde una terminal móvil es un canal de comunicación variable. Los parámetros importantes que definen el ambiente móvil para un área particular incluyen:

- el terreno físico, incluyendo las características del follaje y la vegetación;
- el número, altura, arreglo y construcción de estructuras; y
- ruido eléctrico e interferencia de co-canal.

Los tres elementos principales de radiopropagación en el ambiente inalámbrico son la pérdida de energía promedio de la señal, debida principalmente a la distancia de propagación, el sombreado y el desvanecimiento por multitrayectoria [Orange, 1995].

A.2 PÉRDIDAS POR TRAYECTORIA

La diferencia entre el nivel de una señal en la estación base transmitiendo y el nivel medio de esa señal en la terminal del usuario es conocida como la “pérdida por trayectoria”. Por reciprocidad se puede expresar a la pérdida por trayectoria como la diferencia entre el nivel de la señal en la terminal de usuario transmitiendo y el nivel medio de esa señal en la

estación base. En las bandas de frecuencia utilizadas por los sistemas celulares terrestres (comprendidas dentro de las bandas de VHF y UHF), el principal mecanismo que contribuye a estas pérdidas es la pérdida por espacio libre.

El análisis de propagación a gran escala concierne con predecir la potencia media de la señal como una función de la distancia entre el transmisor y el receptor (d), para distancias de cientos, miles o millones de metros. Tradicionalmente se ha utilizado el modelo d^n como un modelo muy bueno para la predicción de la potencia recibida en función de la distancia para sistemas inalámbricos [Rappaport *et al.*, 1997].

A.2.1 Modelo d^n para Pérdidas por Trayectoria

Generalmente se utiliza el modelo de pérdidas por trayectoria d^n para predecir la transferencia de potencia entre un transmisor y un receptor. Este modelo toma en cuenta el decremento en la densidad de energía sufrido por la onda electromagnética debido al esparcimiento, así como la pérdida de energía debido a la interacción de la onda electromagnética con el ambiente de propagación. Se utiliza el término “pérdidas por trayectoria” para cuantificar la diferencia (en dB) entre la potencia transmitida, P_t (en dBm), y la potencia recibida, P_r (en dBm). El modelo d^n predice que la media de las pérdidas por trayectoria, $\bar{P}(d)$, medida en dB, a una separación d entre el transmisor y el receptor, será:

$$\bar{P}(d) = \bar{P}(d_0) + 10 \cdot n \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (5)$$

donde $\bar{P}(d_o)$ es la media de las pérdidas por trayectoria (en dB) a una distancia de referencia cercana d_o , y n es la cantidad empírica “exponente de pérdidas por trayectoria”. Típicamente se selecciona $d_o=1$ Km y $n=4$ para ambientes celulares. $\bar{P}(d_o)$ puede ser medida o estimada por la siguiente fórmula:

$$\bar{P}(d_o) = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi d_o}{\lambda} \right) \quad (6)$$

donde $\lambda = c/f$ es la longitud de onda de la señal transmitida (c es la velocidad de la luz, $3 \cdot 10^8$ m/s, y f es la frecuencia de la señal transmitida, en Hz). Una gráfica típica de pérdidas por trayectoria en función de la distancia se muestra en la figura 49.

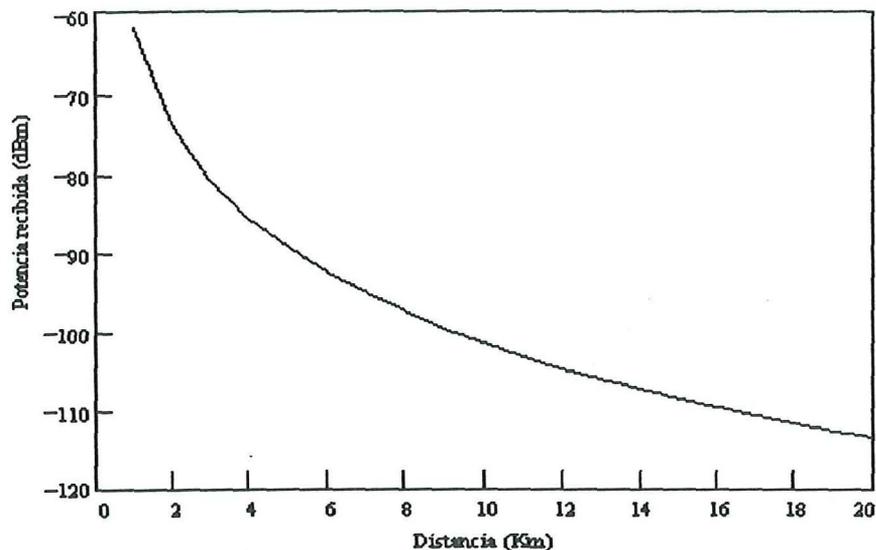


Figura 49. Pérdidas por trayectoria.

A.3 DESCRIPCIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA SEÑAL

En un ambiente inalámbrico típico usualmente no hay una trayectoria con línea de vista entre el transmisor y el receptor. A causa de esto, la señal arriba al receptor después de ser reflejada y refractada por los obstáculos en su trayectoria. La presencia de estos obstáculos no solamente reduce la potencia media recibida por debajo de lo predicho por el modelo de pérdidas por trayectoria de (5), sino que también causa variaciones significantes en el nivel de señal recibida sobre distancias tan cortas como unos cuantos metros. Como resultado, cuando la terminal del usuario se mueve, la potencia de la señal recibida fluctuará marcadamente.

A.3.1 Sombreo Lognormal

La onda de radio puede ser parcialmente bloqueada o absorbida por alguna característica del ambiente. A frecuencias típicas de sistemas celulares, el efecto de atenuación más importante es el conocido como “sombreo” (también referido como desvanecimiento lento) [Rappaport *et al.*, 1997], fenómeno en el cual los edificios o colinas crean “sombras” a las ondas de radio afectando a las señales como se ilustra en la figura 50. Reportes de experimentos indican que para trayectorias mayores a unos cientos de metros, la potencia media local recibida \bar{P} fluctúa con una distribución lognormal alrededor de la potencia media $\bar{\bar{P}}$. Por lognormal se quiere indicar que la potencia media local, expresada en valores logarítmicos, tales como los decibeles, tiene una distribución Gaussiana.

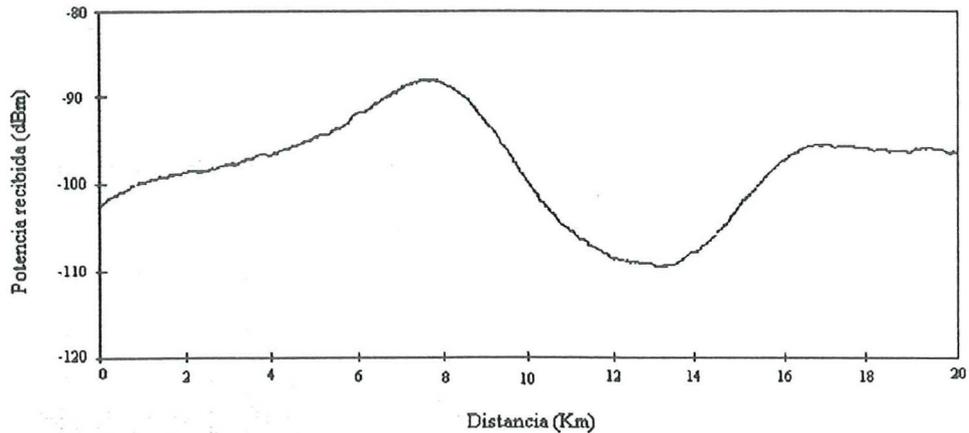


Figura 50. Sombreo lognormal.

La función de distribución de probabilidad (fdp) de la potencia media local recibida es de la forma:

$$f_P(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_s P} \exp\left[\frac{-1}{2\sigma_s^2} \ln\left(\frac{P}{\bar{P}}\right)\right] \quad (7)$$

donde σ_s es la desviación estándar logarítmica del efecto de sombreado, expresado en unidades naturales. La desviación estándar S_s expresada en decibeles es encontrada a partir de $S_s = 4.34\sigma_s$.

A.3.2 Desvanecimiento Rayleigh

En adición al sombreado de la señal, la onda de radio puede ser reflejada por una colina, un edificio, o una discontinuidad en la atmósfera. El efecto es producir no una, sino múltiples trayectorias entre el transmisor y el receptor, distintas todas entre sí. Varias

componentes multitrayectoria de la señal transmitida arriban al receptor al mismo tiempo, cada una con diferente retardo y, por lo tanto, diferente corrimiento en fase. Estas componentes se combinan constructiva o destructivamente para producir un corrimiento en fase aleatorio. Esto causa cambios rápidos en la energía de la señal, efecto conocido como desvanecimiento Rayleigh [Rappaport *et al.*, 1997] y es ilustrado en la figura 51.

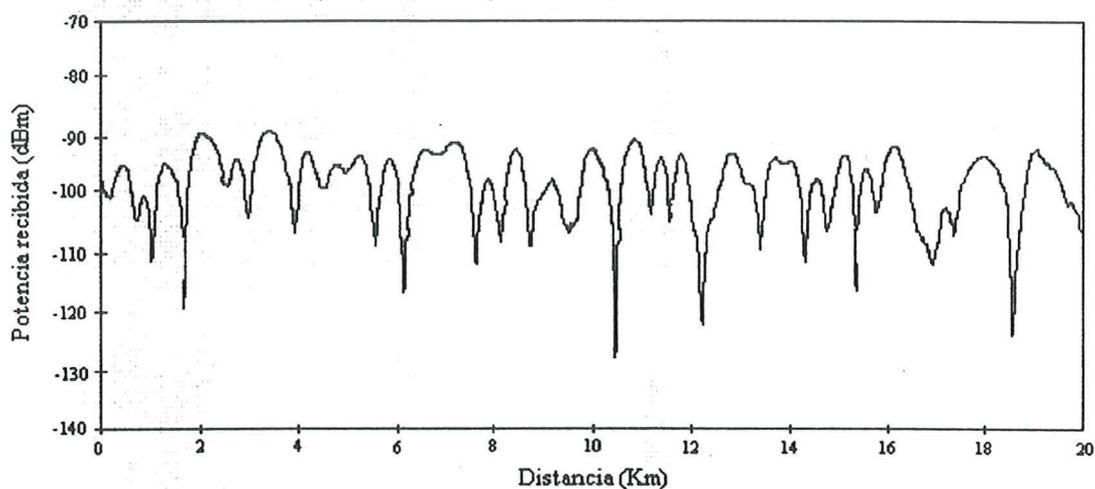


Figura 51. Desvanecimiento Rayleigh.

Si v es el voltaje instantáneo de la señal recibida, la función de distribución de probabilidad Rayleigh puede ser escrita como:

$$f_v(v) = \frac{v}{P} \exp\left[\frac{-v^2}{2P}\right] \quad (8)$$

donde \bar{P} es la potencia media local recibida. Es importante anotar que la distribución Rayleigh modela la variabilidad de la envolvente de la señal recibida cuando la envolvente es

expresada en volts. Si la envolvente de la señal es expresada en watts, la distribución estadística apropiada ya no es la fdp Rayleigh sino la fdp exponencial. Por lo tanto, si P es la potencia instantánea total recibida y está dada por:

$$P = \frac{1}{2} v^2 \quad (9)$$

entonces P tendrá una función de distribución de probabilidad de la forma:

$$f_P(P) = \frac{1}{P} \exp\left[-\frac{P}{P}\right] \quad (10)$$

APÉNDICE B. SIMULADOR DE REDES DE COMUNICACIONES

OPNET

B.1 INTRODUCCIÓN

OPNET es un ambiente de desarrollo para modelar, simular y analizar el desempeño de redes de comunicaciones, sistemas de cómputo y sistemas distribuidos [MIL3, 1997]. OPNET presenta una interfaz gráfica hacia el usuario bastante avanzada, la cual soporta múltiples ventanas y hace uso de menús e iconos. La definición de topologías y arquitecturas se realiza a través de una serie de editores gráficos orientados a objetos relacionados jerárquicamente, en forma similar a la estructura de las redes actuales, permitiendo un mapeo intuitivo entre un sistema y su modelo. Los editores más importantes son: Editor de Red, Editor de Nodos y Editor de Procesos. Además, ofrece una Herramienta de Análisis muy poderosa para visualización de los datos recolectados durante la simulación.

La jerarquía de los modelos en OPNET es como se muestra en la figura 52. Cada nivel de la jerarquía es conocido como “dominio” y el de mayor categoría es el dominio de red. Debajo de este se encuentra el dominio de nodo y el más fundamental es el de proceso.

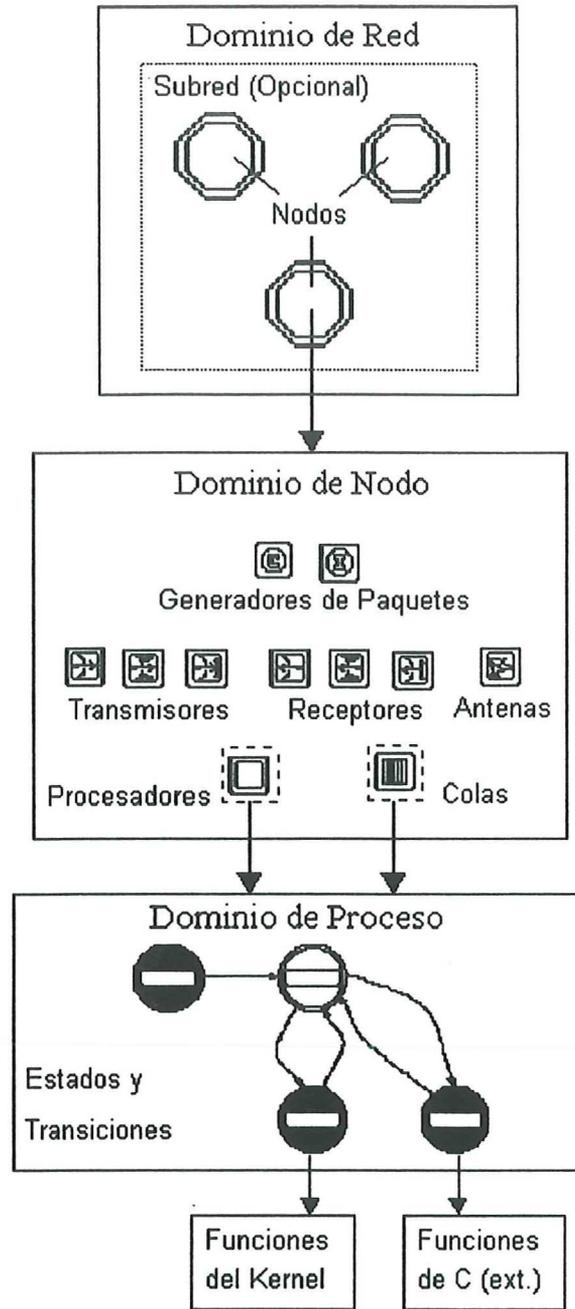


Figura 52. Jerarquía en los modelos de OPNET.

B.2 EDITOR DE RED

El editor de red captura en forma gráfica la topología física de la red. Hay objetos para los nodos y los enlaces que definen la red. Cada nodo pertenece a una clase con estructura y atributos propios. Los atributos de los modelos pueden ser definidos por el usuario o se pueden seleccionar los integrados al modelo. Algunos ejemplos de atributos son la tasa de generación de tráfico de un nodo, el ancho de banda de un transmisor, o la capacidad de un almacenador temporal (buffer). En el editor de red, los atributos de cada nodo pueden ser definidos individualmente vía menús seleccionables. Los nodos se comunican a través de diversos tipos de enlaces de comunicaciones. Se cuenta con enlaces punto a punto, ductos y enlaces de radio. Los modelos de enlaces determinan retardos, tasas de error, colisiones, etc. Cada tipo de enlace puede ser ajustado a las necesidades particulares de las aplicaciones.

B.3 EDITOR DE NODOS

El editor de nodos describe gráficamente la arquitectura de los nodos en forma de diagramas de flujo de datos entre módulos que representan los subsistemas de hardware (circuitería) y software (programación). Los nodos son los objetos utilizados para construir modelos de red en el editor de red. Típicamente representan sitios dentro de una red de comunicaciones, como una estación de trabajo, una estación base o un satélite. La función y estructura de cada nodo es descrita por un modelo de nodo, creado en este editor.

Los bloques de construcción de los modelos de nodo se dividen en dos categorías: los de funcionalidad dedicada, y los de comportamiento programado por el usuario. En la primera categoría, OPNET ofrece generadores de tráfico, transmisores y receptores, cada uno de los cuales tiene su propio conjunto de atributos que son configurados vía menús seleccionables. En la segunda categoría, las funciones desempeñadas por colas y procesadores pueden ser programadas completamente por el usuario a través de un modelo de proceso para los módulos. Los modelos de proceso son diseñados utilizando el editor de procesos.

Los módulos del editor de nodo se pueden unir con dos tipos de conexiones: flujos de datos o flujos de estadísticas. Los primeros representan información y los segundos algún parámetro del sistema.

B.4 EDITOR DE PROCESOS

El editor de procesos ofrece un contexto para la creación de modelos de protocolos, recursos, aplicaciones, algoritmos, etc. Los procesos son definidos utilizando el lenguaje Proto-C™. Proto-C consiste de la representación gráfica de los estados del proceso y el flujo lógico entre ellos. Agrega una extensa biblioteca de mas de 300 funciones de soporte que son utilizadas para implementar las acciones del proceso, así como la completa flexibilidad del lenguaje C. Atributos definidos por el usuario permiten que cada modelo de proceso sea parametrizado permitiendo con ello el reuso de los modelos.

B.5 HERRAMIENTA DE ANÁLISIS

La herramienta de análisis ofrece un ambiente gráfico para la visualización de datos y estadísticas recolectados durante el transcurso de la simulación. Con ello se pueden evaluar el desempeño y comportamiento de las redes. Se pueden colocar puntos de prueba ya integrados o definidos por el usuario (conocidos como “pruebas”) en cualquier punto del modelo para recopilar datos o estadísticas. Los resultados de la simulación recogidos por las pruebas pueden ser desplegados gráficamente, visualizados numéricamente, o exportados a otro programa. Además, los resultados de varias simulaciones pueden ser agrupados automáticamente en un solo archivo de salida, facilitando con ello el análisis de sensibilidad a distintos factores en el modelo.

Las variables de la red monitoreadas pueden ser inspeccionadas y comparadas en un ambiente de múltiples ventanas que incluye gráficas en tiempo, histogramas, funciones de distribución, despliegue animado durante la ejecución, etc. Se pueden graficar múltiples estadísticas sobre los mismos ejes y se puede determinar exactamente valores específicos mediante acercamientos (zoom) y rastreo de resultados. Además, se pueden calcular automáticamente estadísticas de primer y segundo orden, así como intervalos de confianza.

GLOSARIO

ACTS	Advanced Communications Technologies and Services - Tecnologías y Servicios de Comunicaciones Avanzadas
BER	Bit Error Rate - Tasa de Bits Erróneos
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network - Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha
BPSK	Binary Phase Shift Keying - Modulación por Corrimiento de Fase Binaria
CCSM	Centro de Conmutación de Servicios Móviles
CEB	Controlador de Estación Base
CEPT	Conference of European Posts and Telegraphs - Conferencia Europea de Correos y Telégrafos
C/N	Carrier/Noise - Señal/Ruido
CV	Centro de Validación
EB	Estación Base
EM	Estación Móvil
ETB	Estación Transceptora Base
ETSI	European Telecommunications Standards Institute - Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones
FDMA	Frequency Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Frecuencia
FEC	Forward Error Correction - Corrección de Error en Recepción

GLOSARIO (continuación)

FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications System - Sistema de Telecomunicaciones Móviles Terrestres Públicas del Futuro
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying - Modulación con Corrimiento Mínimo Gaussiano
GSM	Global System for Mobile communications - Sistema Global para Comunicaciones Móviles
IIUM	Identificador Internacional de Usuario Móvil
IMT-2000	International Mobile Telecommunications for the year 2000 - Telecomunicaciones Móviles Internacionales para el año 2000
ITU	International Telecommunications Union - Unión Internacional de Telecomunicaciones
MIU	Módulo de Identificación de Usuario
MSK	Minimum Shift Keying - Modulación con Corrimiento Mínimo
OPNET	Optimized Network Engineering Tools - Herramientas Optimizadas de Ingeniería para Redes
PRMA	Packet Reservation Multiple Access - Acceso Múltiple por Reservación de Paquetes
PSK	Phase Shift Keying - Modulación por Corrimiento de Fase
QAM	Quadrature Amplitude Modulation - Modulación por Amplitud en Cuadratura
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying - Modulación por Corrimiento de Fase en Cuadratura
RACE	Research into Advanced Communications in Europe - Investigación sobre Comunicaciones Avanzadas en Europa
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados

GLOSARIO (continuación)

RIE	Registro de Identificación de Equipo
RPCP	Red Pública de Conmutación de Paquetes
RTPC	Red Telefónica Pública Conmutada
RUL	Registro de Usuarios Locales
RUV	Registro de Usuarios Visitantes
TDMA	Time Division Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Tiempo
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System - Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles