

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



**ANALISIS COMPARATIVO DE ARQUITECTURAS  
DE SEÑALIZACION PARA SISTEMAS DE  
COMUNICACION PERSONAL**

**TESIS  
MAESTRIA EN CIENCIAS**

**ANGEL GABRIEL ANDRADE REATIGA**

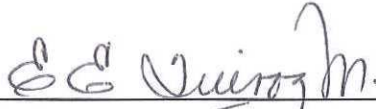
Ensenada, Baja California, Mexico, Noviembre de 1998.







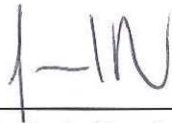
TESIS DEFENDIDA POR  
**ANGEL GABRIEL ANDRADE REÁTIGA**  
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITE



---

M.C. Ernesto Eduardo Quiroz Morones

*Director del Comité*



---

Dr. Jesús Favela Vara

*Miembro del Comité*



---

Dr. Horacio Soto Ortiz

*Miembro del Comité*



---

M.C. Jorge Enrique Preciado Velasco

*Miembro del Comité*



---

Dr. José Luis Medina Monroy

*Jefe del Departamento de Electrónica y  
Telecomunicaciones*



---

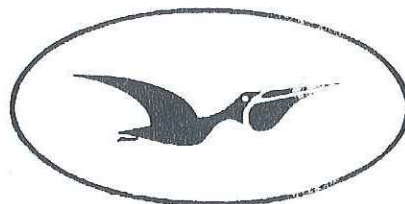
Dr. Federico Graef Ziehl

*Director de Estudios de Posgrado*

9 de noviembre de 1998



CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA  
DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA



**CICESE**

DIVISIÓN DE FÍSICA APLICADA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE ARQUITECTURAS  
DE SEÑALIZACIÓN PARA SISTEMAS DE  
COMUNICACIÓN PERSONAL**

TESIS

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

**ANGEL GABRIEL ANDRADE REÁTIGA**


Ensenada, Baja California; México. Noviembre de 1998



Resumen de la tesis de Angel Gabriel Andrade Reátiga, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO en CIENCIAS en ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES. Ensenada, Baja California, México. Noviembre de 1998.

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE ARQUITECTURAS DE SEÑALIZACIÓN PARA SISTEMAS DE COMUNICACIÓN PERSONAL

Resumen aprobado por:

  
M.C. Ernesto E. Quiroz Morones  
Director de tesis

Los Sistemas de Comunicación Personal (PCS) se caracterizan por proveer a sus usuarios de servicios de telecomunicaciones a través de terminales móviles (MT), permitiéndoles trasladarse libremente en toda el área de cobertura de la red y permanecer comunicados. Con el fin de localizar a un suscriptor que está siendo llamado, se implementan esquemas de administración de movilidad para mantener el control de ubicación de los usuarios. Ésta información de localización reside en las bases de datos HLR (Home Location Register: Base de datos de usuarios locales) y VLR (Visitor Location Register: Base de datos de usuarios visitantes), que son actualizadas cuando el usuario cambia de área de localización.

La característica principal de los sistemas PCS, es que pueden proveer nuevos y mejores servicios, a una cantidad de usuarios mayor que los sistemas celulares actuales. Estas características introducirán nuevos retos en el sistema de señalización y dos de los más importantes serán; el incremento del tráfico en la red de señalización y el consiguiente aumento en el número de accesos a las bases de datos de la red.

En este trabajo se evalúa el desempeño de la red de señalización de los Servicios de Comunicación Personal. Se analizaron tres arquitecturas, la primera es una arquitectura de base de datos de dos niveles, que corresponde al modo de operación actual de las redes PCS (GSM, IS-41). La segunda y tercera arquitecturas son de tres niveles (sin y con apuntadores), que forman una arquitectura jerárquica para la administración de la movilidad. Una aportación original de este trabajo es la propuesta de la técnica específica de utilización de apuntadores de localización, que busca reducir los accesos a la HLR. La evaluación del desempeño se realizó mediante técnicas de simulación utilizando OPNET. La medición de rendimiento se efectuó en términos del retardo extremo-extremo transcurrido para proporcionar los servicios básicos de registro de terminales, origen de llamadas y entrega de llamadas, a los usuarios del sistema PCS.



Los resultados obtenidos revelan que la arquitectura de base de datos de tres niveles mejora notablemente (100 solicitudes/segundo en un tiempo de 0.5 segundos) la capacidad de la red de señalización respecto al caso de dos niveles (60 solicitudes/segundo en un tiempo de 0.5 segundos). También se observa que la técnica de apuntadores de la arquitectura de tres niveles, es ligeramente superior que la de tres niveles sin apuntadores. Las conclusiones anteriores, basadas en resultados objetivos y medibles, permiten recomendar la adopción de la arquitectura de tres niveles para la tercera generación de PCS, la cual está en investigación y desarrollo actualmente.

Palabras clave: Sistema de Comunicación Personal, Señalización, Bases de datos.



ABSTRACT of the thesis of Angel Gabriel Andrade Reátiga, presented as partial requirement to obtain the MASTER IN SCIENCE degree in ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS. Ensenada, Baja California, México. November 1998.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF SIGNALING ARCHITECTURES FOR PERSONAL COMMUNICATIONS SYSTEMS

Personal Communication Systems (PCS) aim to provide their users with telecommunications services using mobile terminals (MT), allowing them to freely travel throughout a specified service coverage area. The up-to-date location information of each MT is stored in two types of databases, the Home Location Register (HLR) and The Visitor Location Register (VLR). The HLR and VLR are updated as the MT moves to another location, and are queried when a call is initiated. The network determines the current location of the called MT through a database lookup procedure.

The main feature of PCS, is that it can support a larger mobile subscriber population while providing improved and expanded types of services unavailable to traditional cellular systems. The introduction of new services will result in an unprecedented predicted growth in the signaling traffic and the databases number of accesses.

In this work, the performance of the signaling network for PCS is evaluated. Three database system architectures are analyzed, the first corresponding to the actual two level database architecture of the PCS networks (GSM, IS-41). The second and third three level database architectures (with and without pointers), which form a hierarchical database architecture for location management. An original contribution of this thesis, is the introduction of a location pointer forwarding strategy, which seeks to reduce the frequency of database updates and queries for location registration and call delivery to the HLR.

Performance evaluation was obtained through simulation techniques using OPNET. The main metric adopted to measure performance is the end-to-end delay experienced by the procedures necessary to provide the basic services (call initiation, call delivery, MT registration and de-registration) to the users of the PCS network.

Results analysis show that the three level database architecture improves (100 calls/second in a time aprox. 0.5 seconds) the capability of the signaling network as compared with the two level architecture (60 calls/second in a time aprox. 0.5 seconds). Also, using a pointer forwarding strategy in the three level database architecture yield slightly better results than the three level database architecture without it. The former observations lead us to recommend the adoption of the three level database architecture to be used in the third generation PCS, which is actually in the design and development stage.

Keywords: Personal Communications Services, Networks Signaling, Intelligent Network Database.



## **DEDICATORIA**

### **A mi esposa**

**Marcela Deyanira Rodríguez Urrea**

Por todo su apoyo y cariño brindados a lo largo de estos dos años de vivir juntos. Gracias por enseñarme que no todo en la vida es juego. TQM<sup>2</sup>

### **A mis padres**

**Teresa Reátiga de Andrade**

**Angel Andrade López**

Por sus enseñanzas y brindarme su apoyo incondicional para lograr cada una de mis metas.

### **A mis suegros**

**Francisca Urrea de Rodríguez**

**Roberto Rodríguez Urrea**

Por considerarme parte de su familia antes de serlo. Gracias por su confianza y apoyo.

### **A mis hermanos**

**Adán, Ada e Ivette**

Por los momentos, tan felices que hemos compartido.



## AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis **M.C. Ernesto Quiroz**, por la confianza depositada en mi persona y su valioso apoyo para la realización de este trabajo.

A los miembros de mi comité de tesis **Dr. Horacio Soto, Dr. Jesús Favela y M.C. Jorge Preciado**, por su apoyo desinteresado y recomendaciones tan valiosas durante el desarrollo de este trabajo.

Al Coordinador del Posgrado en Electrónica y Telecomunicaciones, **M.C. Ricardo Chávez**, por todo el apoyo material recibido para la presentación y defensa de la tesis.

A mis **compañeros y amigos de cubo y de la generación** por todas las experiencias que compartimos los dos años de estancia en el Centro de Investigación.

Al **CICESE** por la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el financiamiento otorgado.



# CONTENIDO

---

	<b>Página</b>
<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
I.1. Antecedentes	1
I.2. Planteamiento del problema	2
I.3. Objetivos de la tesis	4
I.4. Metas del trabajo	5
I.5. Alcances de la tesis	5
I.6. Organización del trabajo	6
<b>II. ARQUITECTURA DE GSM</b>	<b>7</b>
II.1. Introducción	7
II.1.1. Evolución de los sistemas celulares	8
II.2. Estructura de una red Celular	10
II.3. Estructura de una red GSM	11
II.3.1 Terminal Móvil (MT)	11
II.3.2 Estación Base (BS)	13
II.3.3 Controlador de Estación Base (BSC)	13
II.3.4 Centro de Conmutación Móvil (MSC)	14
II.3.5 Registro de Localización de Usuarios Visitantes (VLR)	14
II.3.6 Registro de Localización de Usuarios Locales (HLR)	15
II.3.7 Elementos de la red GSM basada en principios de la IN	16
II.4. Protocolo de señalización GSM	17
II.4.1. Arquitectura del protocolo SS7 en GSM	18
II.4.2. MTP-1	21
II.4.3. MTP-2	22
II.4.4. MTP-3	28
II.4.5. SCCP	31
II.4.6. ISUP	34
II.4.7. TCAP	38
II.4.8. Capa de Aplicación	42
II.4.8.1. Capa RR	43
II.4.8.2. Capa MM	43
II.4.8.3. Capa CCM	43
II.4.9. Protocolo MAP	44
II.4.9.1. Protocolo MAP para la Administración de la Movilidad	45
II.4.9.2. Protocolo MAP para el soporte de servicios básicos	46
<b>III. ADMINISTRACIÓN DE LA MOVILIDAD EN GSM</b>	<b>48</b>
III.1. Introducción	48

## CONTENIDO ( continuación)

---

	<u>Página</u>
III.2. Métodos para la Administración de Movilidad	49
III.2.1. Sistema de bases de datos	52
III.2.2. Problemática en un futuro cercano	54
III.3. Manejo de la movilidad de usuarios en GSM	55
III.3.1. Registro de Localización	56
III.3.2. Origen de Llamadas	59
III.3.3. Entrega de Llamadas	62
III.4. Estrategias para la administración de movilidad	64
III.4.1. Almacenamiento de información de ubicación por usuario	64
III.4.2. Replica del archivo de usuario	66
III.4.3. Utilización de apuntadores	66
III.4.4. Esquema de partición (Partitioning scheme)	67
III.4.5. Utilización de apuntadores en una arquitectura de árbol	68
III.5. propuesta para mejorar la administración de la movilidad	70
III.5.1. Arquitectura Jerárquica de Base de Datos	71
III.5.1.1. Registro de ubicación	73
III.5.1.2. Origen de llamadas	76
III.5.2. Arquitectura jerárquica dinámica de base de datos	79
III.5.2.1. Registro de Localización	81
III.5.2.2. Origen de llamadas	83
<b>IV. MODELADO DE UNA RED PCS BASADA EN EL ESTÁNDAR GSM.</b>	<b>88</b>
IV.1. Funcionalidad de SS7 requerida en los diversos elementos de la red	89
IV.2. Modelado de las diferentes capas de la SS7	90
IV.3. Implementación del modelo	96
IV.4. Simplificaciones y limitaciones	97
<b>V. DISEÑO DE LAS CORRIDAS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>100</b>
V.1. Comentarios	100
V.2. Comparación entre un sistema con arquitectura jerárquica de base de datos y arquitectura de base de datos GSM.	101
V.3. Análisis comparativo del desempeño de un sistema con arquitectura jerárquica de base de datos y arquitectura de base de datos GSM de 2 niveles.	113
V.3.1. Análisis durante el proceso de origen de llamadas	114
V.3.2. Análisis durante el proceso de entrega de llamadas	117
V.3.3. Análisis de comparación de las arquitecturas de bases de datos al variar la datos movilidad del los usuarios.	120



## **CONTENIDO ( continuación)**

---

	<u>Página</u>
V.3.4. Análisis durante el proceso de registro de terminales	122
V.4. Comparación entre utilización de apuntadores y no en un sistema jerárquico de base de datos para el origen de llamadas.	126
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>131</b>
VI.1. Resumen	131
VI.2. Conclusiones	133
VI.3. Aportaciones	134
VI.4. Recomendaciones para trabajo futuro	135
VI.5. Comentarios	137
<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>139</b>
<b>ANEXO: INTRODUCCION A OPNET</b>	<b>142</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>147</b>

## LISTA DE FIGURAS

---

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
1. Estructura de una red celular	10
2. Arquitectura de una red PCS	12
3. Protocolo de Señalización del sistema GSM	19
4. Formatos de la unidad de señalización	23
5. Diagrama funcional a bloques de la MTP-2	27
6. Diagrama funcional a bloques de la MTP-3	28
7. Estructura del mensaje de la MTP-3	29
8. Estructura básica de la SCCP	33
9. Formato del mensaje de la SCCP	34
10. Formato del mensaje de la ISUP	35
11. Estructura funcional de la ISUP	35
12. Flujo de mensajes para el establecimiento y liberación de una llamada	38
13. Estructura de la TCAP y primitivas	40
14. Formato del mensaje de la TCAP y operaciones de las subcapas	41
15. Comunicación MAP entre dos nodos	44
16. Conexiones del protocolo MAP	46
17. Clasificación de los métodos para administrar la movilidad	52
18. Arquitectura de base de datos de dos niveles	54
19. Registro de localización en GSM	57
20. Origen de llamadas en GSM	61
21. Entrega de llamadas en GSM	63
22. Almacenamiento de información de ubicación por usuario	65
23. Registro de localización utilizando apuntadores de transmisión	67
24. Esquema de Partición	68
25. Utilización de apuntadores en una arquitectura de árbol	69
26. Arquitectura de Base de Datos de tres niveles	71
27. Arquitectura jerárquica de base de datos	72
28. Registro de localización	73
29. Origen de llamadas	76
30. Configuración de apuntadores	80
31. Registro de localización	83
32. Origen de llamada	87
33. Red de referencia GSM-2niveles	88
34. Red de referencia GSM-3niveles	89
35. Funcionalidad SS7 en los nodos de la red	90
36. Modelo de colas para la MTP-2	92
37. Modelo de colas para la MTP-3	92
38. Modelo de colas para la SCCP	92



## LISTA DE FIGURAS (continuación)

---

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
39. Modelo de colas para la ISUP	92
40. Modelo de colas para la TCAP	93
41. Retardo en la red durante el registro de terminales (usuarios pedestres)	103
42. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con baja movilidad.	104
43. Retardo en la red durante el origen de llamadas (usuarios pedestres)	105
44. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas de usuarios pedestres en el caso donde no existe movilidad.	106
45. Retardo en la red durante la entrega de llamadas (usuarios pedestres)	107
46. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de entrega de llamadas de usuarios pedestres en el caso donde no existe movilidad	107
47. Retardo en la red durante el registro de terminales (usuarios en vehículos)	108
48. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con alta movilidad	108
49. Retardo en la red durante el origen de llamadas (usuarios en vehículos)	109
50. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas de usuarios en vehículos en el caso donde no existe movilidad	109
51. Retardo en la red durante la entrega de llamadas (usuarios en vehículos)	110
52. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de entrega de llamadas de usuarios en vehículo en el caso donde no existe movilidad.	110
53. Respuesta de la red al proceso de origen de llamadas en el caso de usuarios con baja movilidad.	114
54. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas en el caso de usuarios con baja movilidad	115
55. Respuesta de la red al proceso de origen de llamadas en el caso de usuarios con alta movilidad.	116
56. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas en el caso de usuarios con alta movilidad.	116
57. Respuesta de la red al proceso de entrega de llamadas en el caso de usuarios con baja movilidad.	118
58. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de entrega de llamadas en el caso de usuarios con baja movilidad.	118
59. Respuesta de la red al proceso de entrega de llamadas en el caso de usuarios con alta movilidad.	119
60. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de entrega de llamadas en el caso de usuarios con alta movilidad.	119

## LISTA DE FIGURAS (continuación)

---

<u>Figura</u>	<u>Página</u>
61. Respuesta de la red al proceso de registro de terminales en el caso de usuarios tráfico de llamadas bajo.	124
62. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con un tráfico de llamadas bajo.	124
63. Respuesta de la red al proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con tráfico de llamadas alto	125
64. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con un tráfico de llamadas alto.	125
65. Retardo en la red durante el origen de llamadas, considerando localidad de llamadas.	127
66. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas en el caso donde se considera localidad de llamadas.	128
67. Retardo en la red durante el origen de llamadas, sin considerar localidad de llamadas.	129
68. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas en el caso donde no se considera localidad de llamadas.	129



## LISTA DE TABLAS

---

<u>Tabla</u>	<u>Página</u>
I. Algunos mensajes de la ISUP	36
II. Funcionalidad en las diversas capas de la SS7	91
III. Tiempo de procesamiento y prioridad para las colas de las capas de la SS7	94
IV. Otros tiempos de procesamiento considerados	95
V. Tráfico debido a usuarios pedestres	102
VI. Tráfico debido a usuarios en vehículos	102
VII. Tráfico máximo soportado debido a usuarios pedestres	111
VIII. Tráfico máximo soportado debido a usuarios pedestres normalizado	111
IX. Tráfico máximo soportado debido a usuarios en vehículo	112
X. Tráfico máximo soportado debido a usuarios en vehículo normalizado	112
XI. Tráfico en la red debido a variaciones en la movilidad	113
XII. Tráfico máximo soportado durante el proceso de origen de llamadas debido a variaciones en la movilidad.	117
XIII. Tráfico máximo soportado durante el proceso de origen de llamadas debido a variaciones en la movilidad (normalizado).	117
XIV. Tráfico máximo soportado durante el proceso de entrega de llamadas debido a variaciones en la movilidad.	120
XV. Tráfico máximo soportado durante el proceso de entrega de llamadas debido a variaciones en la movilidad (normalizado).	120
XVI. Efectos de movilidad sobre el origen de llamadas.	121
XVII. Efectos de movilidad sobre la entrega de llamadas.	121
XVIII. Condiciones de Tráfico de llamadas para evaluar la capacidad de la red durante el registro de terminales.	123
XIX. Tráfico máximo soportado durante el proceso de registro de terminales debido a variaciones en el tráfico de llamadas.	126
XX. Tráfico máximo soportado durante el proceso de registro de terminales debido a variaciones en el tráfico de llamadas (normalizado).	126
XXI. Tráfico máximo soportado durante el proceso de origen de llamadas considerando localidad y no localidad.	130
XXII. Tráfico máximo soportado durante el proceso de origen de llamadas considerando localidad y no localidad (normalizado).	130
XXIII. Comparación entre arquitecturas de base de datos en base al proceso de origen de llamadas considerando localidad y no localidad (normalizado).	130

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE ARQUITECTURAS DE SEÑALIZACIÓN PARA SISTEMAS DE COMUNICACIÓN PERSONAL

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### I.1. ANTECEDENTES

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 hay más de 32 millones de usuarios [Schwarz Da Silva *et al*, 1997].

Los sistemas de comunicación celular han pasado ya por dos primeras etapas de desarrollo. Los sistemas de primera generación se caracterizaron por una baja cantidad de usuarios en la red, el uso de terminales móviles de usuario de regular tamaño, pocos servicios ofrecidos al usuario y una utilización ineficiente del espectro de radio. En los sistemas de segunda generación destaca la utilización de terminales de usuario más ligeras y pequeñas, técnicas digitales de acceso al canal de radio para un mejor uso de los recursos de radio, mayor densidad de usuarios y una gran variedad de servicios disponibles.

Los Servicios de Comunicación Personal (PCS: Personal Communication Services) corresponden a la fase madura de los sistemas celulares de segunda generación y han sido identificados como el camino a seguir para la implantación de los sistemas de tercera generación, actualmente en proceso de especificación y estandarización mundialmente. Los



PCS representan el sector de las telecomunicaciones de mayor crecimiento y uno de los que mayores ingresos económicos generan.

El principal objetivo de los PCS es proporcionar servicios de comunicaciones para todos, en cualquier momento y en cualquier lugar. Esto significa que para los usuarios, el costo del servicio en los PCS debe ser similar al costo del servicio en la red telefónica pública (PSTN: Public Switched Telephone Network). En los PCS los usuarios no se encuentran atados a ninguna conexión física, sino que pueden viajar con sus terminales por toda el área de cobertura de radio de la red, o incluso en las redes de otros proveedores de servicio, y recibir servicio en la manera acostumbrada sin ninguna diferencia apreciable. La red es responsable de seguir la pista de los usuarios a medida que ellos se mueven dentro del área de servicio de la red con el objeto de entregarles llamadas entrantes y para ofrecerles los servicios suscritos en el lugar de su actual ubicación.

Actualmente el mundo se encuentra en una era de revolución inalámbrica. Se espera que para el año 2005 existan más de 40 millones de nuevos usuarios PCS, agregándose a los usuarios celulares existentes, anticipando un total de entre 100 y 500 millones de teléfonos inalámbricos a nivel mundial [Garg, Vijay K. *et al*, 1996].

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Para llevar a cabo un mejor manejo de la movilidad de los usuarios y la provisión de servicios extendidos, se han introducido recientemente en la arquitectura de los PCS el Sistema de Señalización Número 7 (SS7: Signaling System Number 7) y la arquitectura de

Red Inteligente (IN: Intelligent Network). El SS7 proporciona el transporte de mensajes de señalización en la red, mientras que la IN permite la rápida provisión de nuevos servicios, el soporte de servicios extendidos y consolida la separación de las funciones de transporte y control de servicios en la red. Ambos conceptos ya han demostrado gran utilidad en la PSTN, pero ahora en un ambiente móvil, los retos impuestos sobre los elementos que conforman la arquitectura de la IN son mayores. Esto se debe a que la movilidad de los usuarios incrementa la cantidad y la complejidad de los procedimientos que son necesarios en la red a fin de proporcionarles servicio.

Estudios recientes [Meier-Hellstern Kathleen *et al*, 1992] revelan que la información de señalización que es necesaria en PCS para realizar los procesos de actualización de ubicación, origen y entrega de llamadas podría llegar a ser de 4 a 7 veces mayor que en los sistemas celulares y de 5 a 11 veces mayor que en la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) debido al incremento de usuarios. Además del ambiente de servicio heterogéneo existente en los sistemas PCS, otra característica importante que lo distingue de los sistemas celulares tradicionales es que proporcionarán una mayor diversidad de aplicaciones como son servicios multimedia, y por tanto se necesitarán más recursos para establecer y controlar este tipo de llamadas. Estas características introducirán nuevos retos en el sistema de administración y dos de los más importantes serían; el incremento del tráfico de señalización y los frecuentes accesos y actualizaciones a las bases de datos de la red.



Como se puede observar es necesario utilizar en los Sistemas de Comunicación Personal un mecanismo que ayude en la localización de usuarios, con el fin de realizar la entrega de llamadas de manera exitosa. Los métodos actuales utilizados en la administración de la movilidad como IS-41 (utilizado en Norte América), GSM MAP (utilizado en Europa), entre otros, requieren que cada suscriptor reporte su ubicación a la red periódicamente. La red almacena la información de ubicación de cada usuario en bases de datos de localización, y se recupera durante la entrega de llamada. Los métodos actuales para administrar la movilidad emplean una arquitectura de base de datos centralizada, que con el tiempo se volverá ineficiente y será necesario la presencia de nuevos y mejores esquemas que puedan soportar de manera efectiva el continuo incremento de servicios y de usuarios PCS [Akyildiz Ian F.,1996].

### **I.3. OBJETIVOS DE LA TESIS**

Realizar investigación en las diferentes técnicas de administración de movilidad de usuarios. Analizar, modelar, simular e investigar las principales topología utilizadas y propuestas para la red de señalización de un sistema PCS, con el fin de reducir los tiempos de respuesta debido al tráfico de señalización. Para ello se analizará el impacto que tiene el incremento de tráfico de señalización en las bases de datos de un sistema PCS. Principalmente se evaluará el retardo extremo a extremo experimentado por cada uno de los servicios asociados con las funciones de administración de movilidad que la IN debe realizar.

#### **I.4. METAS DEL TRABAJO**

Se estudiará el desempeño de la red de señalización utilizada en PCS bajo tres situaciones distintas: La primera se caracteriza por tener un sistema de base de datos de dos niveles; mientras que las otras dos están constituidas por una arquitectura de tres niveles.

Esto permitirá comparar las ventajas y desventajas que se obtienen en las redes PCS en cada una de éstas tres situaciones.

#### **I.5. ALCANCES DE LA TESIS**

A partir del objetivo , los alcances de la tesis se acotaron a lo siguiente:

- Modelar, implementar y evaluar el desempeño de una arquitectura de base de datos de tipo jerárquica para la administración de la movilidad de usuarios en un sistema PCS.
- Comparar la arquitectura propuesta con los sistemas de administración de movilidad existentes.
- Especificar en detalle los diferentes elementos de la red de señalización y plantear diversas condiciones de tráfico donde el patrón de movilidad sea el factor que permita realizar un análisis de sensibilidad de una red PCS.
- Establecer y desarrollar modelos de simulación (utilizando el lenguaje de simulación orientado a comunicaciones OPNET) de una red PCS.

#### **I.6. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO**

Este trabajo de tesis está organizado como sigue. En el capítulo II se presenta la arquitectura de un Sistema de Comunicación Personal bajo el estándar GSM. Se menciona su arquitectura de red haciendo énfasis en el subsistema de Aplicación Móvil, necesarios



para un mejor entendimiento de la tesis. Además se realiza un estudio del Sistema de Señalización SS7. El SS7 es la tecnología que permite el proporcionar servicios de Red Inteligente, RDSI y servicios de Redes Móviles entre otros.

El capítulo III contiene un resumen de los conceptos básicos necesarios para entender el funcionamiento de una red PCS, se evita en lo posible el hablar acerca de la interfaz al canal de radio para no desviar la atención del tema de estudio; se estudia en detalle el protocolo GSM, que proporciona la operación entre sistemas de distinto proveedor de servicios para asegurar la provisión de los servicios a los usuarios en los PCS. En el capítulo IV se presenta la metodología utilizada para el modelado de las redes PCS.

En el capítulo V se presenta el plan para el diseño de las corridas de la simulación, y se presentan los resultados obtenidos a partir de las simulaciones. Se presenta también un análisis comprensivo e interpretación de los resultados.

En el capítulo VI se presentan las conclusiones del trabajo y se establecen extensiones y mejoras que podrían hacerse a este trabajo en un futuro, así como otros posibles trabajos que podrían ser realizados a partir de los fundamentos teóricos, los modelos y los resultados presentados en este trabajo.

Posteriormente se presentan las referencias a la literatura en la cuál se fundamentó el trabajo. Al final del trabajo está un apéndice que resume las mayores características del lenguaje de simulación orientado a comunicaciones OPNET, que fué utilizado para implementar los modelos de simulación propuestos en este trabajo y por último se incluye un glosario de los términos empleados en el trabajo.

## CAPÍTULO II. ARQUITECTURA DE GSM

### II.1. INTRODUCCIÓN

La comunicación celular ha estado experimentando un gran crecimiento en años recientes. Esta gran aceptación de las comunicaciones celulares ha permitido el desarrollo de una nueva generación de redes de comunicaciones móviles, conocida como Servicios de Comunicación Personal (PCS).

La característica principal de estos sistemas, es que pueden tener el control de una gran cantidad de usuarios móviles al mismo tiempo que proporcionan nuevos servicios, los cuales no se encuentran disponibles para los sistemas celulares tradicionales.

En los Servicios de Comunicación Personal los usuarios son provistos de pequeñas terminales inalámbricas desde las cuales pueden hacer y recibir llamadas en una manera similar a como lo hacen los usuarios de la red pública (PSTN: Public Switched Telephone Network), sin embargo, a diferencia de ellos, los usuarios del sistema PCS no se encuentran atados a ninguna conexión física; es decir, los usuarios pueden desplazarse libremente con sus terminales por toda el área de radio-cobertura de la red (o incluso en otras redes PCS que posiblemente sean operadas por otros proveedores de servicio) y tener acceso a los servicios que ellos han contratado independientemente de su ubicación.



### II.1.1. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES

La evolución de los sistemas celulares ha sido posible gracias a los avances logrados en diversas áreas de la electrónica.

- **Sistemas analógicos:** Los sistemas radio celulares se puede considerar como la versión más temprana de las comunicaciones personales inalámbricas. El diseño del sistema celular fue explorado durante los años 70's por los Laboratorios Bell en los Estados Unidos. Los sistemas de primera generación, utilizaban terminales voluminosas y hacían poco eficiente el uso del espectro de radio. Se asignó al servicio radio móvil un total de 50 MHz en las bandas de 824-849 MHz y 869-894 MHz. Entre los sistemas de primera generación destacan el Sistema Telefónico Móvil Avanzado (AMPS: Advanced Mobile Phone System) utilizado en Norteamérica, el Sistema de Comunicaciones de Acceso Total (TACS: Total Acces Communication System) de la Gran Bretaña, el Sistema Telefónico Móvil Nórdico (NMT: Nordic Mobile Telephone) utilizado en Escandinavia y el Sistema Alemán C450.
- **Sistemas digitales:** Los sistemas de segunda generación surgieron para superar algunas de las limitaciones de los sistemas de primera generación. La premisa fue lograr una mayor capacidad en los sistemas y con ello reducir los costos. Los motivos principales para cambiar a la tecnología digital en los sistemas celulares son el incremento en la capacidad del sistema, la reducción en el tamaño de la unidad móvil, y los requerimientos de potencia. Los sistemas de segunda generación se caracterizan por la utilización de técnicas digitales en diversos subsistemas de transmisión incluyendo una

eficiente codificación de la voz, códigos para la detección y corrección de errores y técnicas de modulación digitales eficientes. La digitalización permite el uso del Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y del Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) [Melgarejo Lomelin, 1998].

En Europa debido a la existencia de varios sistemas de primera generación incompatibles, se vislumbró la oportunidad de introducir un sistema de segunda generación que unificase a los sistemas de primera generación existentes. De hecho, los Europeos proyectaron un sistema digital nuevo e incompatible con los ya existentes para el cual se asignaron frecuencias específicas. El resultado de todo este proyecto fue la introducción del mayor exponente de los sistemas de segunda generación existentes: El Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM: Global System for Mobile Communications) que a la fecha ha sido adoptado por más de 50 países en el mundo.

GSM representa el estado del arte del diseño de redes celulares. Fue especificado por el Instituto de Estándares de Telecomunicaciones Europeo (ETSI). GSM ofrece una amplia gama de servicios, y a los usuarios la posibilidad de desplazarse (roaming) entre redes de diferentes proveedores. Para lograr esto, la especificación GSM define en gran detalle el uso de la interface de radio, permitiéndole al equipo móvil comunicarse con cualquier red GSM.

El término PCS se aplica a aquellos sistemas que son el fruto de la evolución de los sistemas celulares de segunda generación y se caracterizan por la coexistencia de usuarios con alta y baja movilidad y una capacidad superior del sistema de red. Los PCS pretenden



permitir además de servicios de telefonía, el intercambio de información multimedia (datos, imágenes, fax y video). Estos sistemas se perfilan como el camino a seguir para la implementación de los sistemas celulares de tercera generación actualmente en proceso de especificación y estandarización a nivel mundial.

## II.2 ESTRUCTURA DE UNA RED CELULAR

En la figura 1 se representa una red con estructura celular [Jabbari Bijan, 1992]. El área de cobertura de los sistemas PCS se encuentra dividida en Áreas de Localización (LA: Location Area). Cada una de estas LA's consta de pequeñas regiones llamadas células. En cada célula se encuentra instalada una Estación Base (BS: Base Station), la terminal móvil (MT: Mobile Terminal) se comunica dentro de la célula con dicha estación a través de una enlace inalámbrico. Las funciones principales de la estación base son las de localizar a un usuario móvil, entregarle llamadas y atenderle cuando las origina. Para ello se apoya en mecanismos de búsqueda dentro de la célula a la que sirve. Los límites de una célula están determinados por la potencia de transmisión de su estación base, células adyacentes podrían sobreponer sus señales en las áreas donde los límites están muy juntos.



Figura 1. Estructura de una red celular

Las LA's permiten al sistema rastrear al usuario durante su desplazamiento dentro de la red, la ubicación del usuario es conocida siempre y cuando el sistema conozca el LA en la cual el usuario se encuentra. Cuando el sistema desea establecer una comunicación con la MT (para entregar una llamada), la búsqueda solo ocurre en la LA actual del usuario. Por lo tanto, el consumo del recurso está limitado a esa LA; los mensajes de búsqueda son únicamente transmitidos en las células de esta LA en particular.

### **II.3 ESTRUCTURA DE UNA RED GSM**

En muchas formas GSM se basa en los principios de las Redes Inteligentes (IN: Intelligent Networks), marcando diferencia en los aspectos de servicio y de control. El sistema GSM está diseñado básicamente como una combinación de tres subsistemas principales: el subsistema de red, el subsistema de radio y el subsistema de operaciones. En la figura 2 se muestran los elementos de la IN y de la red GSM más relevantes que constituyen esta arquitectura.

#### **II.3.1 TERMINAL MÓVIL (MT)**

Este es el equipo físico utilizado por un usuario, el cual puede ser portátil o de mano. Comprende dos partes principales: el Módulo de Identidad de Usuario (SIM: Subscriber Identity Module) y la parte de Equipo Móvil (ME: Mobile Equipment). El SIM actúa en procedimientos de seguridad y confidencialidad, el cual garantiza la autenticidad de un usuario en particular y además mantiene privacidad de la información transportada

sobre la interfaz de radio. La función principal del SIM es la de identificar al usuario actual de una MT. Para este propósito almacena de manera permanente una Identificación de Usuario Móvil Internacional (IMSI: International Mobile Subscriber Identity); el cual identifica la red GSM a la que pertenece el usuario. El IMSI es utilizado por el SIM durante el establecimiento de llamada y procedimientos de movilidad, tal es el caso de la actualización de la ubicación.

El Equipo Móvil contiene las funciones de procesamiento de señal y de radio necesarias para establecer una llamada y hacer uso de los servicios GSM. Dependiendo de la aplicación del equipo móvil este puede tener interfaces a equipo terminal externo, tales como computadoras o máquinas de fax.

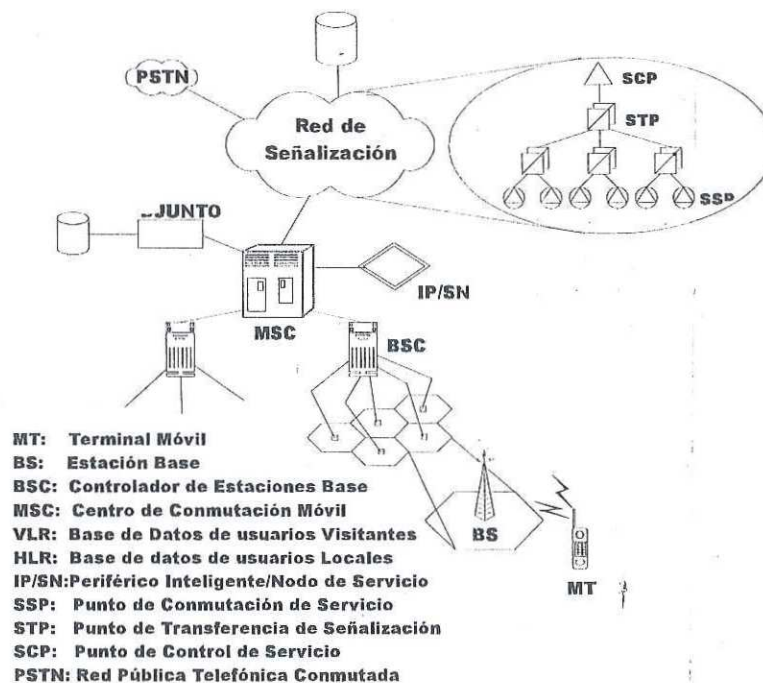


Figura No.2 Arquitectura de una red PCS



### II.3.2 ESTACIÓN BASE (BS)

Tiene la responsabilidad de retransmitir señales de radio entrantes y salientes de cada unidad móvil sobre una interfaz aérea dentro de la célula. Podríamos considerarlo como un radio-módem muy sofisticado. Para llevar a cabo estas funciones, las señales son codificadas, encriptadas, canalizadas, moduladas y posteriormente alimentadas al sistema de la antena.

### II.3.3 CONTROLADOR DE ESTACIÓN BASE (BSC)

En la figura 2, podemos observar que un Controlador de Estaciones Base (BSC) atiende a un cierto número de Estaciones Base. La función principal del BSC es la de mantener los recursos de radio de sus Estaciones Base; tales como la asignación y el desempeño de los canales de radio. En términos de tráfico, el BSC actúa como un concentrador, proporcionando conmutación local al efectuar los procesos de traspaso de llamada (*hand-over: Procedimiento de movilidad terminal, el cual re-enruta una llamada a una nueva Estación Base a la que está ingresando un suscriptor con una llamada en progreso. Esto permite satisfacer los requerimientos en la calidad de voz y datos*) entre BS's. El BSC controla la transmisión de varios sistemas de información sobre la interfaz de radio, incluyendo Códigos de Área de Localización (LAC: Location Area Code), detalles de configuración en los canales de señalización e información de células vecinas. Además es responsable de la programación de mensajes de radio-búsqueda (paging) cuando se necesita entregar llamadas a los usuarios.

### **II.3.4 CENTRO DE CONMUTACIÓN MÓVIL (MSC)**

La función principal del Centro de Conmutación Móvil es la de manejar la comunicación entre usuarios de la red GSM y usuarios de otras redes de telecomunicaciones. El MSC desempeña las funciones de conmutación, requeridas por la MT localizada dentro de una Area de Localización. En el nivel jerárquico superior, varios BSC son conectados a un MSC, el cual monitorea la movilidad de sus usuarios, manejando los recursos necesarios para controlar los procesos de registro y actualización de la ubicación. Coordina el establecimiento de llamadas para y desde todos los usuarios operando en esa área. Además está involucrado en las funciones de interoperabilidad para comunicarse con otras redes tales como la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN) y la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN).

### **II.3.5 REGISTRO DE LOCALIZACIÓN DE USUARIOS VISITANTES (VLR)**

El VLR es la unidad funcional que almacena dinámicamente información de usuario, tal como área de localización. Es una base de datos que almacena (en una base temporal) la información necesaria para manejar las llamadas originadas y recibidas por la MT dentro de su área de responsabilidad; debido a que cada VLR tiene a su cargo una LA. Además está involucrado en los procesos de administrar la seguridad y movilidad de los usuarios dentro de la red GSM. Los datos almacenados por el VLR son: Identidad de Usuario Móvil Internacional (IMSI), Código de Area de Localización (LAC), detalles

deencripción y autenticación; así como también los servicios a los que los usuarios se encuentran registrados actualmente.

El VLR participa en varios procedimientos para la administración de la movilidad, por ejemplo realizar la búsqueda de los usuarios cuando tienen llamadas entrantes para ellos y transferir información del área de localización a otras entidades de la red. A pesar de que se consideran entidades diferentes dentro de la red, el MSC y el VLR son implementados como una sola unidad.

### **II.3.6 REGISTRO DE LOCALIZACIÓN DE USUARIOS LOCALES (HLR)**

Esta base de datos es responsable de la administración del registro de todos los usuarios móviles pertenecientes a la red y del control de ciertos servicios, principalmente aquellos involucrados en las llamadas entrantes. La información que almacena esta base de datos es acerca de los servicios portadores y suplementarios a los que el usuario tiene derecho a utilizar, además de la información de ubicación, la cual permite el enrutamiento de llamadas entrantes hacia el usuario; por ejemplo, cual MSC o VLR está proporcionando servicio actualmente a dicho usuario. Algunos datos son permanentes; esto es, son modificados únicamente por razones administrativas, mientras que otros son temporales y son modificados automáticamente por otras entidades de la red, dependiendo de los movimientos y acciones desempeñadas por los usuarios.



Cuando el usuario entra en una nueva LA a la cual no pertenece, el usuario se convierte automáticamente en un “visitante “ (visitor) de esa LA. La base de datos VLR de esta LA, es utilizada para almacenar información de usuarios visitantes. Una vez que se ha registrado la información del visitante en la VLR, esta última notifica al HLR la nueva dirección que tiene el usuario.

### II.3.7 ELEMENTOS DE LAS RED GSM BASADA EN PRINCIPIOS DE LA IN

- *La combinación Periférico Inteligente/Nodo de Servicios (IP/SN)* proporciona anuncios de voz personalizados a los usuarios indicándoles acciones a realizar como marcación de nuevos dígitos, causas por las que la llamada o servicio no ha sido completada, etc. También se proporciona el reconocimiento de voz y la colección de dígitos.
- *El Punto de Conmutación de Servicios (SSP)* tiene la capacidad para detectar servicios que requieren procesamiento de red inteligente y se comunica con otros elementos de la red para el procesamiento de éstos servicios.
- *El Punto de Control de Servicios (SCP)* posee programas de servicio lógico y datos para procesar servicios de red inteligente; el SCP también tiene acceso a la base de datos Registro de la Localización de los Usuarios Locales (HLR: Home Location Register) de la red y a la base de datos Autenticación.
- *El Punto de Transferencia de Señalización (STP)* es un conmutador de paquetes que forma parte de la SS7 y su función es interconectar diversos SSP con el SCP.

- *El adjunto (ADJ)* cuya funcionalidad es muy similar a la del SCP pero éste se conecta directamente al SSP (es decir no requiere de la SS7). El adjunto tiene acceso a la información de la base de datos Registro de la Localización de Usuarios Visitantes (VLR: Visitor Location Register) de la red.

Los elementos de la IN de esta arquitectura se comunican utilizando las facilidades del SS7.

#### II.4. PROTOCOLO DE SEÑALIZACIÓN GSM

La señalización es el intercambio de mensajes que se efectúa entre los diferentes elementos que conforman una Red de Telecomunicaciones (RT) con el propósito de:

- Establecer, mantener y liberar una conexión entre dos o más usuarios de esta red.
- Seleccionar la ruta de transporte más conveniente para conectar los usuarios.
- Proporcionar información de la situación de los usuarios y recursos.
- Realizar las funciones de manejo y operaciones de la red (como por ejemplo, tarificación, reporte de fallas, configuración de la red, etc.).

La señalización en una RT se compone de la señalización de acceso y la señalización de troncal (señalización dentro de la red). La primera permite al usuario expresar su deseo de servicio a la red, así como el tipo y la calidad de éste. La segunda es utilizada dentro de la red misma para establecer las trayectorias de comunicación entre usuarios y para la provisión de servicios avanzados. El tipo de señalización de interés en este trabajo es la señalización de troncal.

Las técnicas de señalización de troncal han evolucionando con el desarrollo de las tecnologías modernas. El tipo de señalización de troncal que satisface los requerimientos actuales de desempeño, confiabilidad y seguridad de las RT actuales es la Señalización por Canal Común (CCS: Common Channel Signaling). El SS7 definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU International Telecommunication Union) en sus recomendaciones Q.7XX [CCITT, 1989], es el mayor exponente de los sistemas de CCS actualmente. El SS7 es el principal elemento para dar apoyo a un gran número de aplicaciones (gran parte de ellas de reciente aparición) en las RT incluyendo desde el control de llamada en la interconexión de oficinas en una Red Digital de Servicios Integrados, hasta servicios de IN y Telefonía Móvil.

#### **II.4.1. ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO SS7 EN GSM**

Considerando el modelo OSI, el sistema de señalización de GSM, el cual se basa en el Sistema de Señalización No.7 (SS7); es esencialmente un sistema de comunicaciones con una estructura en capas, que se distingue de otros sistemas de comunicaciones de datos por su gran desempeño en tiempo real y sus requerimientos de confiabilidad [Jabbari Bijan, 1991]. No importa lo complejo que sea el conjunto de las interacciones de la red para establecer una llamada, el tiempo de establecimiento de llamada debe ser menor a 2 segundos, esto impone un estricto control sobre el retardo extremo a extremo de los mensajes de señalización. Respecto a la confiabilidad de la red, los requerimientos (integridad de los mensajes, disponibilidad extremo a extremo, robustez de la red, recuperación ante fallas, etc.) son muy demandantes.



En la figura 3 se muestran los elementos principales de un sistema GSM como barras verticales, como ya se mencionó este protocolo es consistente con el modelo OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos), el cual se muestra a la izquierda de la figura.

En la capa física, la interfaz aérea utiliza transmisiones de radio frecuencia (RF). Esta interfaz se encuentra entre la BS y el BSC utilizando un canal de 64 Kbps, ya sea por fibra óptica, cable o enlace de microondas. Todas las demás interfaces utilizan la capa MTP-1 de la SS7 con canales operando a una tasa de 64 Kbps y el medio puede ser cable coaxial, cable par trenzado o fibra óptica.

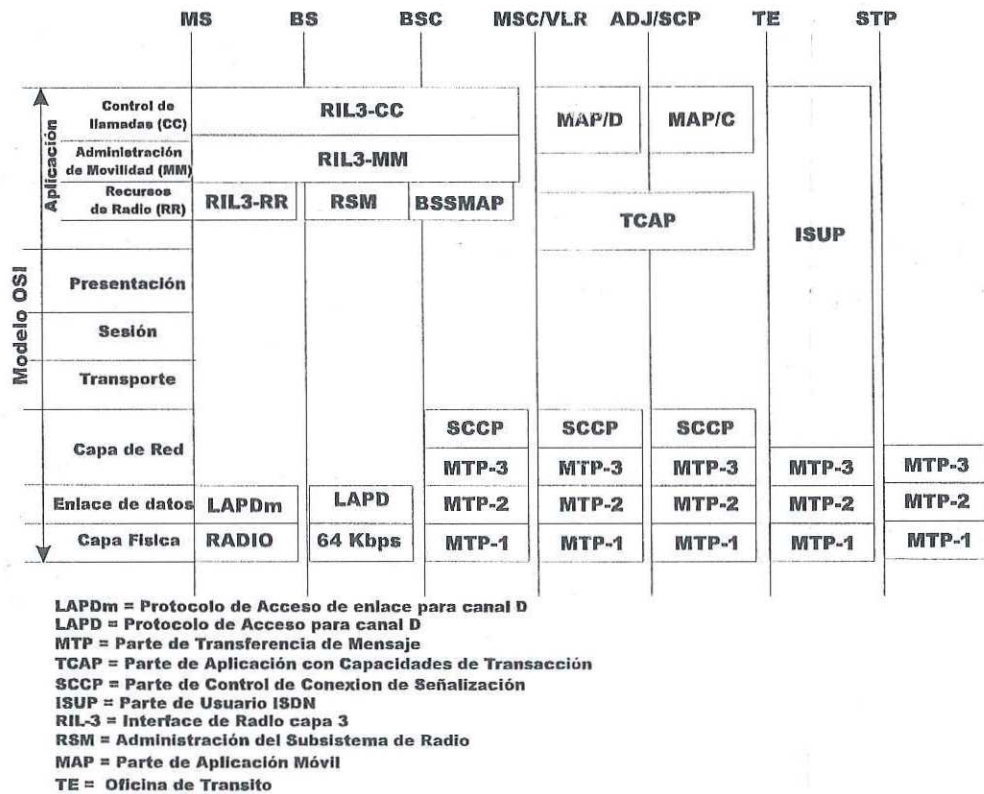


Figura 3. Protocolo de Señalización del sistema GSM

La Parte de Transferencia de Mensajes (MTP: Message Transfer Part) (comprendida por las partes MTP-1, MTP-2 y MTP-3) proporciona un servicio confiable (sin pérdida ni duplicaciones) tipo datagrama (es decir, sin conexión) para la transferencia de mensajes de señalización a través de la red desde la fuente (SP de la red en donde el mensaje de señalización se originó) hasta su destino. La MTP por si sola no proporciona toda la funcionalidad de los tres primeros niveles de la OSI, esto se debe a que fue concebida teniendo en mente las necesidades de ejecución en tiempo real de algunas aplicaciones como la telefonía.

Para satisfacer los requerimientos de otras aplicaciones que precisan de toda la funcionalidad del nivel 3 de la OSI (por ejemplo las funciones para el manejo de la red), se creó la Parte de Control de la Conexión de Señalización (SCCP: Signaling Connection Control Part). La SCCP mejora la capacidad de direccionamiento de la MTP y además proporciona el apoyo a circuitos virtuales. A la combinación de la MTP y la SCCP se le conoce como Parte de Servicio de Red (NSP: Network Service Part).

La Parte del Usuario ISDN (ISUP: ISDN User Part) proporciona las funciones de la capa 4 a la 7 del modelo OSI. Realiza las funciones de señalización necesarias para soportar operaciones relacionadas con el control de llamada y servicios ISDN suplementarios. La expresión "Parte del Usuario ISDN" quiere decir que la ISDN es usuario de los niveles inferiores del SS7 (ya sea MTP ó NSP).

La capa de Aplicación de la SS7 tiene a su cargo varias subcapas específicas en el sistema GSM. La capa 3 de Interfaz de radio (RIL-3), establece y libera conexiones de radio

entre una MT y varios BSC's durante el progreso de una llamada, sin imponer los movimientos del usuario. La administración del subsistema de Radio (RSM: Radio Subsystem Management) proporciona funciones de administración de recursos entre la BS y el BSC. Otra de las subcapas es la Parte de Aplicación de Administración del BSS (BSSMAP), la cual proporciona el control entre el BSC y el MSC.

La Parte de Aplicación con Capacidades de Transacción (TCAP: Transaction Capabilities Application Part), equivale al nivel 7 de la OSI y proporciona un conjunto de operaciones *tipo transacción* que pueden utilizarse por la parte de aplicación en un nodo, para invocar la ejecución de un procedimiento en otro nodo y para comunicar el resultado de tal invocación, ésta característica es pieza clave para la provisión de los servicios de IN. Además de los protocolos, anteriormente mencionados, existe otro protocolo conocido como Parte de Aplicación Móvil (MAP: Mobile Application Part), el cual es utilizado entre el MSC, VLR y HLR en forma de mensajes de pregunta y respuesta.

#### II.4.2. MTP-1

La capa MTP-1 especifica las características físicas, eléctricas y funcionales del canal de comunicación que interconecta entre sí los elementos de la red de señalización. Es responsable de la transmisión física de los ceros y unos en el medio, y contiene las especificaciones con respecto al tamaño y forma de los pulsos. Existen esencialmente dos tipos de canales de comunicación en GSM, llamados de tráfico y de señalización. La transmisión del tráfico de datos de cada usuario sobre el canal se efectúa a una velocidad de



16 Kbps. El tráfico de señalización es un canal digital bidireccional operando a 64 kbps (en la especificación de la ITU) ó 56 kbps (en la especificación de la ANSI) y dedicado exclusivamente para el uso de SS7. Los canales de comunicación pueden ser terrestres o satelitales. Los enlaces son proyectados de modo que sean utilizados [Stallings William, 1995] sólo hasta en un 40% de su capacidad por los mensajes de señalización de usuarios (capas superiores) de manera que ellos puedan manejar el tráfico de otros enlaces en caso de falla. Se pueden agrupar hasta 36 enlaces de señalización entre dos nodos de la red si el tráfico de señalización entre nodos adyacentes así lo amerita [CCITT, 1989].

#### **II.4.3. MTP-2**

El proposito principal del protocolo de la capa 2, es el de proporcionar conexiones de enlace para el intercambio de mensajes de señalización entre las diferentes entidades, las cuales pueden ser: MT, BSC, BS, MSC, VLR, HLR. En el sistema GSM se utilizan tres tipos de protocolos de la capa 2: Canales de señalización para el protocolo de acceso de enlace en la interface aérea (LAPDm), LAPD en la interface A-bis y la capa MTP-2. Los protocolos LAPDm, utilizados entre el usuario móvil y la BS, y el LAPD utilizado en el BSS (BS+BSC), son similares al protocolo de ISDN. Sin embargo, el LAPDm, toma ventaja de la transferencia de información sincronizada para evitar el uso de banderas y además incrementar la velocidad de operación y protección contra errores.

La MTP-2 realiza las funciones correspondientes a la capa 2 del modelo OSI, se utiliza un protocolo orientado a bit muy similar al HDLC (High-level Data Link Control)

para el control del enlace de datos en la transferencia de Unidades de Señalización (SU: Signaling Unit) entre nodos adjuntos de la red (las SUs corresponden a las “tramas” de HDLC), pero a diferencia de éste, en la MTP-2 se establecen funciones para el monitoreo de la calidad de los enlaces que permitan a la red reaccionar en caso de retardos excesivos que llegasen a experimentar los mensajes de señalización y en caso de fallas (ya sea de enlaces o nodos) de la red de señalización. La figura 4 muestra el formato de las SUs de la MTP-2. Hay 3 clases de SUs: La Unidad de Mensajes de Señalización (MSU: Message Signaling Unit), la Unidad de Estado del Enlace de Señalización (LSSU: Link Status Signaling Unit) y la Unidad de Señalización de Relleno (FISU: Fill-In Signaling Unit).

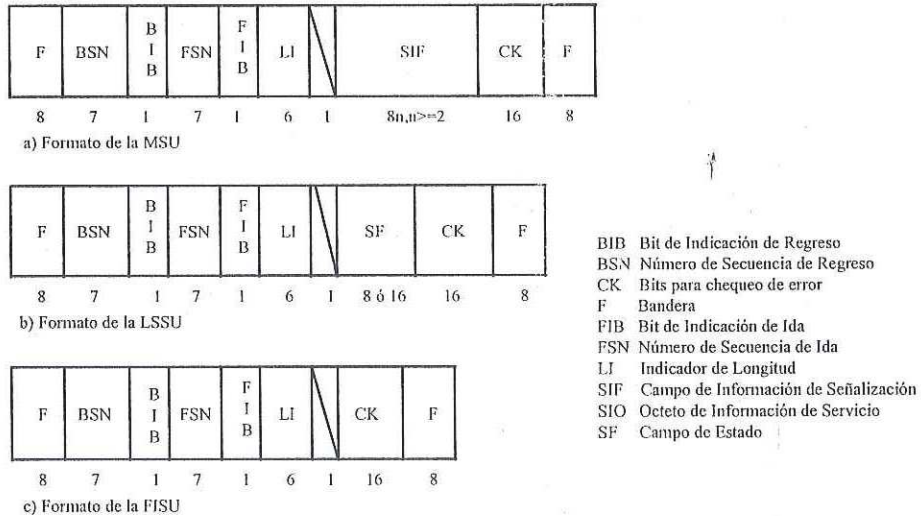


Figura 4. Formatos de la unidad de señalización

Las MSUs se encargan del transporte de la información de señalización de los usuarios de la capa MTP-2 (es decir transportan la información de la MTP-3). Las LSSUs

transportan información acerca del estado del enlace de señalización. Las FISUs son enviadas cuando no hay MSUs ni LSSUs para enviar, se utilizan para proporcionar reconocimientos de MSUs y para ayudar a determinar la calidad del enlace de comunicaciones y tomar las acciones necesarias a tiempo (como aislar enlaces, redireccionar tráfico, etc.).

Los 3 tipos de SUs tienen en común los siguientes campos:

***Banderas (F: Flags).*** (8 bits) Delimitan el inicio y fin de las SUs por medio de un patrón único (01111110). Para asegurar que no ocurra este patrón dentro de la SU, se utiliza la técnica de inserción "0" donde antes de la transmisión se revisa a la SU de tal modo que inmediatamente después de cualquier ocurrencia de cinco 1's consecutivos en el cuerpo de la SU es insertado un 0. En el receptor luego de haber detectado y removido las banderas, se eliminan los 0's que ocurran luego de cinco 1's consecutivos. De esta manera se logra recuperar la información.

***Números de Secuencia de Ida y Regreso (FSN: Forward Sequence Number y BSN: Backward Sequence Number).*** (7 bits c/u) Ayudan para ejercer el control de flujo y control de error de SUs entre dos nodos que comparten un enlace de datos de señalización entre sí. El FSN representa el número de secuencia de la MSU actualmente transmitida y el BSN representa el número de secuencia de la MSU que está siendo reconocida. Por cada MSU transmitida (recibida) se incrementa el FSN (BSN) en una unidad utilizando módulo 128.



En un instante dado no más de 127 MSUs pueden estar sin ser reconocidas (el tamaño de ventana es 127). Las LSSUs y las FISUs llevan el FSN de la última MSU que se transmitió.

**Bits de Indicación de Ida y Regreso. (FIB: Forward Indicator Bit y BIB: Backward Indicator Bit).** (1 bit c/u) Sirven para diferenciar una transmisión normal de una retransmisión. Si la SU transmitida es una transmisión normal el FIB es puesto a 0; si se trata de una retransmisión el FIB se pone a 1. Similarmente, cuando se reconoce una SU debida a una transmisión normal el BIB se pone a 0; cuando se reconoce una SU debida a una retransmisión se pone a 1 el BIB.

**Indicador de Longitud (LI: Length Indicator).** (6 bits) Es el mecanismo utilizado para diferenciar entre los 3 tipos de SUs. Cuando el LI tiene valor de 0 indica una FISU, un valor de 1 ó 2 indica una LSSU y un valor mayor a 2 indica una MSU. Cuando el tamaño del campo SIF de la MSU es mayor a 63 octetos (máximo número que se puede expresar con 6 bits) LI se pone en 63. La máxima longitud del campo de datos de una MSU es 272 octetos, este número fue escogido para evitar largos retardos en la transmisión de los mensajes dada la limitada capacidad de los enlaces (64 ó 56 kbps).

**Bits para el Chequeo de Error (CK: Check Bits).** (16 bits) Se generan a partir de la SU (utilizando para ello un polinomio generador) y se agregan a ésta en la transmisión antes de insertar las banderas y efectuar la inserción positiva, su propósito es la detección de errores.

En el receptor luego de remover las banderas se utiliza el mismo polinomio generador en busca de errores de transmisión.

De manera adicional las MSUs incluyen el Campo de Información de Señalización (SIF: Signaling Information Field) que contiene la información misma de capas superiores (MTP-3), esta información no es procesada por los protocolos de capa 2 sino más bien sólo es transportada.

Las LSSUs incluyen un campo denominado Campo de Estado (SF: Status Field) por medio del cuál se pueden reportar diversas fallas como pérdidas de alineamiento, enlaces fuera de servicio, falla de procesador y ocupado.

Un diagrama a bloques que ilustra las funciones realizadas por la MTP-2 se presenta en la figura 5. Estas funciones se explican en seguida.

Para la *delimitación y alineamiento de tramas* se utilizan las banderas en la forma que ya se ha mencionado. Se considera que se ha perdido alineamiento cuando ocurre en la SU un patrón no permitido (por ejemplo más de cinco 1's consecutivos) ó cuando la longitud de la SU (especificada por el campo LI) no coincide con la longitud de la SU de la trama en cuestión. La *detección de errores* se realiza por medio de los bits para chequeo de error tal y como ya se ha mencionado. El *control de transmisión y el control de recepción* implementan la técnica de control de flujo y control de error (basándose en gran medida en los campos FSN, RSN y CK) conocida como *regresa n* (go-back-n); en presencia de errores todas las SUs no reconocidas deben ser retransmitidas. Se utilizan una serie de temporizadores para asegurar que el retardo de las SUs sea menor al máximo permitido. Un

nodo puede ejercer control de flujo al detener el envío de reconocimientos de las SUs recibidas. *El control de congestión en enlaces* se ejercita cuando un receptor nota en un enlace alguna condición de congestión, para ello el receptor comienza a transmitir periódicamente Indicaciones de Estado Ocupado (SIB: Status Indication Busy) (usando para ello SUs tipo LSSU) al transmisor a intervalos de (TA) 80-120 ms. La primer SIB recibida activa un temporizador (TB) (3-6 segundos). Si la congestión cesa antes que TB expire, se sigue operando normalmente, de lo contrario se declara el enlace como fallo. El *control del estado del enlace* se realiza de la siguiente manera, existe un contador que se incrementa en uno cada vez que se recibe una SU con error (es decir una SU que no pasa la prueba de chequeo de error) y se decrementa en uno por cada 256 SUs recibidas correctamente. Si el contador excede un valor "umbral", entonces se toman las medidas para declarar el enlace como fallo por excesivo número de errores en la transmisión (entre éstas medidas está por ejemplo el informar a las funciones de manejo del enlace de capa 3 de la situación).

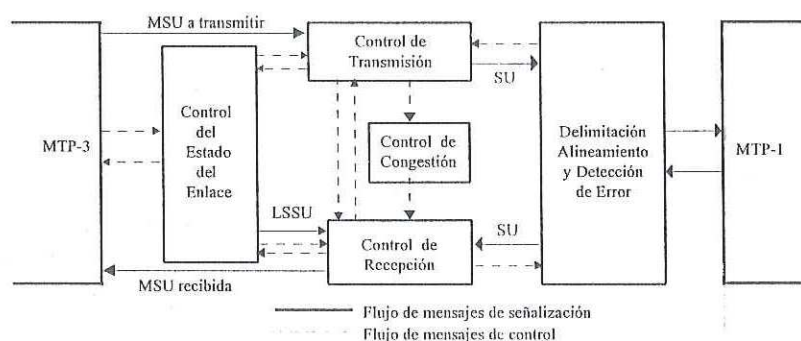


Figura 5. Diagrama funcional a bloques de la MTP-2



#### II.4.4. MTP-3

La capa MTP-3, está diseñada con el propósito de realizar funciones de enrutamiento de mensajes así como también para la operación y mantenimiento de la red.

Esta capa realiza 2 funciones importantes (ver figura 6), la función de Manejo de los Mensajes de Señalización y la función de Manejo de la Red de Señalización. La primera se encarga del enrutamiento de los mensajes de señalización a través de la red y la segunda realiza funciones de reconfiguración de la red en caso de fallas o congestión.

La estructura de los mensajes de la capa MTP-3 asociados a éstas funciones se muestra en la figura 7. Los aspectos relevantes de ambas figuras son explicados en seguida.

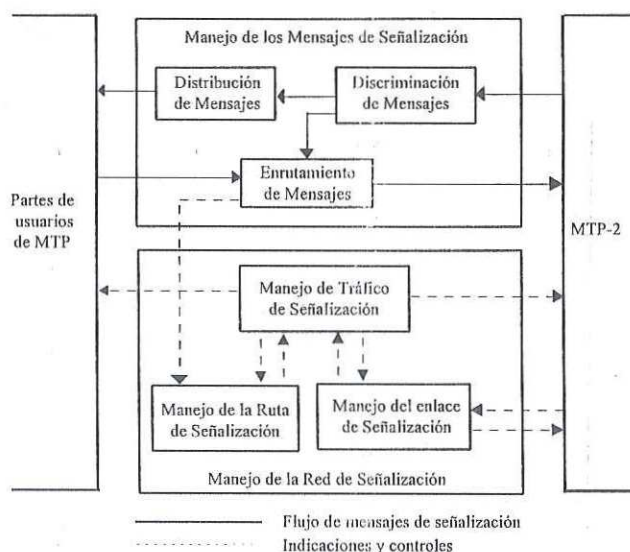


Figura 6. Diagrama funcional a bloques de la MTP-3



destino. El SLS proporciona distribución de carga (load sharing) entre las diversas rutas posibles, que puede ser utilizada para diversificar las rutas de señalización para transacciones sucesivas. Sin embargo para preservar la secuencia de mensajes en una transacción, se debe escoger el mismo SLS. Cuando se recibe un mensaje de señalización en la capa MTP-3 de un nodo, se le examina el DPC, si éste coincide con la dirección del nodo en cuestión, el mensaje es entregado a la función de distribución de mensajes quien, examina a la parte Indicador de Servicio (SI: Service Indicator) del mensaje para decidir la parte de usuario de MTP a quien debe transferir el mensaje. Por el contrario, si no existe una coincidencia y el nodo tiene la capacidad de STP, entonces el mensaje es dirigido a la función de enrutamiento de mensaje

***El Manejo de la Red de Señalización:*** Su propósito es proporcionar la reconfiguración de la red de señalización en el caso de fallas de enlaces o puntos de señalización y proporcionar control de tráfico en caso de congestión o bloqueo. El objetivo es reconfigurar la red en caso de alguna posible falla, evitando la pérdida o duplicación de mensajes y manteniendo el retardo en la entrega de mensajes en niveles aceptables. Han sido definidos procedimientos específicos para cambiar la configuración de la red o recobrar la configuración normal dada la falla o disponibilidad en los enlaces, rutas o puntos de señalización. El lector interesado en más detalles puede consultar [Stallings William, 1995] y [CCITT, 1989].



#### II.4.5. SCCP

La capa SCCP proporciona información de direccionamiento y enrutamiento para la transferencia de mensajes entre las operaciones de aplicación de software dentro de las capacidades de la red de señalización. La SCCP mejora la funcionalidad ofrecida por la MTP-3 al proporcionar direccionamiento extendido, permitir direccionar mensajes con título global, proporcionar servicios con y sin conexión y al enriquecer los mecanismos de manejo de red que proporciona la capa MTP.

En los servicios orientados a conexión, el punto originador primeramente envía un paquete piloto antes de transmitir los datos verdaderos. Este paquete inicial viaja a través de toda la red hasta llegar a su destino; mientras tanto va dejando detras de él una señal de principio a fin. Cuando el paquete llega a su destino de manera exitosa, el resto de los paquetes siguen el mismo camino, por ello el nombre de circuito virtual. En el servicio orientado a no conexión, cada paquete contiene la dirección destino; por lo tanto cada uno debe encontrar su propio camino para llegar a él. Como se espera que no todos los paquetes sigan el mismo camino, a cada paquete se le proporciona un número de serie el cual ayudará al destino a reacomodar los paquetes en el orden en que fueron transmitidos. A este servicio se le conoce también con el nombre de servicio Datagrama.

Para proporcionar direccionamiento extendido, la SCCP utiliza además del DPC (ver la figura 7) Números de Subsistema (SSN: Subsystem Numbers) que, proveen información de direccionamiento local a la SCCP para distinguir entre los usuarios de la SCCP en un nodo.

El direccionamiento de mensajes con título global se realiza de la siguiente manera. Cuando un SP que origina un mensaje no tiene la dirección de red del punto destino, el SP en cuestión construye entonces un mensaje con el DPC de un punto de señalización (típicamente un STP) y un título global. En el STP el título global es convertido a la forma DPC + SNN del nodo al cuál el título global se refiere. Al estar el mensaje en ésta forma, éste podrá ya ser enrutado en la manera convencional. La figura 8 presenta la estructura básica de la SCCP. La SCCP proporciona a sus usuarios (capas del protocolo SS7 por encima de la SCCP) las siguientes clases de servicios:

- Clase 0 Servicio Orientado a no Conexión Básico
- Clase 1 Servicio Orientado a no Conexión con número de Secuencia
- Clase 2 Servicio Orientado a Conexión Básico
- Clase 3 Servicio Orientado a Conexión con Control de Flujo

El servicio clase 0 es un servicio tipo datagrama puro en donde se entregan los mensajes sin secuencia a los usuarios. En el servicio clase 1 se proporciona secuencia de mensajes al asignar el mismo SLS (ver la figura 7) para los mensajes del mismo usuario. En el servicio clase 2 se proporciona número de secuencia además de segmentación y ensamble de mensajes cuando los mensajes de usuario excedan la longitud máxima permitida por SCCP. La clase 3 suplementa las capacidades de la clase 2 al incluir control de flujo y en caso de una posible pérdida de secuencia, la conexión puede ser restablecida.

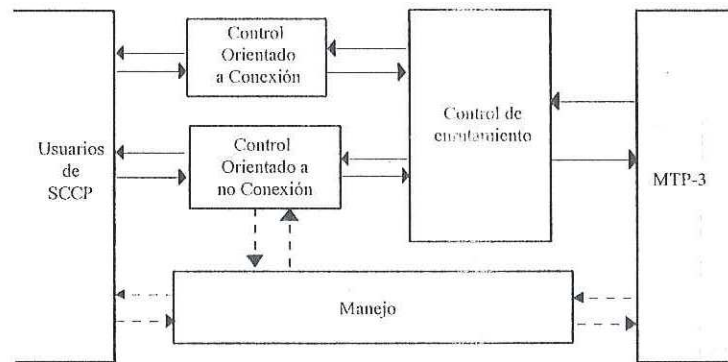
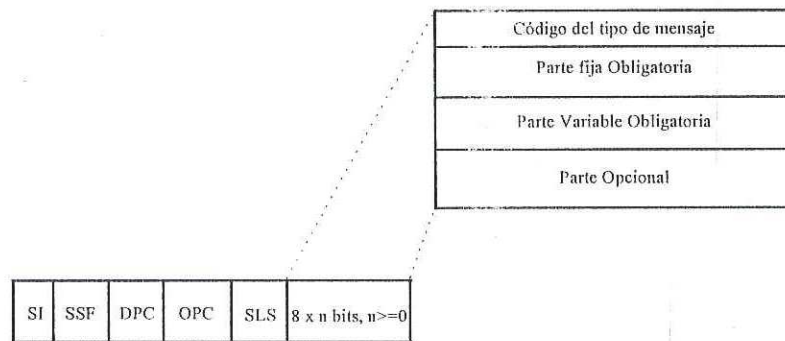


Figura 8. Estructura básica de la SCCP

La SCCP proporciona mecanismos para el manejo de la red de señalización por encima de aquellos que la MTP proporciona, incluyendo procedimientos para disminuir el tráfico de mensajes en caso de falla o congestión de la red. Estos procedimientos se aplican tanto a los servicios orientados a conexión como a los servicios orientados a no conexión. La información de manejo hace uso de los servicios sin conexión de SCCP para su transporte.

La figura 9 presenta el formato del mensaje SCCP. El mensaje consta del código de identificación del tipo de mensaje (hay 16 mensajes diferentes agrupados en mensajes para servicios orientados a conexión, mensajes para servicios orientados a no conexión y mensajes de administración), una parte fija obligatoria, una parte variable obligatoria y una parte opcional (el contenido de éstas partes dependen del tipo de mensaje). Para una explicación más detallada de la operación de SCCP el lector es referido a [Stallings William, 1995] y [CCITT, 1989].





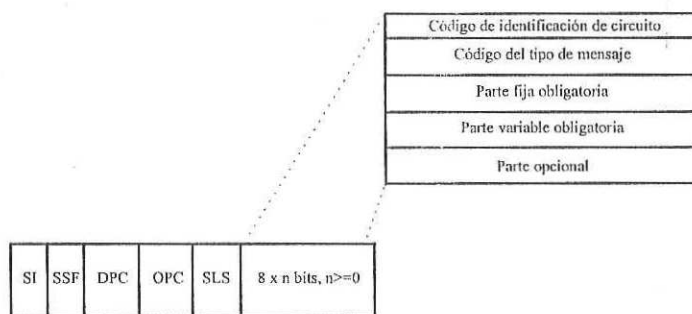
**Figura 9. Formato del mensaje de la SCCP**

#### II.4.6. ISUP

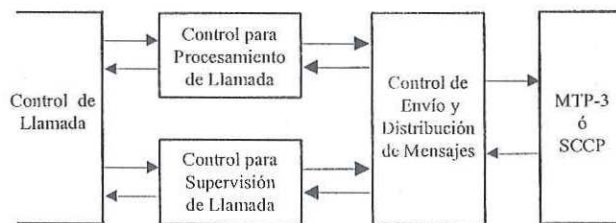
El protocolo de la ISUP proporciona servicios de llamada para el soporte de ISDN. El protocolo cuenta con la funcionalidad para la provisión de servicios básicos y servicios ISDN suplementarios. Para los servicios básicos se incluye el establecimiento, supervisión y liberación de conexiones entre oficinas sobre la red de transporte. Ejemplos de servicios ISDN suplementarios son *Identificación del Abonado que Llama*, *Redireccionamiento de Llamada*, *Señalización de Usuario a Usuario* y *Grupo Cerrado de Usuarios*.

El formato del Mensaje de la ISUP es presentado en la figura 10 (La ISUP utiliza los servicios de la MTP ó la SCCP, sin embargo la discusión aquí asumirá comunicación con MTP directamente). El mensaje de la ISUP se compone de un código de identificación de circuito (una troncal), el código del tipo de mensaje (los cuales se presentarán posteriormente) que permite distinguir entre los diferentes mensajes, y finalmente hay unas partes fijas y variables obligatorias seguidas de una parte opcional. La información de éstas partes y su longitud dependen del tipo de mensaje.

La estructura básica de la ISUP es mostrada en la figura 11. ISUP se compone de 3 funciones básicas que son el control para procesamiento de llamada, el control para la supervisión de llamadas y el control de envío y distribución de mensajes. La primera parte maneja el control necesario para establecer y liberar circuitos, la segunda asegura la continuidad del enlace una vez que éste ha sido establecido y la tercera se encarga de la interfaz de éstas funciones con la capa inferior (MTP ó SCCP).



**Figura 10. Formato del mensaje de la ISUP**



**Figura 11. Estructura funcional de la ISUP**

Existen una gran cantidad de mensajes ISUP definidos, donde cada mensaje realiza una función específica. La Tabla I proporciona una lista resumida de algunos de ellos que

son utilizados para el establecimiento, supervisión y liberación llamadas. (Sólo se incluyen los campos obligatorios de los mensajes).

**Tabla I. Algunos mensajes de la ISUP**

Mensaje ISUP	Abreviación	Dirección	Propósito	Parámetros (Obligatorios)
Mensaje de Dirección Inicial	IAM	Directa	Para iniciar el establecimiento de llamada reservando una troncal de salida y llevando el código de troncal, el número de destino y otra información para el enrutamiento y manejo de la llamada.	Tipo de mensaje, indicadores de la naturaleza de la conexión, indicador de dirección directa, categoría de la parte que llama, medio de transmisión requerido, número de la parte llamada.
Mensaje de Dirección Completa	ACM	Regreso	Para indicar la recepción de la dirección de la parte llamada en la oficina a la que está conectado el abonado llamado.	Tipo de mensaje, indicador de dirección de regreso.
Mensaje de Contestación	ANM	Regreso	Para indicar que la llamada ha sido contestada.	Tipo de mensaje
Mensaje de Continuidad	COT	Directa	Para verificar la continuidad del enlace de comunicación entre oficinas.	Tipo de mensaje, indicadores de continuidad.
Mensaje de Liberación	REL	Ambas	Para indicar que el circuito debe ser liberado.	Tipo de mensaje, Indicadores de la causa.
Liberación Completa	RLC	Ambas	Para indicar que el circuito ha sido liberado.	Tipo de mensaje.

En la figura 12 se presenta un ejemplo de llamada utilizando mensajes y procedimientos ISUP. El proceso comienza cuando un abonado conectado a la Oficina Local-1 (LE-1: Local Exchange-1) le indica a ésta su deseo de realizar una llamada por medio del mensaje *establecer* que incluye el número del abonado destino de la llamada, la LE-1 reserva entonces una troncal (por ejemplo la troncal "A") de salida hacia la oficina de tránsito TE-1 (que representa parte de la mejor ruta para conectar al abonado que llama con el abonado llamado) y construye el Mensaje de Dirección Inicial (IAM: Initial Address Message) que (incluye el identificador de la troncal reservada y el número del abonado llamado entre otras cosas) envía a través de la red de señalización hacia la TE-1. La TE-1 recibe el mensaje y termina de establecer la troncal "A" y reserva la troncal "B" hacia la TE-2 que representa parte de la ruta hacia el abonado llamado. La TE-1 construye un



mensaje IAM que incluye el número del abonado llamado y una identificación de la troncal B que acaba de reservar y lo envía a TE-2. Este proceso se repite en TE-2 cuando recibe el mensaje IAM; de ésta manera se va construyendo (parte por parte) el enlace que ha de conectar al abonado que llama con el abonado llamado. Al llegar el mensaje IAM a la LE-2, éste (vía el mensaje *establecer*) informa al abonado llamado de la llamada entrante. Es posible que la red emita mensajes de Continuidad (COT: Continuity) para checar la continuidad del enlace entre oficinas.

El equipo de usuario informa a la LE-2 que está timbrando por medio del mensaje *alertando*, la LE-2 entonces construye un Mensaje de Dirección Completa (ACM: Address Complete Message) para informar a la LE-1 (la oficina originadora) acerca del estado de la llamada, quien a su vez informa al usuario del estado de la comunicación. Cuando el abonado llamado contesta la llamada, su equipo produce el mensaje *conectar*, mismo que la LE-2 aprovecha para construir un Mensaje de Contestación (ANM: Answer Message) hacia la LE-1. La LE-1 informa al abonado que llama acerca del establecimiento del enlace usando el mensaje *conectar*. A partir de este momento, ambos abonados pueden intercambiar información (transferencia de voz o datos).

En algún momento después en el tiempo, alguno de los dos abonados (en éste caso el abonado que llama) decide terminar la comunicación, esto es informado al LE-1 por medio del mensaje *desconectar*, entonces un mecanismo similar a aquel que tuvo lugar para establecer el enlace tiene lugar pero ahora para liberarlo (mensajes REL: Release). Una vez que el mensaje REL alcanza LE-2, éste informa al abonado llamado acerca de la es

conexión (mensaje *desconectar*) y a la vez edita un mensaje de Liberación Completa (RLC: Release Complete) para confirmar a LE-1 la liberación del enlace.

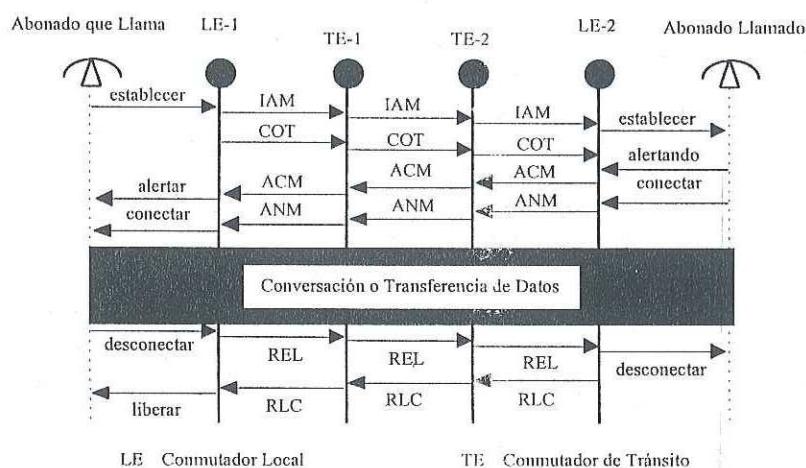


Figura 12. Flujo de mensajes para el establecimiento y liberación de una llamada

#### II.4.7. TCAP

La capa TCAP proporciona un conjunto de procedimientos de pregunta/respuesta utilizados para obtener un servicio que se ha solicitado. El propósito de esta capa es de proporcionar un sistema general y común para la transferencia de información entre dos nodos.

La TCAP constituye el nivel más alto de la estructura del protocolo SS7. La TCAP provee operaciones para servicios con y sin conexión. Los servicios orientados a conexión pueden ser utilizados por aplicaciones de datos en gran volumen (tolerantes a retardos), mientras que los servicios orientados a no conexión son utilizados normalmente por aplicaciones interactivas (datos cortos sensibles al tiempo) que se ven beneficiados del poco

procesamiento y bajos retardos que son características a los servicios sin conexión. En este apartado sólo hablaremos de las funciones y procedimientos de la TCAP necesarios para servicios sin conexión, esto debido a que los servicios de Redes Inteligentes y Comunicaciones Móviles hacen uso solamente de los servicios sin conexión debido a sus requerimientos de ejecución en tiempo real. La TCAP no proporciona control de flujo, control de error ni secuencia de mensajes. Al hacerlo se perdería la posibilidad de apoyar aplicaciones en tiempo real debido al procesamiento que éste tipo de operaciones requiere.

Esencialmente la TCAP proporciona un conjunto de operaciones que pueden ser utilizadas por la aplicación de un nodo para invocar la ejecución de un procedimiento en otro nodo e informar el resultado de tal invocación. Como tal, éste incluye protocolos y servicios para realizar operaciones remotas. En las redes de telecomunicaciones, las aplicaciones distribuidas que usan la TCAP pueden residir en las oficinas de conmutación ó en las bases de datos de la red. La principal aplicación de la TCAP en éstas redes es para invocar procedimientos remotos para soportar los procedimientos necesarios en los servicios de telefonía móvil y en redes inteligentes (como por ejemplo servicio de números 800's).

La TCAP se compone de dos subcapas: La subcapa de componente y la subcapa de transacciones. La subcapa de componente es responsable de la especificación y asociación de unidades de datos (operaciones y respuestas) llamadas componentes. La subcapa de transacción proporciona un medio eficiente para el intercambio de mensajes que contienen a esas componentes al establecer una *pseudoasociación* extremo a extremo entre los dos



usuarios de la TCAP. Esta asociación se establece sin necesidad de intercambiar mensajes adicionales. El primer mensaje de un diálogo lleva las componentes iniciales y a la vez establece ésta asociación.

El mensaje TCAP está formado por dos partes, una identifica el estado de la transacción (y a la transacción misma) y la otra incluye cada una de las componentes, cada componente está especificada por un tipo de componente y parámetros. Como se puede ver en la figura 13, el identificador del estado de la transacción (primitiva) puede ser: *Comenzar*, *Continuar*, *Terminar*, *Abortar* y *Unidireccional*. Hay 4 tipos de componentes que son: *Invocar*, *Regresar Resultado*, *Regresar Error* y *Rechazar*. *Invocar* se utiliza para invocar la realización de operación remota, *Regresar Resultado* para comunicar el resultado de tal invocación, *Regresar Error* se usa para notificar la causa por la cuál la operación no pudo realizarse y *Rechazar* se usa para notificar algún error de sintaxis en la petición.

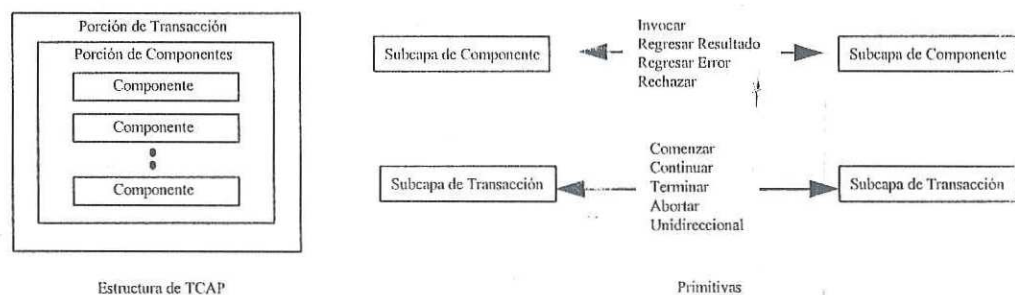


Figura 13. Estructura de la TCAP y primitivas

Los servicios de la TCAP están compuestos de la siguiente secuencia de eventos (ver figura 14): El usuario del servicio A especifica las operaciones que el usuario B debe realizar, así como sus parámetros necesarios y pasa éstas componentes a la subcapa de componente. En seguida, emite una componente de manejo de diálogo que inicia la transferencia de éstas componentes a la subcapa de transacción.

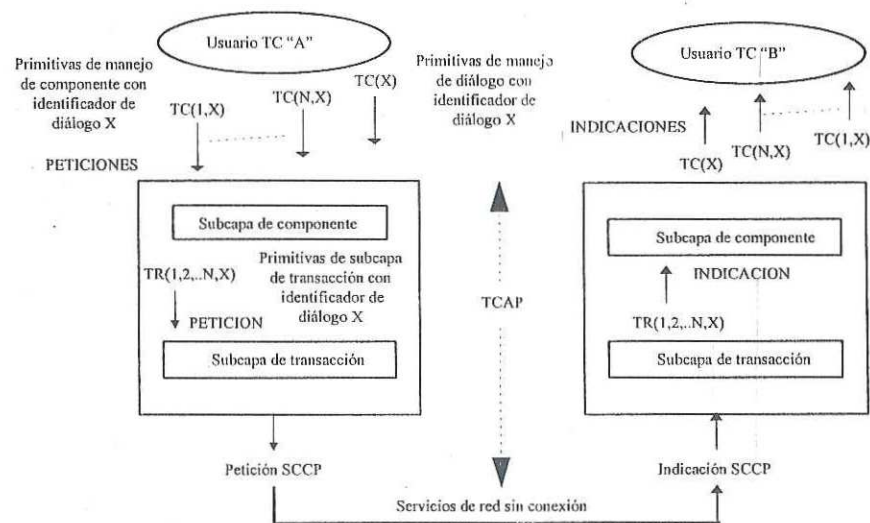


Figura 14. Formato del mensaje de la TCAP y operaciones de las subcapas

La subcapa de transacción del usuario A reúne éstas peticiones en un sólo mensaje y lo pasa a capas inferiores (capa SCCP). Este mensaje también indica el establecimiento de una asociación entre los dos usuarios.

El ejecutor del servicio B, recibe éstas componentes desde su propia subcapa de componente, entonces procede a solicitar operaciones de A o realiza las operaciones solicitadas desde A. Entonces B pasa las componentes que contienen los resultados o las

peticiones a la subcapa de componente. Estas componentes son ensambladas en un sólo mensaje por la subcapa de transacción y transmitidos a A cuando el usuario de B expide una componente de manejo de diálogo. Este mensaje podría también especificar la terminación del diálogo si ya no se esperan más mensajes.

La subcapa de componente de A recibe éstas componentes, los asocia con la petición que ha hecho con anterioridad y los pasa al usuario A. El usuario A puede solicitar la terminación del diálogo si ya no desea la realización de más operaciones (si B no lo ha hecho ya) o realizar las operaciones que B ha solicitado (si acaso lo ha hecho). Si éste es el caso, todo vuelve a ocurrir a partir del paso 2.

#### **II.4.8. CAPA DE APLICACIÓN**

La capa de aplicación del protocolo GSM está compuesta por tres subcapas: RR (Administración de los Recursos de Radio), MM (Administración de la Movilidad), y CCM (Administración del Control de Llamadas). La capa RR, junto con la de enlace de datos y la capa física, proporciona los medios para las conexiones de radio punto-punto en los cuales son transportados los mensajes MM y CCM. En general, el objetivo principal de esta capa de aplicación es el de proveer los medios necesarios para realizar las siguientes funciones:

- Establecer , operar y liberar un canal de radio dedicado (RR).
- Actualizar la ubicación de los usuarios así como también autentificarlos (MM).
- Establecer, mantener y terminar una llamada de un circuito conmutado (CCM).



#### **II.4.8.1 CAPA RR**

El protocolo RR proporciona funciones de control para la operación de canales dedicados. La administración de la capa RR tiene como objetivo principal, establecer, mantener, modificar y liberar el medio básico de comunicaciones en la interfaz de radio.

El protocolo RIL3RR establece y libera las conexiones de radio entre la MT y los BSC's durante el tiempo de llamada, y a pesar de los movimientos del usuario, el sistema proporciona información de transmisión entre células.

#### **II.4.8.2 CAPA MM**

La capa de administración de la movilidad, la cual define el diálogo entre MT y la Red, tiene como función principal la administración de ubicación y registro de la MT, así como también efectuar los procedimientos de seguridad para poder llevar a cabo la aplicación móvil.

#### **II.4.8.3 CAPA CCM**

El protocolo de la capa CCM controla el establecimiento de llamada extremo-extremo, y en general todas las funciones relacionadas con la administración de llamada, como son; establecimiento, información y liberación desde la MT. Esta capa incluye las funciones de control, definidas por la señalización de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).

## II.4.9. PROTOCOLO MAP

El protocolo Parte de Aplicación Móvil (MAP: Mobile Application Part) se considera como un acceso a una base de datos remoto, efectuado por el intercambio de mensajes que son agrupados en simples diálogos, la mayoría de ellos en forma de preguntas y respuestas.

En el modelo OSI la capa MAP reside por encima de la capa TCAP como se muestra en la figura 3. La capa MAP únicamente utiliza el protocolo SCCP orientado a no conexión. El protocolo está diseñado para interactuar con el MSC, VLR y HLR y de esa manera puedan tener comunicación entre ellos. MAP contiene varios bloques funcionales conocidos como *Elementos del Sistema de Aplicación (ASE)*, los cuales son utilizados para establecer una comunicación uno-a-uno entre dos nodos como se muestra en la figura 15.

Las funciones de la capa MAP son agrupados en dos categorías; administración de la movilidad y soporte de servicios básicos.

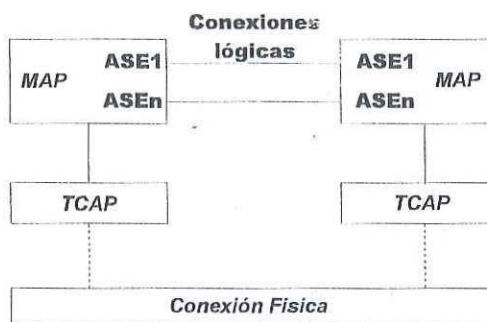


Figura 15. Comunicación MAP entre dos nodos

#### II.4.9.1. PROTOCOLO MAP PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA MOVILIDAD

La administración de la movilidad consiste de cuatro procedimientos principales.

**Registro de Localización:** Este procedimiento actualiza la información de la LA donde se encuentra actualmente el usuario. Cuando el usuario entra en una nueva LA, a la cual le proporciona servicio un nuevo VLR, el HLR debe ser informado acerca de la dirección de su VLR para que pueda ser localizado cuando se necesite. El HLR actualiza los datos del usuario con respecto a su nueva localización. Este servicio se inicia por el procedimiento MAP\_UPDATE\_LOCATION, el cual consiste de un conjunto de primitivas de mandato que utilizan el protocolo MAP/I, como se muestra en la figura 16.

**Cancelación de la localización:** Cuando el usuario se desplaza a una nueva LA, el HLR se actualiza con respecto a la nueva localización, como ya se había mencionado anteriormente, al mismo tiempo se le informa al antiguo VLR que elimine de su base de datos la información de dicho usuario. Este servicio se invoca automáticamente por el proceso MAP\_CANCEL\_LOCATION. Este procedimiento utiliza el protocolo MAP/D.

**Actualización de la ubicación:** Este servicio se efectúa entre MSC y VLR con el propósito de actualizar la información de ubicación del usuario en la red. Este proceso se inicia cuando una MT cambia de LA o cuando se registra por primera vez.. Este servicio se inicializa por el mensaje MAP\_UPDATE\_LOCATION\_AREA utilizando el protocolo MAP/B.

**Identificación de Servicio:** El servicio MAP\_SEND\_IDENTIFICATION, junto con el protocolo MAP/G se utiliza entre un nuevo VLR y un VLR anterior con el fin de recuperar



el IMSI y el conjunto de mensajes de autenticación para un usuario que se está registrando en una nueva LA.

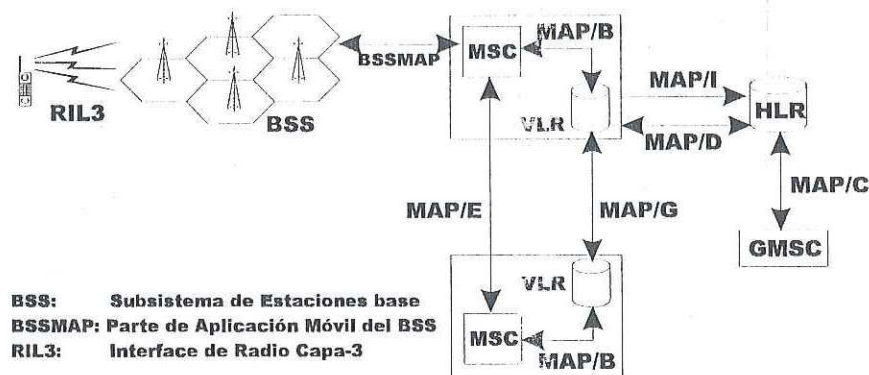


Figura 16. Conexiones del protocolo MAP

#### II.4.9.2. PROTOCOLO MAP PARA EL SOPORTE DE SERVICIOS BASICOS

El soporte de servicios básicos comprende la recuperación de datos de un usuario durante; el establecimiento de llamada, la radio-búsqueda (paging), la entrega de llamadas y la inicialización de los procedimientos de seguridad y autenticación de una MT.

**Recuperación de datos de un usuario durante el establecimiento de llamada:** Existen dos casos para este proceso; el primero, cuando los datos involucrados al originar una llamada proceden desde un móvil y el segundo cuando los datos provienen de una llamada originada desde la red pública fija. Para establecer una llamada desde un móvil, la MT accesa al sistema únicamente cuando el procedimiento de autenticación ha sido exitoso. Después de esto la petición del servicio se transfiere al VLR para verificar los servicios a los que el usuario esta suscrito. Cumpliendo con lo anterior se envía un mensaje de regreso al MSC

indicando si se puede iniciar la llamada o en su defecto se bloquea. Cuando la llamada es originada desde la red pública hacia un usuario móvil, primero se investiga la ubicación actual del usuario con el fin de entregarle la llamada en el destino correcto.

**Radio-búsqueda y localización:** Este servicio se utiliza entre el VLR y MSC para inicializar la búsqueda de una MT. El servicio MAP\_PAGE es utilizado para este propósito, mientras que el servicio MAP\_SEARCH\_FOR\_MS se aplica cuando la MT es rastreada en todas las LA's de un VLR en particular. Para entregarle una llamada a un usuario, éste se busca transmitiendo mensajes sobre todas las células servidas por un VLR. Toda esta actividad se lleva a cabo por el protocolo MAP/B.

**Transferencia de llamada:** Para mantener una comunicación en progreso, aún cuando el usuario se desplace por toda el área de cobertura y entre en una área a la cual le proporciona servicio un nuevo MSC, el protocolo MAP proporciona transferencia de llamada entre MSC's. Cuando la llamada tiene que ser manejada desde un MSC-A a un MSC-B, el MSC recibirá un mensaje de servicio MAP\_PERFORM\_HANDOVER a través del protocolo MAP/E.

Haciendo una secuencia de esta sección, el siguiente capítulo explica brevemente los conceptos básicos necesarios para entender el funcionamiento de una red PCS, las técnicas que existen actualmente para administrar la movilidad del usuario, así como los escenarios implantados para llevar a cabo los procesos proporcionados por los Sistemas de Comunicación Personal.

## CAPÍTULO III. ADMINISTRACIÓN DE LA MOVILIDAD EN GSM

### III.1. INTRODUCCIÓN

En las redes ordinarias, como la red telefónica (PSTN), existe una relación fija entre una terminal y su ubicación. El cambiar la ubicación de una terminal generalmente involucra el concepto de administración de red, lo cual no puede ser desempeñado fácilmente por un usuario, además el arribo de llamadas para una terminal en particular son enrutadas a su destino; debido a que no existe diferencia como ya se había mencionado, entre la terminal y su localización.

Por el contrario, las redes PCS proporcionan comunicación ininterrumpida a usuarios móviles. Los usuarios PCS traen consigo una terminal móvil con la cual pueden comunicarse con una terminal remota ya sea fija o móvil; sin importar su ubicación actual. Sin embargo, a diferencia de las redes fijas convencionales, la identidad del usuario que realiza una llamada y del que la recibe no se encuentra asociado con una ubicación geográfica fija; es decir la ubicación actual de una MT no puede obtenerse directamente de su número de identificación. Por lo tanto, es necesario un esquema de administración de movilidad para que de una manera efectiva mantenga el control de las MT's; y para que esta última pueda realizar y recibir llamadas independientemente de donde se encuentre dentro del sistema.

Cuando el usuario se encuentra fuera de su área de servicio, su nueva ubicación necesita ser registrada por la red con el propósito de facilitar la solicitud de servicios. Esto



se logra a través de la actualización de ubicación. Generalmente el área geográfica de un sistema PCS está dividido en muchas áreas de localización (LA's), las cuales se distinguen entre ellas por un número de identidad. Cuando el usuario se mueve hacia otra célula pero dentro de su misma LA, no se efectúa una actualización de ubicación. Cuando una llamada llega para un usuario, la LA donde reside el usuario será monitoreada para alertarlo.

Cuando el usuario entra en una nueva LA se envía una petición de actualización de ubicación. Al recibirla, las bases de datos involucradas en esta operación serán actualizadas. Entre más alta es la frecuencia con que se registran actualizaciones de ubicación, mayor será el número de operaciones que realicen las bases de datos.

Dado que el usuario puede desplazarse de un lugar a otro (roaming) dentro del sistema PCS, la entrega de llamadas no es tan sencilla como lo es para los sistemas telefónicos tradicionales. Cuando un usuario origina una llamada, es necesario encontrar la ubicación del usuario destino antes que la conexión entre ambos sea establecida. Este procedimiento de localización de usuario involucra muchas operaciones con las bases de datos.

### **III.2.MÉTODOS PARA LA ADMINISTRACIÓN DE MOVILIDAD**

#### ***Nivel 0: Sin administración de la ubicación***

En los primeros sistemas inalámbricos de área amplia (cuando todavía no se llamaba sistema celular), las personas que ocupaban el puesto de operadores eran los encargados de procesar las llamadas y de ubicar a los usuarios. La característica principal de estos sistemas, era que comprendía células muy grandes y tasas de llamadas muy bajas. Por ser

un sistema de pequeña capacidad, estos sistemas (con unas pocas decenas de estaciones base), no utilizaban métodos para la administración de ubicación, aunque el estándar lo permitiera. La búsqueda de un usuario móvil, se realizaba sobre una área completa de radio-cobertura y en un tiempo limitado. Este método es utilizado en redes móviles privadas de tamaño pequeño; debido a su área de cobertura y densidad de población pequeña. La ventaja principal de no efectuar el proceso de localizar a una terminal móvil, es que no hay necesidad de implementar bases de datos especiales. Desafortunadamente, esta técnica no puede ser utilizada en redes muy grandes donde el número de usuarios y la tasa de llamadas es alto.

### ***Nivel 1: Registro Manual***

Este método requiere que el usuario mismo especifique su ubicación mediante un procedimiento especial; siempre y cuando desee recibir y realizar llamadas. Por parte de la red, este proceso es relativamente simple ya que solo requiere la administración de un indicador el cual almacena la ubicación actual del usuario. La MT sólo esta limitada a rastrear los canales para detectar los mensajes de búsqueda. El usuario tiene que registrarse por sí mismo cada vez que se mueva a un nuevo sector. Para rastrear a un usuario, la red primero transmite mensajes a través del área en la cual el usuario se registró y, si el móvil no contesta se extiende la búsqueda a sectores vecinos.

La principal desventaja de este método es que el usuario tiene que registrarse cada vez que se mueve. Sin embargo, éste inconveniente se balancea por el bajo costo del equipo

utilizado para la administración de la red, lo cual permite al operador ofrecer a sus usuarios retribuciones atractivas.

### ***Nivel 2: Administración de la ubicación de forma automática.***

Los métodos utilizados actualmente para la ubicación de usuarios móviles, fueron implementados en los sistemas celulares de primera y segunda generación; estos utilizan lo que se conoce como Areas de Localización (LA), para mayor información ver Sección II.2

### ***Nivel 3: Métodos actuales***

Los métodos utilizados en la administración de la movilidad están clasificados en dos grupos principales como se observa en la Figura 17, Métodos sin memoria y Métodos con memoria. En el primero, se incluyen todas las técnicas apoyadas en algoritmos y arquitectura de red, basadas principalmente en la capacidad de procesamiento del sistema. En el segundo grupo, se encuentran los métodos basados en los procesos de aprendizaje, los cuales requieren de una colección estadística del comportamiento de los movimientos del usuario dentro de la red.

Actualmente, se encuentran en operación dos de los estándares principales para el manejo de la localización; el estándar interino No.41 de la Asociación Industrial de Electrónica/Telecomunicaciones (EIA/TIA IS-41) y el Sistema Global para Comunicaciones Móviles en su Parte de Aplicación Móvil (GSM-MAP). El esquema IS-41 es comúnmente utilizado en Norte América para los estándares IS-54, IS-136 (estándares celulares digitales basado en TDMA), el Sistema Telefónico Móvil Avanzado (AMPS), y



las redes PACS (Sistema de Comunicaciones de Acceso Personal), mientras que el estándar GSM-MAP es utilizado en Europa para las redes GSM y de Servicios Celulares Digitales (DCS-1800).



Figura 17. Clasificación de los métodos para administrar la movilidad

La Administración de la Movilidad tiene a su cargo dos tareas principales: *el registro de la localización y el origen de llamadas*. Los procedimientos para el registro de localización, actualizan la bases de datos de localización como son el HLR y VLR. Los procedimientos de entrega de llamadas ubican a la terminal móvil en base a la información disponible en las bases de datos, cuando una llamada tiene como destino a una MT.

### III.2.1. SISTEMA DE BASES DE DATOS

Los Sistemas de Comunicaciones Personales presentan problemas desafiantes en la administración de datos de la red. Uno de los problemas principales es la administración de la localización. Administrar la localización se refiere a acceder y mantener información del

usuario para propósitos de enrutamiento de llamadas. La información importante del usuario, es almacenada en archivos de usuario (user profiles). Desde el punto de vista operacional, la administración de la localización, es uno de los servicios que maneja el sistema PCS en los que se involucran operaciones con las bases de datos, en ella recogen dos funciones principales: acceso a las bases de datos para efectuar el proceso de búsqueda y actualización a los archivos de usuario. El desempeño de cualquier esquema utilizado en la administración de la localización es una función importante de la arquitectura de las bases de datos y de los algoritmos para administrar la ubicación.

Los estándares IS-41 y GSM, emplean una arquitectura de base de datos de dos niveles, como se muestra en la figura 18; los cuales consisten de una Base de Datos de registro Local (HLR) y una Base de Datos de registro para Visitantes (VLR). El HLR es una base de datos centralizada la cual contiene la información de los usuarios asignados al sistema PCS. Estos archivos de usuarios registran la información más relevante del usuario como: servicios a los que está suscrito, requerimientos de calidad de servicio (QoS), información de tarificación, y la ubicación actual de la Terminal Móvil.

Los VLR's están distribuidos a lo largo de la red PCS y cada uno almacena la información de las MT's que se encuentran residiendo actualmente en su área. Dependiendo de la configuración de la red, la información de usuario de cada una de las MT puede ser replicada en su VLR actual.

Existen dos posibles implementaciones de la estructura de las bases de datos. En la primera, el VLR da servicio a un cierto número de MSC, y la función principal del VLR es quitarle carga de accesos y de señalización al HLR. En la segunda implementación, cada VLR da servicio a un sólo MSC y en este caso el VLR actúa como un procesador auxiliar para el MSC. Esta configuración es la más utilizada hoy en día en las redes PCS.

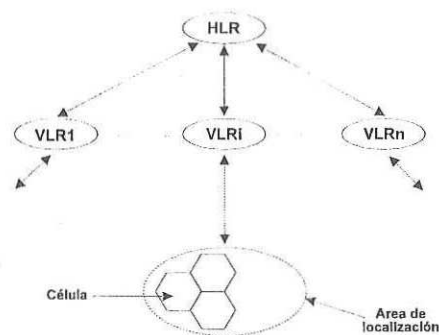


Figura 18. Arquitectura de base de datos de dos niveles

### III.2.2. PROBLEMÁTICA EN UN FUTURO CERCANO

Como el número de usuarios en la red PCS se incrementa, está demostrado en [Martinez,1998] que el volumen de tráfico de señalización y el número de accesos a las bases de datos se incrementará más allá de las capacidades del diseño de las redes actuales. Los frecuentes accesos y actualizaciones a las bases de datos convertirían a estas últimas en un cuello de botella al utilizar una arquitectura de base de datos de dos niveles, como la utilizada en el estándar GSM.



Lo anterior no es un problema significativo ya que las redes celulares de hoy tienen un tráfico de información muy bajo. Pero mientras el número de usuarios móviles se incrementa, y se introduzcan nuevos servicios, como multimedia (voz, video, imagen), el volumen de tráfico de señalización generado por causa del proceso de administración de la localización se volverá muy alto.

Existen dos formas de reducir el tráfico de señalización; primero mejorar la estrategia de administración de localización del estándar GSM, manteniendo sin cambio la arquitectura de red de las bases de datos. Otra forma de minimizar el problema sería el de utilizar una arquitectura de bases de datos completamente nueva, la cual requiere un conjunto de esquemas nuevos para el registro de ubicación y la entrega de llamadas.

### **III.3. MANEJO DE LA MOVILIDAD DE USUARIOS EN GSM**

Para un Sistema de Comunicación Personal rastrear a un móvil requiere registrar los datos que identifican, tanto la ubicación como las características del móvil. Esta información es almacenada en una base de datos central del usuario (HLR), la cual contiene un apuntador hacia la LA en la que cada una de las MT's se encuentran (ya sea dentro de la red de suscripción o incluso en la red de otro proveedor de servicio). El HLR también tiene los datos asignados al momento de suscripción a la red de cada uno de los usuarios. Esta información incluye al número de directorio y el archivo de usuario.

Además del HLR, GSM define otro concepto involucrado en el manejo de la movilidad, conocido como VLR, esta base de datos proporciona un mecanismo eficiente

para distribuir la carga de señalización dirigida hacia el HLR. El VLR almacena temporalmente información selecta recuperada desde el HLR de los usuarios que visitan actualmente su LA asociada. Esa información es utilizada para manejar la señalización inicial e información de enrutamiento y permite que el usuario visitante tenga acceso a los servicios contratados incluso si éste viene de otra red.

### III.3.1. REGISTRO DE LOCALIZACIÓN

Para el proceso de entrega de llamadas, los Sistemas PCS deben mantener un control de la ubicación de cada MT. Como las terminales móviles se encuentran en constante movimiento alrededor del área de cobertura, los datos almacenados en las bases de datos no son considerados muy precisos; para asegurarse que las llamadas sean entregadas exitosamente, es necesario utilizar un mecanismo que actualice las bases de datos con la información de ubicación actual. A este proceso de actualización de las bases de datos se le conoce como *Registro de Localización (Location Registration)*.

Este proceso es invocado automáticamente por una terminal encendida cuando ésta atraviesa los límites de una LA. Por medio de este procedimiento, la MT informa a la red que ha entrado a una nueva LA. En este proceso se debe de redireccionar el apuntador en el HLR asociado con la MT en cuestión para que apunte no a la antigua LA en que el usuario estuvo, sino a la nueva a la cuál ha entrado. Adicionalmente la información de la MT debe ser cargada en el VLR asociado a la nueva LA en la que la MT ha entrado y borrada del

VLR asociado a la anterior LA. Este proceso es sumamente útil, y aunque ocurre sin ser percibido por el usuario del servicio, este proceso permite al usuario el recibir llamadas entrantes y tener acceso a los servicios suscritos sin importar su localización en la red. El flujo de mensajes en la red debido al proceso de registro de terminales es mostrado en la figura 19 y se explica en seguida.

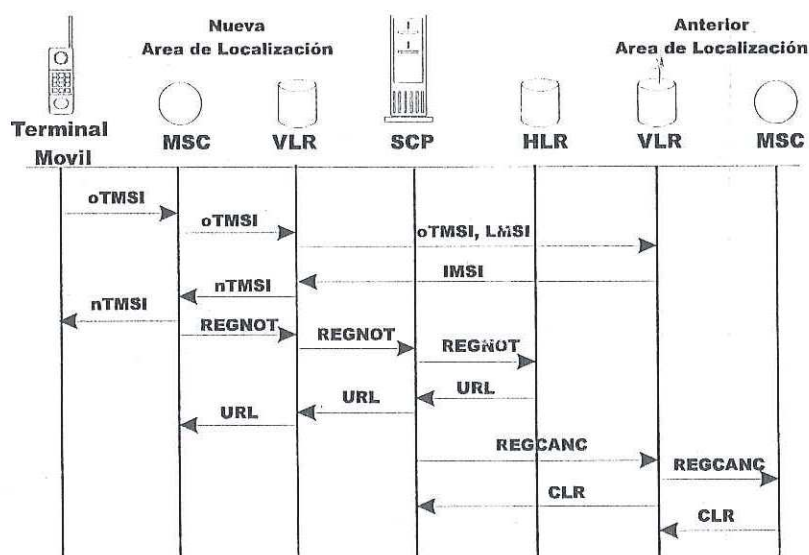


Figura 19. Registro de localización en GSM

- a) Una MT determina, basada en la señal transmitida por la BS, que ha entrado a una nueva LA y que requiere registrarse para tener acceso a sus servicios. El SIM de la terminal es asignado a una identidad única, llamada IMSI, en él se encuentran los datos necesarios para autenticar a la terminal, con el fin de incrementar la confidencialidad y hacer más eficiente el uso del ancho de banda del canal de radio. El IMSI no es transmitido sobre el enlace de radio, en lugar de eso, a la terminal se le asignó una



Identidad Temporal de Estación Móvil (TMSI: Temporal Mobile Station Identity) en el Area de Localización anterior. Este TMSI anterior (oTMSI) es transmitido al MSC y posteriormente al VLR.

- b) El nuevo VLR crea un espacio de datos para la MT, con una dirección a un nuevo LMSI (Identificación de Terminal Móvil Local), y posteriormente establece un canal de señalización con el VLR anterior. Este utiliza el canal para enviar el oTMSI recibido junto con el LMSI al VLR anterior con el fin de obtener el IMSI del usuario.
- c) En el IMSI recibido se encuentra la dirección del HLR de la MT, por lo que se establece un enlace entre el nuevo VLR y el HLR. El nuevo VLR utiliza este enlace para enviar su dirección (VLRid) y el LMSI al HLR, al cual este último contesta con la transmisión de los datos del usuario.
- d) Una vez que el nuevo VLR, conoce los datos del usuario y este ha sido autenticado, el VLR/MSC generan un nuevo TMSI (nTMSI) el cual es asignado a la MT. Con esto termina el proceso de autenticación del usuario.
- e) Cuando el MSC recibe el mensaje del nuevo TMSI, se inicia el proceso de registro, por medio del mensaje *REGNOT* se registra en el HLR la actual LA a la cuál la MT ha entrado.
- f) Cuando el HLR recibe el mensaje *REGNOT* a través del SCP, actualiza el valor del apuntador asociado a la MT para que apunte a la LA actual en donde la MT se encuentra y regresa el mensaje *URL* para confirmar al MSC que se ha registrado a la MT satisfactoriamente.

- g) Cuando el mensaje *URL* llega al SCP, éste lo transmite al VLR de la nueva área de localización y a la vez aprovecha para enviar un mensaje *REGCANC* al VLR de la anterior área de localización para que borre de su base de datos la información de la MT, ya que ella ya no se encuentra en su LA asociada. A su vez el VLR hace extensivo el mensaje *REGCANC* a su MSC asociado. Cuando el mensaje *URL* alcanza al MSC de la nueva LA, el proceso de registro se da por concluido.

### III.3.2. ORIGEN DE LLAMADAS

Este proceso permite que la red establezca una conexión entre un usuario móvil origen y el MSC que sirve a la MT destino. Es necesario utilizar un mecanismo para determinar la ubicación de la célula en donde se encuentra la MT destino. En los sistemas PCS, lo anterior se logra utilizando un procedimiento de búsqueda, tal que, las señales de inspección sean transmitidas a todas las células dentro de la LA donde reside la MT llamada. La figura 20 ilustra el flujo de mensajes generado cuando una MT origina una llamada. El flujo de información es como sigue:

- a) El protocolo comienza cuando la MT origen desea realizar una llamada a otro usuario dentro de la red, a través de un procedimiento de petición de conexión con el fin de que se le asigne un canal para el tráfico de información. Una vez que la conexión se ha establecido entre la MT y el MSC, este último envía un mensaje *ACCREQ* al VLR, solicitando permiso para que la MT pueda realizar la llamada. En este mensaje va

incluido el TMSI de la MT, con el fin de que sea autenticada e identificada por el VLR.

- b) Si el procedimiento anterior resultó exitoso, significa que el usuario está autorizado para realizar llamadas desde su actual LA. Para confirmar lo anterior, el VLR reconoce el proceso de petición de acceso, enviando el mensaje *accreq* al MSC.
- c) El MSC origen accesa al HLR (via SCP) a través del mensaje *LOCREQ* para conocer la LA actual en la que se encuentra la MT destino. Cuando el MSC recibe la LA desde el HLR (a través del mensaje *locreq*), puede entonces establecer una conexión con el VLR asociado a la LA en la que el abonado llamado se encuentra actualmente.
- d) El MSC solicita al VLR de la terminal llamada el archivo de usuario por medio del mensaje *PROFREQ*. El MSC requiere del archivo de usuario ya que en éste se almacena toda la información, incluyendo los servicios suscritos, célula en que reside la MT, restricciones y parámetros requeridos por la red para establecer apropiadamente la llamada.
- e) Una vez que el MSC recibió (mediante el mensaje *profreq*) y analizó el archivo de usuario, puede determinar que la llamada puede proceder, entonces utiliza el protocolo MAP/E para informarle a el MSC destino que establezca la llamada con la MT. El MSC



utiliza este protocolo para informarle a todas las BS's que se encuentran dentro de la LA que busquen al abonado llamado.

- f) Cuando la MT responde al proceso de búsqueda, procede por medio del mismo procedimiento de petición de conexión, identificación y autenticación de la MT origen.
- g) Posteriormente, el MSC destino envía al punto origen información acerca de los detalles de la llamada, incluyendo el número del abonado llamado (TLDN: Número de Directorio de Localización Temporal) y el servicio de conexión requerido. La MT destino acepta o en su defecto rechaza la llamada, si la llamada es aceptada, entonces la conversación comienza entre los abonados.

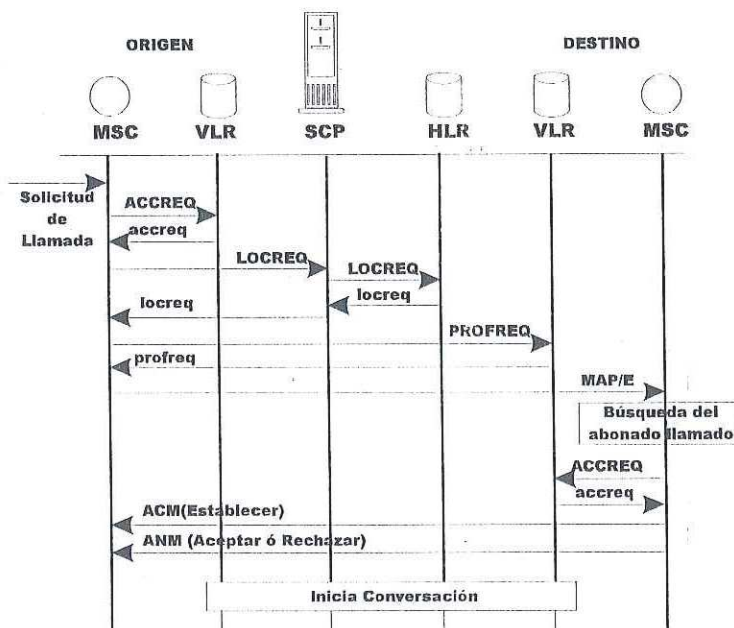


Figura 20. Origen de llamadas en GSM

### III.3.3. ENTREGA DE LLAMADAS

Este proceso permite a una MT el recibir llamadas desde usuarios de la PSTN. Cuando una oficina local (LE) de la PSTN recibe una llamada que tiene como destino una MT, la LE consulta al HLR para saber la LA en la que la MT se encuentra actualmente. Cuando la LE recibe la LA desde el HLR, puede entonces establecer una conexión con el MSC asociado a la LA en la que el usuario se encuentra actualmente. Cuando el MSC recibe la solicitud de conexión, realiza un proceso de búsqueda por todas las celdas que forman la LA para localizar a la MT, como podemos observar esta es la parte crucial del proceso de entrega de llamadas. Una vez que la MT responde al proceso de búsqueda, el MSC puede entregarle la llamada.

La figura 21 ilustra el flujo de mensajes entre los elementos de la red debido al proceso de entrega de llamadas a un usuario móvil.

La secuencia de mensajes es como sigue.

- a) Cuando la solicitud de llamada llega a la LE, ésta edita un mensaje *LOCREQ* para solicitarle al HLR (vía el SCP) le proporcione la LA en la que el usuario llamado se encuentra. El HLR devuelve la actual LA (*LAid*) del usuario al SCP. El SCP entonces solicita al VLR y al MSC que corresponden a la actual LA del usuario, que asignen a la MT un número telefónico temporal TLDN (de aquellos que tienen disponibles y que asignan por demanda) a la MT para que pueda recibir una llamada, esto se realiza por medio del mensaje *ROUTEREQ*.

- b) Cuando el VLR y el MSC han asignado el número temporal, lo regresan al SCP usando el mensaje *routerreq*. El SCP entonces ya puede responder al mensaje *LOCREQ* de la LE enviándole el número telefónico temporal asignado a la MT en la actual LA visitada.
- c) La LE de la PSTN ahora inicia una conexión con el MSC que alberga a la MT utilizando el mensaje ISUP *IAM*. Al momento de recibir este mensaje, el MSC inicia un proceso de búsqueda (paging) en todas las celdas de su LA para localizar a la MT.
- d) Cuando la MT responde al proceso de búsqueda, el MSC inicia un proceso de autenticación para verificar la validez del usuario.
- e) Una vez que la autenticidad del usuario ha sido probada, la llamada es establecida.

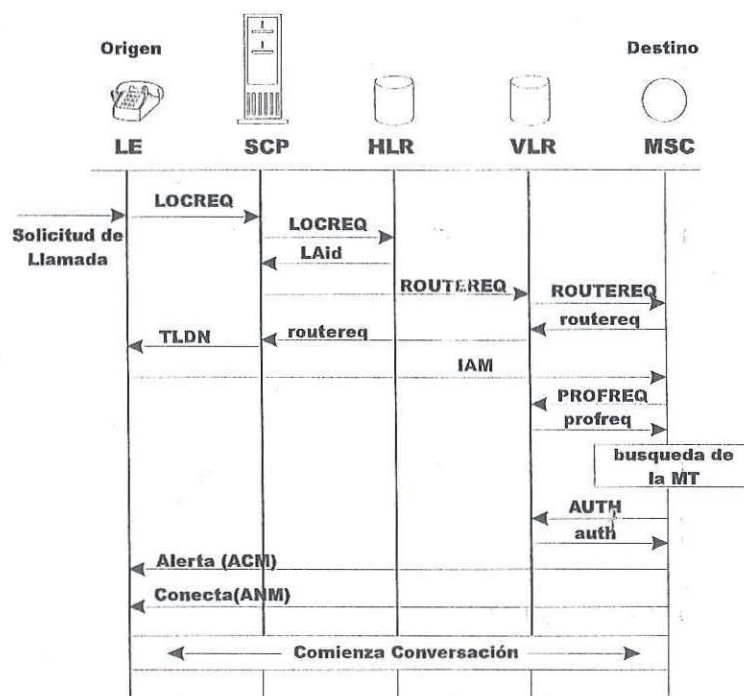


Figura 21. Entrega de llamadas en GSM



### **III.4. ESTRATEGIAS PARA LA ADMINISTRACIÓN DE MOVILIDAD**

El principal reto, en un sistema PCS es el de localizar a muchos usuarios que se encuentran en constante movimiento. El procedimiento para la búsqueda de usuarios es muy caro, debido a que existe un gran flujo de señales y accesos a las bases de datos, necesarios para llevar a cabo dicha tarea. Además, localizar a un móvil es también, un proceso que consume tiempo. De hecho el tiempo para entregar una llamada a un móvil, depende en gran parte del tiempo de localización. Si una técnica de rastreo de localización es eficiente, el tiempo para una entrega de llamada es significativamente reducido.

En años recientes se han propuesto algunos esquemas sofisticados para la administración de la localización, los cuales prometen reducir los tiempos de respuestas en la búsqueda y actualización de los archivos de usuario así como también en el tráfico de señalización. El enfoque de esta sección es el de considerar algunas técnicas empleadas para el registro de localización [Akyildiz Ian F., 1996].

#### **III.4.1. ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN DE UBICACIÓN POR USUARIO**

La idea básica de esta técnica es que el volumen de señalización y el tráfico de acceso a la base de datos para ubicar a una MT puede ser reducido manteniendo un espacio de memoria para información de ubicación en cualquier STP cercano. Cada vez que una MT es accesada a través del STP, se agrega una entrada a un espacio en memoria que contiene una relación de identificación de su VLR asociada. Cuando sea inicializada otra llamada para la MT, el STP primeramente revisará si existe alguna información de

ubicación para la MT. Si no existiese, se utiliza el esquema de localización IS-41 o GSM para entrega de llamada y para localizar a la MF. Por el contrario, si existe alguna información en el STP, éste último tratará de acceder al VLR especificado por la información para localizar a la MT. Si la MT se encuentra todavía bajo la residencia del VLR, se dice que ocurre un *éxito*, y la MT es encontrada. Si la MT se ha movido a otra área de localización, a la cual le proporciona servicio un VLR que no es el mismo que se encuentra en la información del STP, entonces se dice que ocurre un *fracaso*, y en su lugar se utiliza el esquema de entrega de llamadas tradicional para localizar a la MT.

La figura 22 muestra la operación de esta técnica. Cuando una llamada es efectuada desde una MT1 a una MT2, el sistema puede localizar a la MT2 utilizando la información almacenada en el STP1. Como resultado, la MT2 es localizada sin necesidad de acceder a la base de datos HLR de la MT2. Utilizando este esquema, permite al STP localizar al VLR de la MT llamada buscando únicamente en una base de datos. Esto es cierto, siempre y cuando la información almacenada de ubicación de la terminal llamada sea válida (*éxito*).

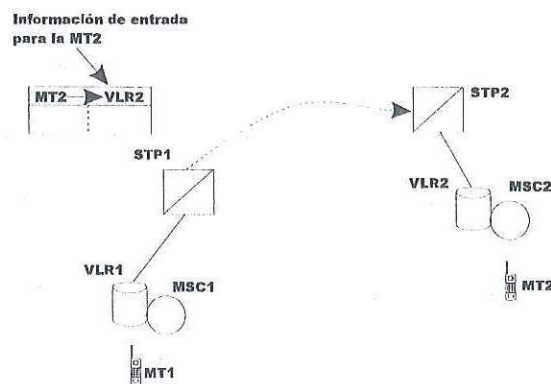


Figura 22. Almacenamiento de información de ubicación por usuario

### III.4.2. REPLICA DEL ARCHIVO DE USUARIO

Cuando se desea establecer una llamada para una MT remota, la red determina si se encuentra disponible localmente una copia del archivo de usuario destino. Si el archivo de usuario se encuentra, ya no es necesario buscar en la base de datos HLR y por lo tanto la red puede localizar a la MT, basándose en la información de ubicación disponible en la base de datos local. De lo contrario, la red localiza a la terminal móvil destino siguiendo los procedimientos del estándar GSM. Cuando la MT se mueve a otra localidad, la red actualiza todas las réplicas del archivo de la MT. Dependiendo de la tasa de movilidad de la Terminal Móvil y de la tasa de arribo de llamadas de cada localidad, este método podría reducir significativamente el tráfico de señalización y el acceso a las bases de datos para la administración local.

### III.4.3. UTILIZACIÓN DE APUNTADORES

La idea básica de esta estrategia es que en lugar de reportar un cambio de localización al HLR cada vez que la MT se mueva a una nueva área, la cual es controlada por un VLR diferente, simplemente se establece un apuntador desde el antiguo VLR al nuevo VLR. Cuando sea iniciada una llamada para la MT, la red localiza a la MT, primero determinando su VLR al comienzo de la cadena del apuntador siguiendo posteriormente al apuntador del actual VLR de la MT. Para minimizar el retardo en el proceso de localizar a una MT, la longitud de la cadena del apuntador es limitada a un valor máximo predefinido,  $K$ . Cuando la longitud del apuntador alcanza el tamaño  $K$ , no se permite una transmisión



adicional, y el cambio de ubicación debe ser reportado directamente al HLR cuando ocurra el siguiente movimiento. En la figura 23 se muestra la operación de los apuntadores. Los apuntadores son colocados desde el VLR1 al VLR2 y desde el VLR2 al VLR3, mientras que la MT se mueve desde MSC1 al MSC2 y desde el MSC2 al MSC3, respectivamente.

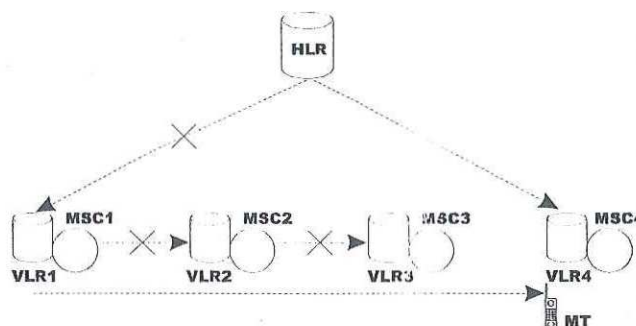


Figura 23. Registro de localización utilizando apuntadores de transmisión

Para  $K=2$ , el apuntador no puede extender más allá de este tamaño. Un movimiento adicional desde el MSC3 al MSC4 provocaría que se efectuara un registro de ubicación en el HLR. Los apuntadores originales son borrados junto con los registros del HLR y el número de identificación del VLR actual de la MT. Se ha demostrado que, dependiendo de los parámetros de movilidad y de arribo de llamadas así como del valor de  $K$ , este esquema podría no siempre resultar una reducción en costo comparándolo con el estándar GSM.

#### III.4.4. ESQUEMA DE PARTICIÓN (PARTITIONING SCHEME)

Debido a que los patrones de movilidad de la MTs varía entre áreas, se pueden realizar particiones de la red PCS, agrupando servidores de localización, donde la MT se mueve frecuentemente; por consiguiente el registro de ubicación se lleva a cabo únicamente

cuando la MT entra en una de esas particiones. La figura 24 muestra las particiones para una red PCS en particular.

Se puede observar en la figura, que la Partición P2, consiste de cinco servidores de localización los cuales son coordinados por un servidor de localización común LS2. Cuando una MT se mueve dentro de la partición P2, el LS2 es actualizado para indicar que la MT esta residiendo en su subárbol. No es necesario realizar un registro de ubicación cuando la MT se mueve a otro servidor de localización dentro de la misma partición. Este técnica minimiza el número de registros de ubicación en áreas donde el índice de movilidad de una MT es alto.

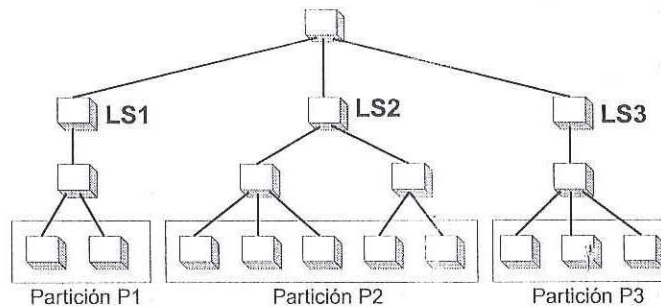


Figura 24. Esquema de Partición

#### III.4.5. UTILIZACIÓN DE APUNTADES EN UNA ARQUITECTURA DE ARBOL

La MT puede ser localizada en cualquier nodo de la jerarquía del árbol (no solamente en las hojas). La raíz de este árbol contiene una base de datos, pero no es necesario que los otros nodos también las tengan. Estas bases de datos almacenan apuntes para las MTs. Si una MT se encuentra residiendo en un subárbol de la base de

datos, se establece un apuntador en ella apuntando a la siguiente base de datos que pertenece al camino de la MT. Si no existe otra base de datos a lo largo de esta trayectoria, el apuntador apunta al nodo residente de la MT. Cuando se inicializa una llamada para una MT en un nodo dentro del árbol, la MT destino puede ser localizada siguiendo sus apuntadores.

La figura 25 muestra la operación de este esquema. Suponiendo que una llamada se inicia en el nodo A y la MT destino se encuentra en el nodo B. Se puede observar en la figura la trayectoria de búsqueda para encontrar a la MT destino. Si en el trayecto se encuentra una base de datos que no contiene apuntador de la MT, entonces es necesario realizar un acceso a la siguiente base de datos que se encuentra en el camino.

Dado los parámetros del sistema, tales como la tasa de movimiento entre áreas de ubicación, en este esquema se introduce un método para determinar la colocación de la base de datos, con esto se reduce el número de accesos y actualizaciones a las bases de datos.

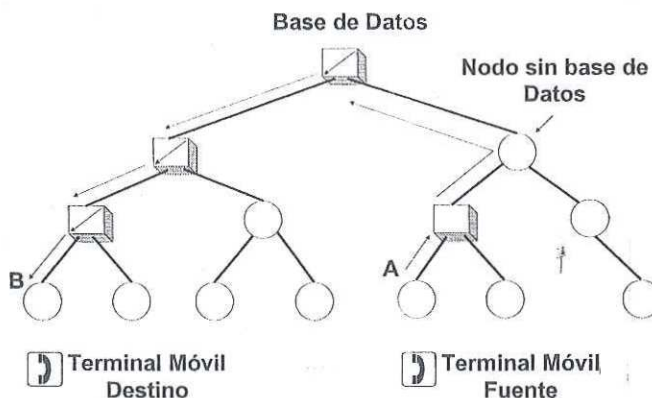


Figura 25. Utilización de apuntadores en una arquitectura de árbol



### III.5. PROPUESTA PARA MEJORAR LA ADMINISTRACIÓN DE LA MOVILIDAD

El registro de ubicación involucra el proceso de actualizar las bases de datos de la red. Por otro lado, la entrega de llamadas involucra investigar en las bases de datos para determinar la ubicación actual de la MT destino. Estos procesos son muy costosos, especialmente cuando la terminal móvil se encuentra muy alejado de su HLR.

El buscar información del usuario en todas las bases de datos consumiría mucho tiempo y podría provocar congestión. Una de las formas de eliminar la congestión en bases de datos muy grandes es el de reducir la tasa de accesos a ellas.

Como se había mencionado en la sección II.2.1, GSM utiliza una arquitectura de base de datos de dos niveles (HLR y VLR), debido a los frecuentes accesos al HLR, el retardo en esta base de datos degradará el desempeño del sistema. Bajo esta circunstancia, una de las soluciones es reducir los frecuentes accesos a ésta. De ahí la idea básica de diseñar un sistema jerárquico de bases de datos de tres niveles como se observa en la figura 26. La razón principal por la que ésta arquitectura jerárquica trabajaría en un ambiente PCS; es que tanto la entrega de llamadas como el registro de ubicación tienen un comportamiento en el mayor de los casos de naturaleza local; es decir, el usuario se desplaza normalmente en la misma o en áreas cercanas de su LA. El mismo fenómeno se observa en la entrega de llamadas; la mayoría de las llamadas realizadas por los usuarios son locales.

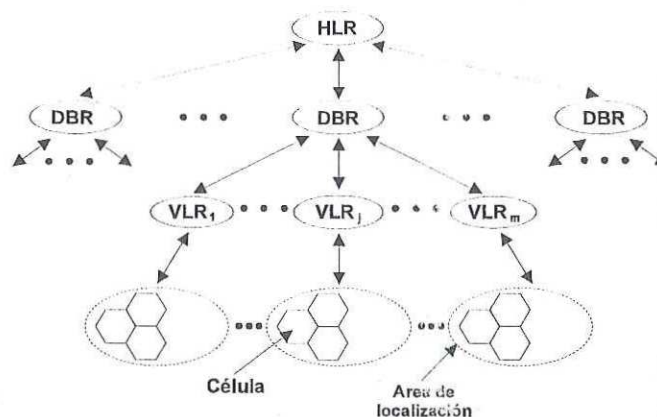


Figura 26. Arquitectura de Base de Datos de tres niveles

### III.5.1. ARQUITECTURA JERARQUICA DE BASE DE DATOS

La arquitectura de base de datos propuesta se basa en el estándar GSM, al cual se le ha agregado un nuevo nivel de base de datos llamado *Base de Datos de Registro (DBR)*. El establecimiento y las operaciones de las bases de datos, como HLR, VLR's y MSC's permanecen sin cambio, mientras que procesos adicionales son manejados por las DBR's. La figura 27 muestra la arquitectura de bases de datos propuesta la cual contiene al HLR, las DBR's, y los VLR's. Se asume que las DBR's están instalados en la red SS7 y cada DBR proporciona servicio a un cierto número de MSC's. El área de cobertura de una DBR es llamada *Área de Base de Datos de Registros (DBRA)*, y las funciones principales que deberán realizar son las siguientes:

1. Revisar periódicamente y almacenar la información de localización de las MT's a las que les está proporcionando servicio.
2. Transmitir el mensaje de registro de ubicación y las peticiones de inicio de llamada de una MT hacia los elementos de la red que indiquen los apuntadores de localización.

Varios VLR's son agrupados en un DBR y un cierto número de DBR's se encuentran conectados a un solo HLR. El HLR únicamente identifica en cual DBR se encuentra conectado el usuario, sin ninguna otra información de ubicación disponible. Esto es, el DBR apunta al VLR que el usuario está visitando actualmente.

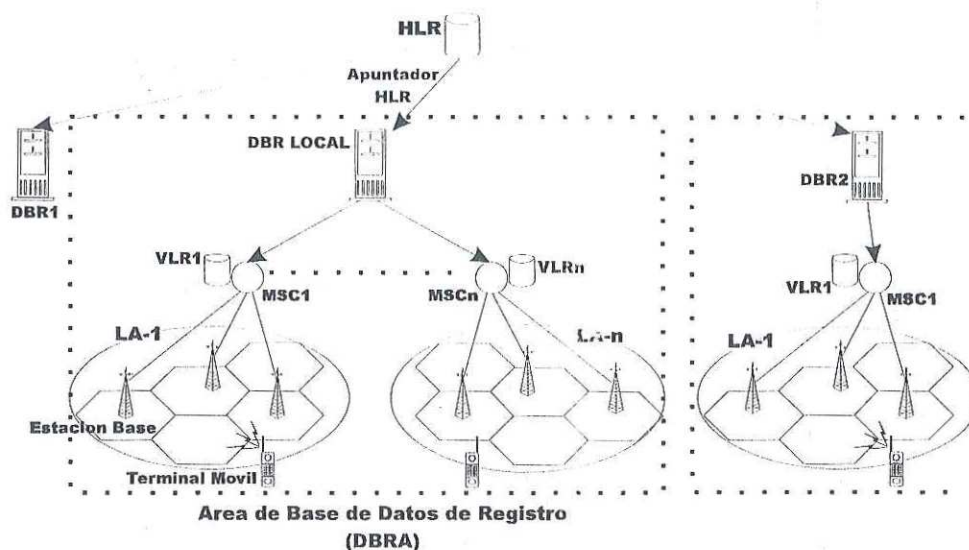


Figura 27. Arquitectura jerárquica de base de datos

Con esta arquitectura, la información transmitida por cada una de las estaciones base no solamente debe indicar su VLR sino también su correspondiente DBR. Esta información puede ser utilizada por el usuario móvil para detectar los límites del área de servicio del DBR así como también los límites de cruce de la LA. Si el usuario permanece en la misma DBRA, pero cruza los límites de una LA, el proceso de actualización de ubicación únicamente ocurre en los DBR y VLR involucrados. Sólo cuando el usuario entra





1. Una MT ha entrado a una nueva LA y requiere registrarse para tener acceso a sus servicios. El SIM de la terminal es asignado como ya se mencionó en el estándar GSM a una identidad llamada IMSI. A la terminal se le asignó una Identidad Temporal de Estación Móvil (TMSI: Temporal Mobile Station Identity) en el área de localización anterior.
2. El nuevo MSC actualiza su VLR asociado indicando que una MT visitante se encuentra residiendo actualmente en su área, el nuevo VLR crea un espacio de datos para la MT.
3. El VLR envía su dirección (VLRid) y un mensaje de registro de ubicación *REGNOT* al DBR local. En el mensaje recibido por el DBR, se indica si el movimiento del usuario ocurre en una misma DBRA (Intra-DBRA) o de una DBRA a otra (Inter-DBRA). Si acontece lo primero entonces ir al inciso a), de lo contrario ir al inciso b).
  - a) El DBR actualiza el área de localización de la MT indicando el nuevo MSC que le proporciona servicio, posteriormente envía un mensaje *REGCANC* al VLR de la anterior LA para que borre de su base de datos la información de la MT, debido a que ya no se encuentra en su LA asociada.
    - i) A su vez el VLR hace extensivo el mensaje *REGCANC* a su MSC asociado.
    - ii) El anterior MSC retorna el mensaje *CLR* para confirmar al VLR que se han cancelado los datos de la MT.

- iii) El VLR también le informa al DBR local que se ha eliminado a la MT de su base de datos.
  - b) El DBR local crea un directorio para la MT y registra el número de identificación del MSC de servicio. El DBR posteriormente envía un mensaje de registro de ubicación *REGNOT* al HLR a través del SCP.
    - i) Cuando el HLR recibe el mensaje *REGNOT*, actualiza el valor del apuntador asociado a la MT para que apunte a la nueva ubicación de la MT además envía un mensaje de cancelación de registro *REGCANC* al DBR anterior.
    - ii) El DBR anterior hace extensivo dicho mensaje de cancelación de registro al VLR y MSC anterior.
    - iii) El VLR/MSC envían un reconocimiento *CLR* al DBR anterior de que los datos del usuario han sido cancelados.
    - iv) El DBR retorna el mensaje *URL* al DBR local para confirmar que se ha registrado a la MT.
4. Cuando el DBR local es informado que la MT ha sido eliminada de la antigua LA, éste les hace saber al nuevo VLR y MSC por medio del mensaje *URL*, que la MT ha sido registrada satisfactoriamente. Cuando el mensaje *URL* alcanza al MSC de la nueva LA, el proceso de registro se da por concluido.



### III.5.1.2. ORIGEN DE LLAMADAS

El origen de llamadas involucra determinar cual MSC esta proporcionándole servicio a la MT destino. El proceso es similar al de registro de ubicación, el cual se enfoca en reducir los accesos a las bases de datos de los niveles más altos.

La figura 29 muestra el flujo de señales para la entrega de llamadas bajo la arquitectura de base de datos propuesta. El procedimiento se describe de la siguiente manera:

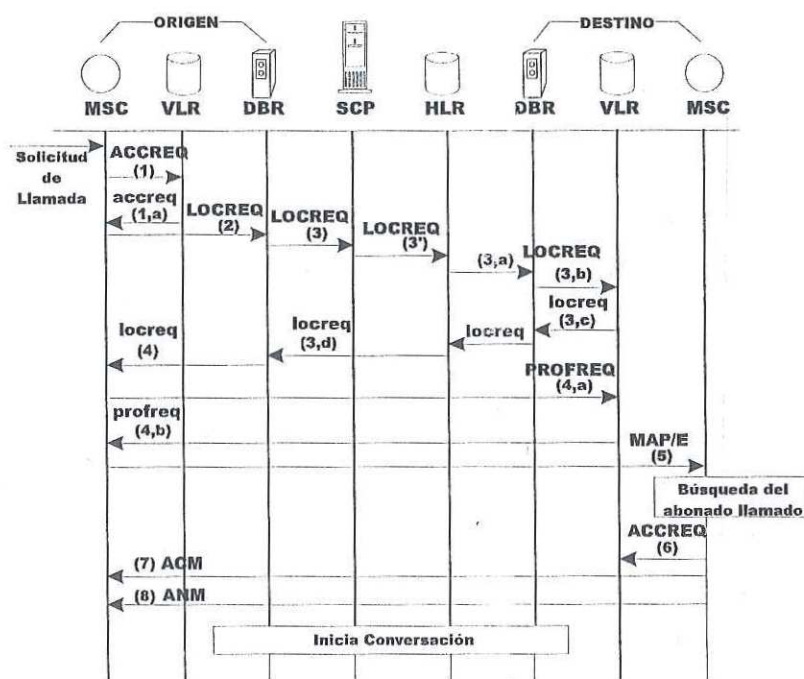


Figura 29. Origen de llamadas

1. El protocolo comienza cuando la MT origen desea realizar una llamada a otro usuario dentro de la red, a través de un procedimiento de petición de conexión con el fin de que se le asigne un canal para el tráfico de información. Una vez que la

conexión se ha establecido entre la MT y el MSC, este último envía un mensaje *ACCREQ* al VLR, solicitando permiso para que la MT pueda realizar la llamada. En este mensaje va incluido el TMSI de la MT, con el fin de que sea autenticada e identificada por el VLR.

- a) Si el procedimiento anterior resultó exitoso, significa que el usuario está autorizado para realizar llamadas desde su actual LA. Para confirmar lo anterior, el VLR reconoce el proceso de petición de acceso, enviando el mensaje *accreq* al MSC.
2. El MSC origen accesa al DBR local (vía SCP) a través del mensaje *LOCREQ* para conocer la LA actual en la que se encuentra la MT destino. El DBR busca información de ubicación del usuario destino, si ésta existe significa que el usuario llamado se encuentra en la misma DBRA del móvil originador. Después de lo anterior pasar al punto 4.
  3. Si no existe información de ubicación de la MT llamada en el DBR local, éste último envía una petición de ubicación al HLR de la MT.
    - a) El HLR envía un mensaje de petición de ubicación *LOCREQ* al DBR de la MT destino.
    - b) El DBR destino transmite el mensaje al VLR que sirve a la MT llamada.
    - c) El VLR asigna un Número de Localización Temporal (TLDN) a la MT destino y lo transmite junto con la identificación de la LA donde se encuentra el usuario llamado al DBR origen a través del HLR (d).

4. Cuando el MSC origen recibe la LA y el TLDN desde el DBR local (a través del mensaje *locreq*), puede entonces establecer una conexión con el VLR asociado a la LA en la que el abonado llamado se encuentra.
  - a) El MSC solicita al VLR de la terminal llamada el archivo de usuario por medio del mensaje *PROFREQ*. Este archivo de usuario es necesario, debido a que, en éste se almacena toda la información, incluyendo los servicios suscritos, célula en que reside la MT, restricciones y parámetros requeridos por la red para establecer apropiadamente la llamada.
  - b) El VLR responde a la petición del MSC enviándole el archivo de usuario a través del mensaje *profreq*.
5. Una vez que el MSC ha analizado el archivo de usuario, determina que la llamada puede proceder, entonces utiliza el protocolo MAP/E para informarle al MSC destino que establezca la llamada con la MT. El MSC utiliza este protocolo para informarle a todas las BS's que se encuentran dentro de la LA que busquen al abonado llamado.
6. Cuando la MT responde al proceso de búsqueda, realiza el mismo procedimiento (punto 1) de petición de conexión, identificación y autenticación de la MT origen.
7. Posteriormente, el MSC envía al punto origen información acerca de los detalles de la llamada, incluyendo el número del abonado llamado y el servicio de conexión requerido.



8. La MT origen establece una conexión con el MSC destino utilizando el TLLN. El MT destino acepta o en su defecto rechaza la llamada, si la llamada es aceptada, entonces la conversación comienza entre los abonados.

### III.5.2. ARQUITECTURA JERARQUICA DINÁMICA DE BASE DE DATOS

En base al patrón de establecimiento de llamadas de los usuarios y de sus movimientos dentro del sistema PCS, se puede observar que tienen un comportamiento local. Tomando en cuenta la arquitectura jerárquica que se había establecido en la sección anterior y considerando que existe mayor probabilidad de que el establecimiento de llamadas y el registro de localización se efectúe en la misma o en áreas de localización vecinas, se ha propuesto una técnica basada en la utilización de apuntadores para adoptar la relación de localidad en el control eficiente de ubicación del usuario llamado, mejorando el desempeño del sistema PCS.

Los apuntadores de localización que se manejarán para cada una de las MT's son:

- *Apuntador Local*: Este tipo de apuntador se almacenan en el DBR de la MT, el cual indica cual MSC le está proporcionando servicio actualmente. En base al esquema propuesto, el DBR contiene un apuntador local para cada una de las MT's a las que le proporciona servicio.
- *Apuntador Remoto Directo*: Se almacena en un DBR remoto el cual indica el MSC que esta proporcionando servicio a la MT.
- *Apuntador Remoto Indirecto*: Se almacena en un DBR remoto el cual indica cual DBR esta proporcionando servicio a la MT.

La función principal de los apuntadores, es la de distribuir la información de localización de la MT.

La figura 30 muestra el esquema de configuración utilizando apuntadores para una MT. Se observa que una MT se encuentra actualmente residiendo bajo un  $MSC_1$  y ésta tiene una apuntador remoto directo y uno indirecto desde  $DBR_1$  y  $DBR_2$  respectivamente. El HLR registra el número de identificación del DBR que proporciona servicio a la MT actualmente. Cuando la MT se mueve a otro MSC dentro del mismo DBRA, el apuntador local y el apuntador remoto directo se invalida y el DBR actualiza esos apuntadores para establecer la ubicación correcta de la MT. Cuando la MT se mueve a otra DBRA, el nuevo DBR le informa al HLR del cambio de ubicación y actualiza todos los apuntadores asociados con la MT.

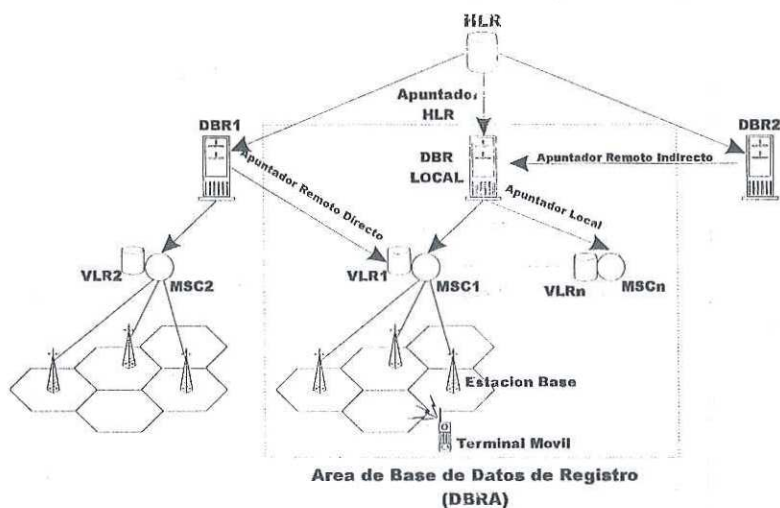


Figura 30. Configuración de apuntadores

El DBR reconfigura los apuntadores de forma periódica, con el fin de tener el registro actual de donde se encuentra localizado la MT. Si un apuntador remoto ya no es necesario, este se borra en lugar de ser actualizado, cuando se vuelve inválido. Es de notarse que un apuntador remoto directo se vuelve inválido cuando la MT se mueve a otro MSC y un apuntador remoto indirecto se vuelve inválido cuando la MT se mueve a otro DBRA.

Los apuntadores de localización se encuentran registrados en una tabla de direccionamiento en el DBR. Cuando el DBR reciba un registro de localización o una petición de entrega u origen de llamada, se ejecuta una operación de búsqueda en dicha tabla y la petición es transmitida a los elementos involucrados en la red.

Los procedimientos para registro de ubicación y origen de llamadas bajo esta nueva arquitectura de base de datos se presenta en las secciones siguientes.

### **III.5.2.1. REGISTRO DE LOCALIZACIÓN**

La figura 31 ilustra el flujo de mensajes durante el proceso de registro de localización utilizando la técnica de apuntadores en los DBR. El flujo de mensajes se explica como sigue:

1. El flujo de mensajes inicial es similar a aquel explicado para el proceso de registro de localización (sección III.5.1.1) cuando no se utilizan apuntadores, únicamente es necesario agregar la operación al momento de actualizar los apuntadores.



2. Si el movimiento de la MT ocurre en una misma DBRA (Intra-DBRA), se incluye hasta el punto 3,a,iii) y se agrega un punto adicional:
  - i) Cuando existen apuntadores remotos directos en uno o más DBR's remotos, el DBR local envía un mensaje de actualización de apuntadores *REGPOINTD* a todos los DBR's remotos que contengan un apuntador remoto directo para la MT en cuestión.
  - ii) Los DBR's remotos actualizan sus apuntadores y envían un mensaje de reconocimiento al DBR local *regpointd* (es decir al que esta proporcionando servicio a la MT actualmente).
  
3. Si el movimiento ocurre de una DBRA a otra (Inter-DBRA), se incluye hasta el punto 3,b,iv), y se agrega un punto adicional.
  - i) Cuando ocurre un movimiento por parte de la MT de este tipo es necesario actualizar los apuntadores remotos tanto directo como indirecto. El DBR local envía un mensaje de actualización de dichos apuntadores *REGPOINTI* a todos los DBR's remotos.
  - ii) Los DBR's remotos actualizan sus apuntadores y envían un mensaje de reconocimiento *respoiniti* al DBR que proporciona servicio a la MT.

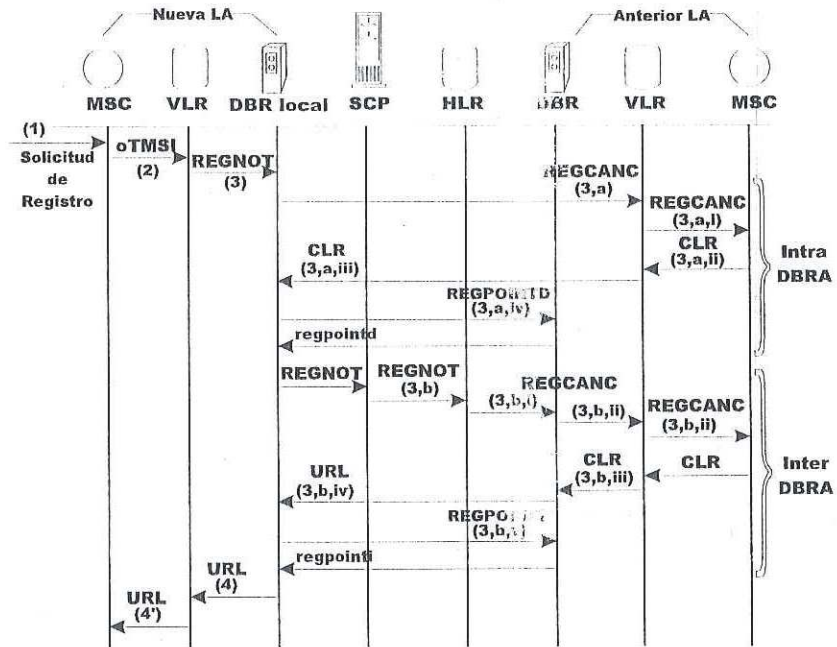


Figura 31. Registro de localización

**III.5.2.2. ORIGEN DE LLAMADAS**

La figura 32 ilustra el flujo de mensajes durante el proceso de entrega de llamadas utilizando la técnica de apuntadores en los DBR. El flujo de mensajes se explica como sigue:

1. El protocolo comienza cuando la MT origen desea realizar una llamada a otro usuario dentro de la red. La MT pide que se le asigne una conexión través de un procedimiento de petición de conexión. Una vez que la conexión se ha establecido entre la MT y el MSC, este último envía un mensaje *ACCREQ* al VLR, solicitando permiso para que la MT pueda realizar la llamada.

- a) El VLR reconoce el proceso de petición de acceso, enviando el mensaje *accreq* al MSC.
2. El MSC origen accesa al DBR local (via SCP) a través del mensaje *LOCREQ* para conocer la LA actual en la que se encuentra la MT destino. El DBR busca información de ubicación del usuario destino; así como también la existencia de apuntadores, si éstos existen, el DBR local tratará de establecer comunicación con los elementos del sistema necesarios para localizar a la MT destino sucediendo cualquiera de los siguientes casos:
- a) Si existen apuntadores locales para la MT destino en el DBR, significa que la MT se encuentra en la misma DBRA, más sin embargo no es necesario que se encuentre en la misma LA de la MT origen se realiza el siguiente procedimiento:
    - i) El DBR local envía un mensaje de petición de ubicación *LOCREQ*, al MSC local que le proporciona servicio a la MT destino.
    - ii) El MSC asigna un Número de Localización Temporal (TLDN) al MT destino y envía este número al DBR origen.
  - b) Por otro lado, si existe un apuntador remoto directo para la MT llamada, en el DBR, entonces sucede lo siguiente:
    - i) El DBR envía un mensaje de petición de ubicación al MSC remoto el cual le proporciona servicio a la MT destino.



- ii) El MSC asigna un TLDN a la MT destino y lo transmite junto con la identificación de la LA donde se encuentra el usuario llamado al DBR origen.
  - c) Si existe un apuntador remoto indirecto para la MT llamada en el DBR, entonces se efectúa lo siguiente:
    - i) El DBR envía un mensaje de petición de localización *LOCREQ* al DBR de la MT destino.
    - ii) El DBR destino transmite el mensaje de petición de ubicación al MSC que controla el LA donde se encuentra la MT llamada.
    - iii) El MSC asigna un TLDN a la MT destino y lo envía al DBR local origen.
  - d) Si no existe información de ubicación de la MT llamada en el DBR local, éste último envía una petición de ubicación al HLR de la MT. El flujo de mensajes para este caso es el mismo a aquel explicado para el proceso de origen de llamadas cuando no se utilizan apuntadores.
3. Cuando el MSC origen recibe la LA y el TLDN desde el DBR local (a través del mensaje *locreq*), puede entonces establecer una conexión con el VLR asociado a la LA en la que el abonado llamado se encuentra.
- a) El MSC solicita al VLR de la terminal llamada el archivo de usuario por medio del mensaje *PROFREQ*. Este último es necesario, debido a que, en éste se almacena toda la información, incluyendo los servicios suscritos,

célula en que reside la MT, restricciones y parámetros requeridos por la red para establecer apropiadamente la llamada.

b) El VLR responde a la petición del MSC enviándole el archivo de usuario a través del mensaje *profreq*.

4. Una vez que el MSC ha analizado el archivo de usuario, determina que la llamada puede proceder, entonces utiliza el protocolo MAP/E para informarle a el MSC destino que establezca la llamada con la MT. El MSC utiliza este protocolo para informarle a todas las BS's que se encuentran dentro de la LA que busquen al abonado llamado.
5. Cuando la MT responde al proceso de búsqueda, utiliza el mismo procedimiento de petición de conexión, identificación y autenticación de la MT origen.
6. Posteriormente el MSC envía al punto origen información acerca de los detalles de la llamada, incluyendo el número del abonado llamado y el servicio de conexión requerido.
7. La MT origen establece una conexión con el MSC destino utilizando el TLDN. El MT destino acepta o en su defecto rechaza la llamada, si la llamada es aceptada, entonces la conversación comienza entre los abonados.

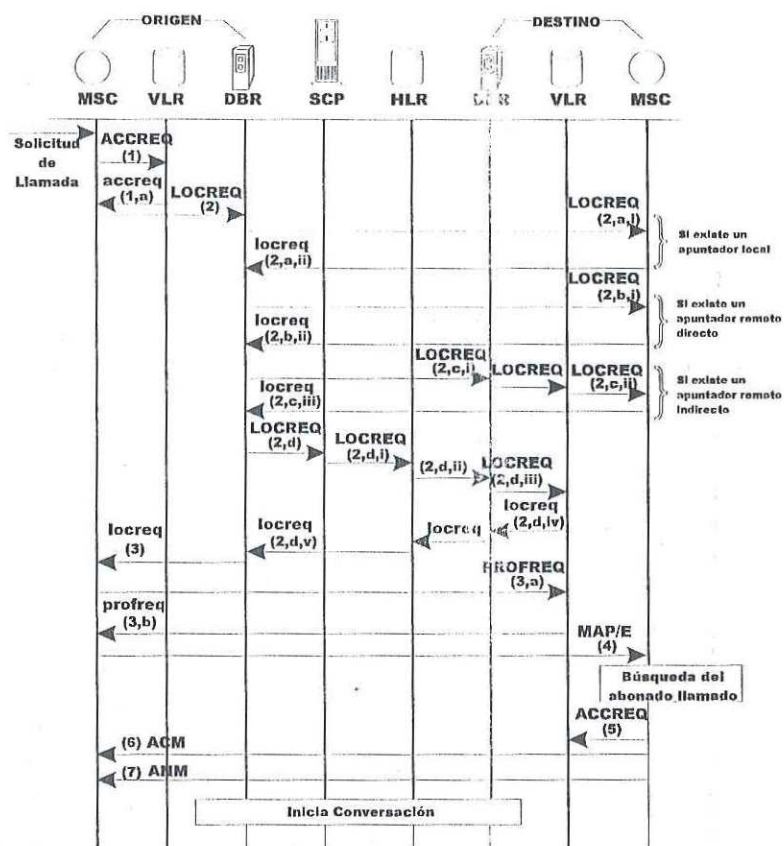


Figura 32. Origen de llamada

Con la información de los capítulos anteriores acerca del funcionamiento del protocolo de señalización de los sistemas PCS, continuaremos en la siguiente sección con la presentación del modelo y los parámetros considerados para efectuar la simulación.



## CAPÍTULO IV. MODELADO DE UNA RED PCS BASADA EN EL ESTÁNDAR GSM

En las Figuras 33 y 34 se muestran las redes GSM de 2 niveles y GSM de 3 niveles respectivamente, seleccionadas para efectos de la evaluación de su desempeño. Ambas arquitecturas son muy similares a la mostrada en la figura 2. Sólo que se han omitido a las MT's, BS's y BSC's ya que sólo estamos interesados en la señalización dentro de la red SS7. En la configuración de la figura 34 se ha agregado un nivel de base de datos llamado *Base de Datos de Registro (DBR)*. El universo de estudio consta de nueve áreas de localización con sus respectivos MSCs y bases de datos VLR asociadas. En la arquitectura de base de datos de tres niveles se han agrupado a tres áreas de localización por DBR, como podemos ver en la figura 34. Además existen dos LEs (Oficinas Locales) para representar la interconectividad de la red PCS con la PSTN. Hay un par de oficinas de tránsito (TE), tres STPs y un SCP con su respectiva base de datos HLR.

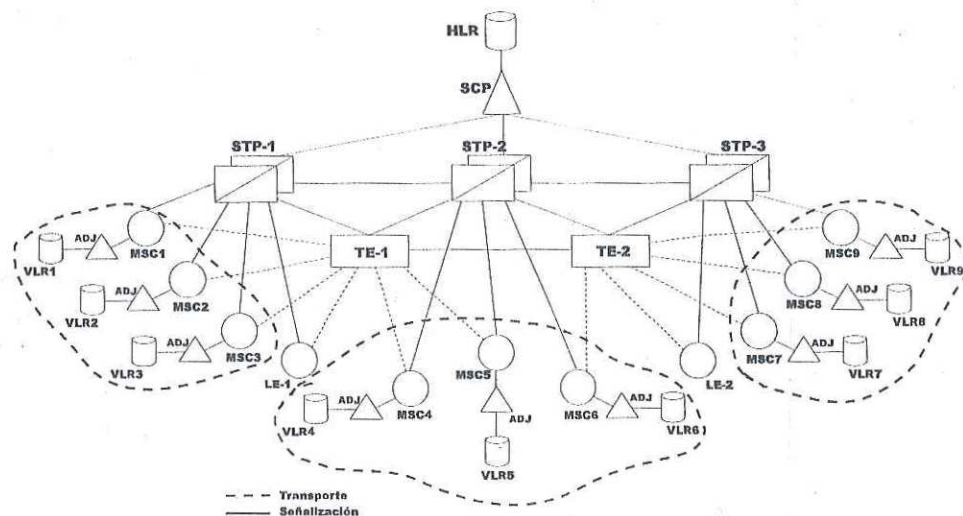


Figura 33. Red de referencia GSM-2niveles

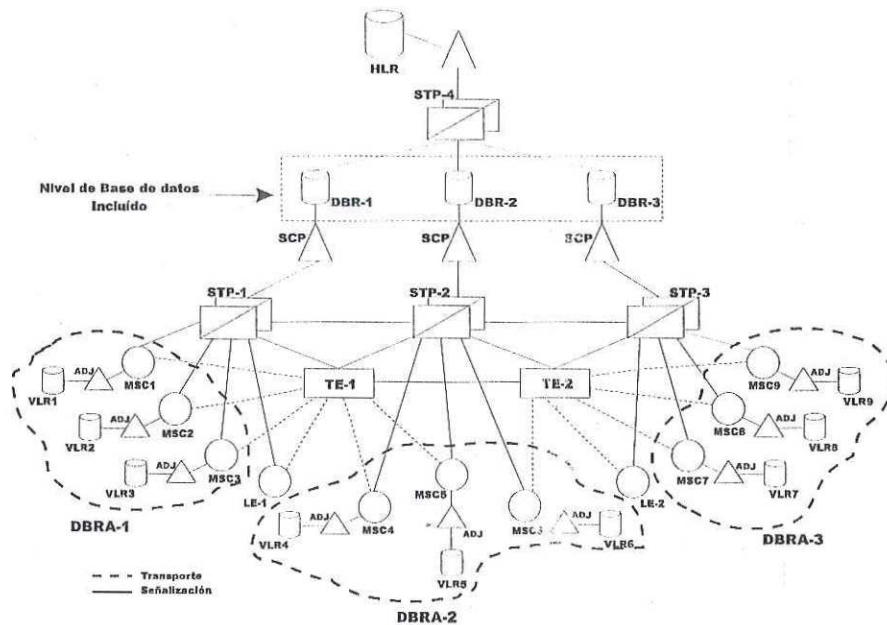


Figura 34. Red de referencia GSM-3niveles

#### IV.1. FUNCIONALIDAD DE SS7 REQUERIDA EN LOS DIVERSOS ELEMENTOS DE LA RED

La Figura 35 presenta la funcionalidad del SS7 incluida en los diversos elementos de la red PCS. El STP en su papel de enrutador de paquetes implementa solamente las capas inferiores de SS7 que equivalen a los tres primeros niveles del modelo OSI. La TE requiere ISUP para implementar funciones de control de llamada (por ejemplo establecimiento y liberación de conexiones entre LEs y MSCs). La LE y el MSC requieren de TCAP e ISUP ya que ambos implementan GSM-MAP y operaciones relacionadas al control de llamada (ver por ejemplo los diagramas de las Figuras 19,20,21,28 a la Figura 32). El SCP y el ADJ solamente implementan TCAP ya que ellos no se involucran en operaciones relacionadas al control de llamada.

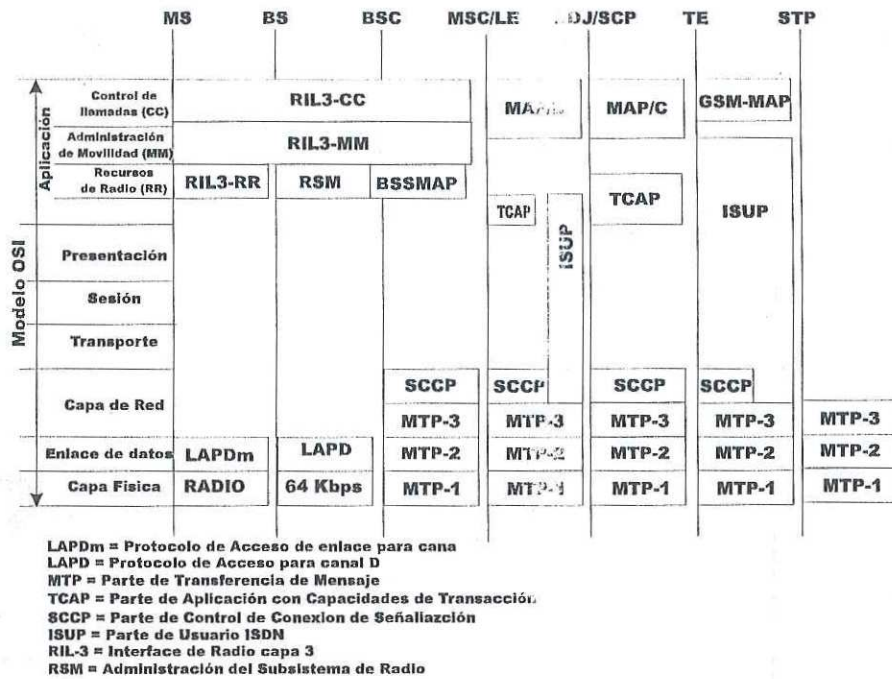


Figura 35. Funcionalidad SS7 en los nodos de la red

#### IV.2. MODELADO DE LAS DIFERENTES CAPAS DE LA SS7

Se desarrollaron modelos de colas para cada una de las diferentes capas de la SS7 a partir de los bloques funcionales que fueron presentados en las figuras 5, 6, 8, 11 y 13.

No se incluyen en los modelos las funciones para el manejo y la administración de la red (tales como funciones de reconfiguración en caso de fallas, funciones para restablecer enlaces o nodos, etc.). Por ser condiciones de excepción que rebasan los objetivos de este trabajo, y para prevenir que el modelo sea extremadamente complejo. Se considera por conveniencia y sin perder generalidad [Willmann Gert y Paul Kühn, 1990; Bafutto Marcos, *et al*, 1994], que existe un procesador asignado a cada capa de la SS7 encargado de realizar la funcionalidad identificada en cada capa, la Tabla II resume dichas funciones.



De igual manera, la funcionalidad considerada para SCCP no incluye a las funciones de control orientadas a conexión, debido, a que los PCS sólo utilizan las funciones orientadas a no conexión (Sección II.4.7). Los modelos de colas para cada una de las capas de la SS7 se muestran de la figura 36 a la 40. Las colas de cualesquiera de las capas tienen asignada prioridad. Lo que significa que el procesador de la capa dará preferencia a ciertas colas sobre otras. Se ha supuesto que el tiempo de servicio para cada una de las colas de una capa es fijo; esto es razonable ya que para una cola determinada, el procesador realiza exactamente el mismo procesamiento (la misma función).

**Tabla II. Funcionalidad en las diversas capas de la SS7**

Capa SS7	Proceso	Descripción	Abreviación
TCAP	1	Subcapa de Manejo del Diálogo de Componentes	SMDC
	2	Subcapa Coordinadora de Componentes	SCC
	3	Subcapa de Transacción	ST
ISUP	1	Control para Procesamiento de Llamadas de Llegada	CPLL
	2	Control para Procesamiento de Llamadas de Salida	CPLS
	3	Control de Distribución de Mensajes	CDM
	4	Control de Envío de Mensajes	CEM
SCCP	1	Control Orientado a no Conexión para Recepción	CONCR
	2	Control Orientado a no Conexión para Transmisión	CONCT
	3	Control de Enrutamiento en Recepción	CER
	4	Control de Enrutamiento en Transmisión	CET
MTP-3	1	Discriminación de Mensajes	DISCM
	2	Distribución de Mensajes	DISTM
	3	Enrutamiento de Mensajes	EM
MTP-2	1	Control de Recepción	CR
	2	Control de Transmisión	CT
	3	Delimitación, Alineamiento y Detección de Error en la Recepción	DADER
	4	Delimitación, Alineamiento y Detección de Error en la Transmisión.	DADET
MTP-1	-	-	-

La prioridad establecida en cada una de las colas, hace que un mensaje que ingresa a cualquiera de las capas, permanezca en la capa (antes de ser enviado a otra capa) durante un tiempo aleatorio con promedio y distribución conocida.

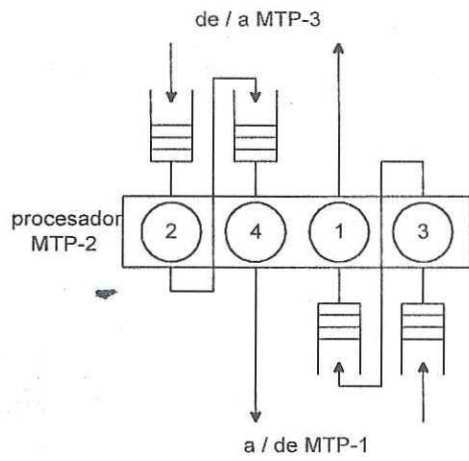


Figura 36. Modelo de colas para la MTP-2

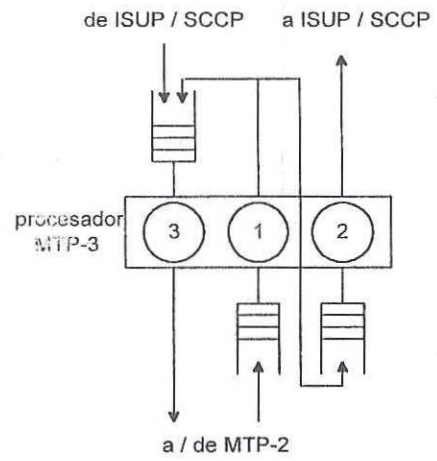


Figura 37. Modelo de colas para la MTP-3

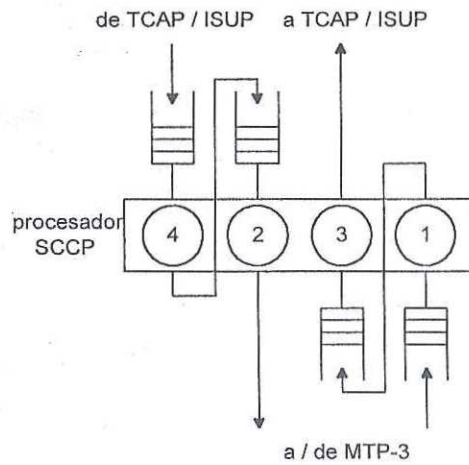


Figura 38. Modelo de colas para la SCCP

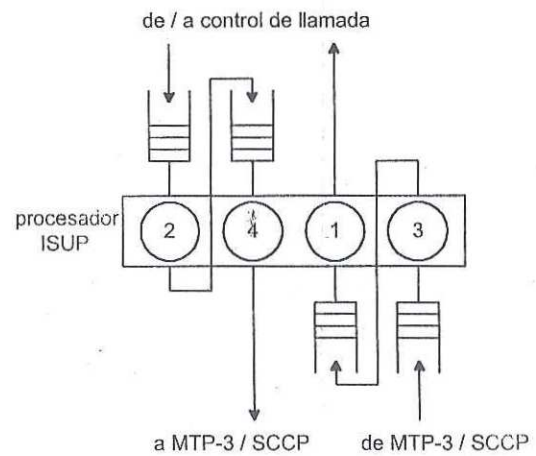


Figura 39. Modelo de colas para la ISUP

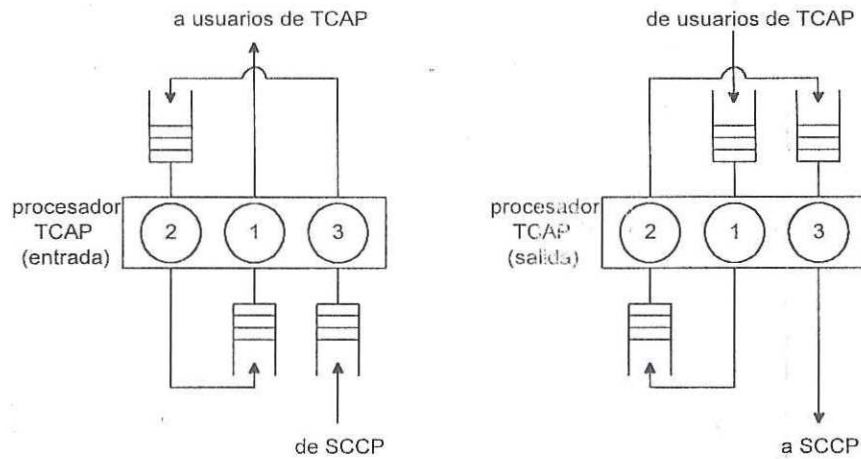


Figura 40. Modelo de colas para la TCAP

El modelar éstas colas por simulación es más conveniente que hacerlo analíticamente. La razón es que éstas son colas de prioridad y con retroalimentación; es decir, en ocasiones, una vez que un mensaje ha recibido servicio por parte del procesador de una capa, el mensaje vuelve a formarse en otra fila para recibir de nuevo servicio por el mismo procesador. En situaciones como ésta, son muchas las simplificaciones que deben hacerse durante el modelado analítico a fin de obtener una expresión matemática manejable, lo cual realza la conveniencia del modelado por simulación.

La prioridad y el tiempo de procesamiento para cada una de las colas en las diferentes capas se resume en la Tabla III. Se ha demostrado por [Bafutto Marcos, *et al*, 1996] que cuando la prioridad en las colas es como se indica en dicha tabla, se obtiene el mejor rendimiento de la red de señalización. Adicionalmente los autores proponen valores para el tiempo de procesamiento para los mensajes en cada una de las colas de una capa. Estos



valores han sido adoptados para este trabajo, salvo que se ha incluido un orden de magnitud mayor en la capacidad de procesamiento debido a que desde que se editó ese artículo a la fecha, la capacidad de procesamiento de los microprocesadores se ha incrementado al menos diez veces.

**Tabla III. Tiempo de procesamiento y prioridad para las colas de las capas de la SS7**

Capa SS7	Proceso	Abreviación	Prioridad	Tiempo de Procesamiento (ms)
TCAP	1	SMDC	2	0.2
	2	SCC	3	0.2
	3	ST	1	0.1
ISUP	1	CPL-L	3	0.2
	2	CPL-S	2	0.2
	3	CDM	4	0.05
	4	CEM	1	0.05
SCCP	1	CONC-R	3	0.1
	2	CONC-T	2	0.1
	3	CE-R	1	0.1
	4	CE-T	4	0.1
MTP-3	1	DISCM	1	0.05
	2	DISTM	2	0.05
	3	EM	3	0.05
MTP-2	1	C-R	4	0.05
	2	C-T	3	0.05
	3	DADE-R	2	0.05
	4	DADE-T	1	0.05

Otros tiempos de procesamiento considerados en el modelo se muestran en la Tabla IV y se resumen en seguida. Como sabemos, el desempeño de un sistema de base de datos puede ser medido por el número de transacciones por segundo (accesos ya sea para escritura o para lectura de información) que soporta, su capacidad de almacenamiento o por el retardo extremo-extremo sufrido por una petición de servicio. Este último es uno de los parámetros de medición más importantes.

Hemos supuesto que las bases de datos HLR, DBR y VLR soportan en promedio 200 transacciones por segundo, cifra que corresponde a los valores reales soportados por las

bases de datos de los sistemas disponibles en el mercado. En general el tiempo para lectura en las bases de datos, es menor que aquel que se requiere para su escritura. En este trabajo se ha asumido que el tiempo de procesamiento para la lectura de la base de datos se distribuye exponencialmente y con media 4.34 milisegundos, mientras que el tiempo de escritura también se distribuye exponencialmente y con media 5.82 milisegundos. Operaciones de lectura en las bases de datos son por ejemplo la solicitud del archivo de usuario (PROFREQ), solicitud de ruta (ROUTEREQ). etc. Ejemplos de operaciones de escritura en las bases de datos son la notificación de registro (REGNOT), cancelación de registro (REGCANC), etc.

**Tabla IV. Otros tiempos de procesamiento considerados**

Tiempo de Procesamiento en las Bases de Datos (HLR, DBR y VLR)	
Tiempo de lectura	Distribuido exponencialmente con media 4.34 (mseg.)
Tiempo de escritura	Distribuido exponencialmente con media 5.82 (mseg.)
Tiempo del Proceso de Búsqueda (Paging)	
Cuando la MT responde	Distribuido exponencialmente con media 5.0 (mseg.)
Tiempo de Conexión	
Tiempo para expedir el mensaje ACM cuando se recibe IAM	Distribuido exponencialmente con media 1.0 (mseg.)
Tiempo de Apuntadores	
Tiempo de lectura	Distribuido exponencialmente con media 4.34 (mseg.)
Tiempo de escritura	Distribuido exponencialmente con media 5.82 (mseg.)

Se ha asumido que el tiempo que se requiere para realizar el proceso de búsqueda de la MT en las celdas que forman la LA durante la entrega de llamada se distribuye exponencialmente con una media de 5 milisegundos.

El tiempo de establecimiento de la conexión representa el tiempo necesario que le toma a un nodo de la red (TEs, MSCs ó LEs ) para establecer un circuito sobre la red de transporte

una vez que éste ha recibido un mensaje ISUP IAM; se ha asumido que este tiempo sigue una distribución exponencial con una media de 1 milisegundo.

### IV.3. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

Las redes de las Figuras 33 y 34 fueron implementadas utilizando OPNET. Los diferentes elementos de la SS7 fueron modelados como se mostró en las figuras 36-40, con la funcionalidad, prioridades y tiempos de procesamiento mostrados en las Tablas II-IV. Las bases de datos HLR, DBR y VLR fueron modeladas como un nodo consistiendo de un servidor y una cola de almacenamiento. Dichas colas fueron implementadas del tipo M/M/1 con tiempos de procesamiento dados por la Tabla IV. El flujo de mensajes y los mecanismos para el control de llamada (establecimiento de llamada) fueron implementados como usuarios de TCAP. Se desarrollaron 3 modelos correspondientes a 3 variantes de operación de la IN de SS7 en forma separada. Uno correspondiendo a la arquitectura de dos niveles de bases de datos (HLR-VLR), otro en donde se utiliza una arquitectura de tres niveles de bases de datos (HLR-DBR-VLR) y el otro en donde bajo la misma arquitectura jerárquica de base de datos se implementa una técnica de registro de ubicación, origen y entrega de llamadas utilizando apuntadores. Los últimos dos modelos utilizan la misma estructura física de red y la funcionalidad incluida en los nodos de la red es la misma en ambos casos, la única diferencia es la operación de la base de datos DBR.

En todos los casos considerados, los procesos tienen como destino un nodo seleccionado aleatoriamente por medio de una distribución uniforme. Por ejemplo, en el



proceso de registro de terminales, la LA anterior es seleccionada aleatoriamente; similarmente en el proceso de llamada originada, el LE destino es seleccionado mediante una distribución aleatoria uniforme, etc. Para el tiempo entre llegadas para cada uno de los diferentes procesos se adoptó una distribución exponencial, siguiendo la convención de que la distribución exponencial es ampliamente utilizada para modelar tráfico telefónico.

El simulador orientado a comunicaciones OPNET, fue utilizado en este trabajo, debido en parte a su inmediata disponibilidad, y por otra parte debido a que éste representa una de las mejores y más completas herramientas para la evaluación del desempeño de redes de comunicaciones. Como anexo a este trabajo se incluye un resumen de las características más sobresalientes de OPNET.

#### IV.4. SIMPLIFICACIONES Y LIMITACIONES

En todas las colas del modelo (las colas de cada una de las capas y colas que modelan a las bases de datos) se especificó una capacidad de almacenamiento infinita. De haber considerado colas con una capacidad de almacenamiento limitado, se hubieran producido pérdidas de mensajes de señalización cuando la capacidad de alguno de los elementos llegara a excederse; para evitar estas pérdidas, se requiere implementar mecanismos de control de flujo y congestión para controlar la admisión de llamadas en la red [Bedoy Jesús, 1997] para asegurar cierta calidad de servicio a los usuarios. Otro par de



simplificaciones importantes que se han hecho en los modelos desarrollados son las siguientes:

1. La primera de ellas es que no se modeló el mecanismo de control de flujo y error de MTP-2, y su funcionamiento se representa por tiempos de retardo conocidos. Hay dos razones importantes para no hacerlo: La primera es que el tiempo necesario para correr una simulación no sería mucho debido a las limitantes en los equipos de cómputo y programas de simulación actuales, por ejemplo en [Unger Brian *et al.* 1994] para modelar en detalle a la SS7 requirieron de 200 MB de memoria RAM y 52 horas de simulación en una computadora SUN SPARC 20. En [Gomes Fabian, 1993] se considera el uso de un simulador paralelo (que requiere de una computadora con procesadores múltiples) para acelerar el tiempo de ejecución de un programa de simulación que modela la SS7 en detalle. La segunda razón es que estos mecanismos han sido ya estudiados y modelados en detalle en [Ramaswami V. y Jonathan Wang, 1993; Hou Victor *et al.*, 1994] con anterioridad.
2. La segunda consideración es que se ha supuesto que la capacidad de los enlaces de comunicación (capa MTP-1) es ilimitada. Esto es, se ha considerado que los enlaces que conectan entre sí a dos elementos adyacentes de la red, son capaces de transportar cualquier cantidad de mensajes de señalización. Esta consideración así mismo puede justificarse por medio de 2 argumentos. El primero es que en las redes SS7 se

recomienda que la utilización de los enlaces sea a lo mucho de un 40% [Stallings William, 1995] de su capacidad (debido a los requerimientos de disponibilidad los enlaces se proyectan para soportar el transporte de información cuando algún enlace llegara a fallar). La segunda justificación se debe al hecho de que es posible agrupar hasta 36 enlaces de 64 kbps entre dos elementos de la red SS7. Al considerar una capacidad ilimitada en los enlaces de señalización estamos suponiendo que los diseñadores de la red no escatimarán en este recurso. En [Kathleen S. Meier-Hellstern, *et al*, 1992] se ofrece una serie de cálculos para determinar la capacidad necesaria de los enlaces entre dos nodos de la SS7 al soportar PCS. Al considerar una capacidad ilimitada en los enlaces de señalización, se consigue que el tamaño de los mensajes de señalización (TCAP ó ISUP) no sea de importancia en el modelo.

En el siguiente capítulo presentamos los resultados obtenidos a partir de las simulaciones y un análisis e interpretación de los resultados.

## CAPÍTULO V. DISEÑO DE LAS CORRIDAS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

### V.1. COMENTARIOS

Los siguientes comentarios son extensivos para todas las simulaciones realizadas en este trabajo. En todas las figuras se presenta un intervalo de confianza del 95%, obtenido corriendo cinco réplicas de la simulación (utilizando semillas diferentes en cada una). Por ejemplo, para obtener tan sólo la curva dibujada con línea sólida de la Figura 41 se ejecutó 5 veces la simulación para cada uno de los 6 puntos que conforman la curva (5 de los puntos se aprecian en la gráfica, el sexto ya no). Haciendo esto que para la obtención de cada una de las gráficas se requiere unas 6 horas de tiempo de procesamiento, utilizando una supercomputadora (CICESE-2000). Todas las figuras en donde el retardo extremo-extremo es la variable dependiente, se caracterizan por retardos intolerables (teóricamente infinitos) una vez que la capacidad de alguno de los elementos de la red ha sido rebasada. Por razones de espacio, en las gráficas se muestran las siguientes abreviaciones cuyo significado es:

*GSM-2 niveles*: corresponde a la arquitectura de base de datos de 2 niveles (HLR-VLR).

*GSM-3 niveles*: corresponde a la arquitectura de base de datos de 3 niveles (HLR-DBR-VLR).

*Apuntadores*: corresponde a la arquitectura de base de datos de 3 niveles utilizando la técnica de apuntadores para el registro de localización y entrega de llamadas.

## V.2. COMPARACIÓN ENTRE UN SISTEMA CON ARQUITECTURA JERÁRQUICA DE BASE DE DATOS Y ARQUITECTURA DE BASE DE DATOS GSM.

A fin de conocer el desempeño de un sistema PCS, cuando se utiliza y no una arquitectura jerárquica de base de datos, se probaron dos situaciones diferentes: La situación a) que se caracteriza por la existencia de usuarios que presentan alta movilidad, pero que ofrecen una reducida tasa de llamadas, caso típico cuando los usuarios viajan en auto. En la situación b), los usuarios presentan una baja movilidad y una mayor tasa de llamadas que en el caso anterior; esta situación es característica de usuarios pedestres.

La movilidad de los usuarios es directamente proporcional al número de procesos de registro de terminales. Así mismo, la tasa de llamadas es directamente proporcional al número de procesos de llamadas originadas y entregadas. Para estimar el tráfico considerado en la red de señalización para cada una de las dos condiciones es necesario utilizar un modelo de movilidad simple para usuarios PCS. El modelo [Thomas, Gilbert y Mazzioto, 1988], asume que los usuarios PCS se están moviendo a una velocidad promedio  $v$  y traen consigo terminales móviles, su dirección es uniformemente distribuida. Y además los usuarios se encuentran poblando de manera uniforme una área geográfica con una densidad  $\rho$ , y los límites del área de localización es de longitud  $L$ , por lo tanto se ha demostrado que la tasa de registro de terminales debido al cruce de los límites de la LA está determinado por:

$$R = \frac{\rho v L}{3600\pi} \quad (1)$$



Con la ecuación (1) se puede calcular la carga de tráfico considerado en el sistema para el registro de terminales, origen y entrega de llamadas. Asumiendo lo siguiente:

De acuerdo con [Mohan S. y R. Jain. 1994], la densidad de usuarios se estima que es de 390 usuarios/km<sup>2</sup> en un sistema PCS.

- a).-Densidad de población: 390 usuarios/km<sup>2</sup>
- b).-Velocidad de usuarios pedestres: 5 km/hr
- c).-Velocidad de usuarios en vehículo: 60 km/hr
- d).-Erlangs por Terminal : 0.06 erlangs
- e).-Radio de la célula: 1.3 km
- f).- Número de Células por LA: 4
- g).-Tasa de Originación de llamadas: 2.8 llamadas/hora/terminal

El tráfico considerado para cada una de las dos condiciones es mostrado en la Tabla V y la Tabla VI.

**Tabla V.- Tráfico debido a usuarios pedestres**

Proceso	Tráfico en MSC's	Tráfico en LE's
Registro de Terminales	3 solicitudes/seg	-
Origen de Llamadas	6 llamadas/seg	-
Entrega de Llamadas	-	6 llamadas/seg

**Tabla VI.- Tráfico debido a usuarios en vehículos**

Proceso	Tráfico en MSC's	Tráfico en LE's
Registro de Terminales	33 solicitudes/seg	-
Origen de Llamadas	2 llamadas/seg	-
Entrega de Llamadas	-	2 llamadas/seg

Primero se introdujo el tráfico mostrado en la tabla V en los tres modelos de la red implementados (el modelo para una arquitectura GSM de dos niveles, para una arquitectura

jerárquica de base de datos y para una arquitectura jerárquica utilizando la técnica de apuntadores). Cuando se varió el tráfico, debido al proceso de registro de terminales (no se consideró tráfico debido a origen o entrega de llamadas) se obtuvieron las gráficas de la Figura 41 y Figura 42.

La Figura 41 muestra el tiempo de respuesta de la red al proceso de registro de terminales, se puede apreciar que en el caso donde se utiliza una arquitectura jerárquica base de datos (GSM-3 niveles), se obtiene el menor tiempo de respuesta de la red. Adicionalmente, esta arquitectura puede completar más solicitudes de registro de terminales antes que el retardo en la red se vuelva inaceptable. La figura 42 muestra la utilización de la base de datos HLR, que es el elemento al que se enfoca para análisis.

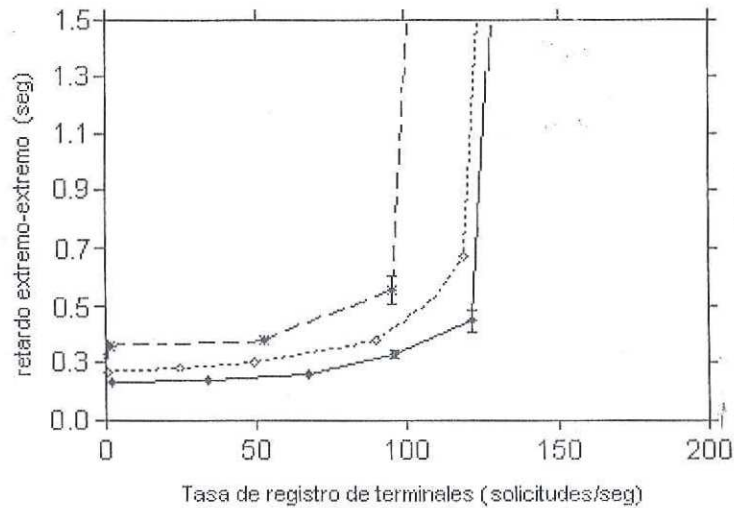
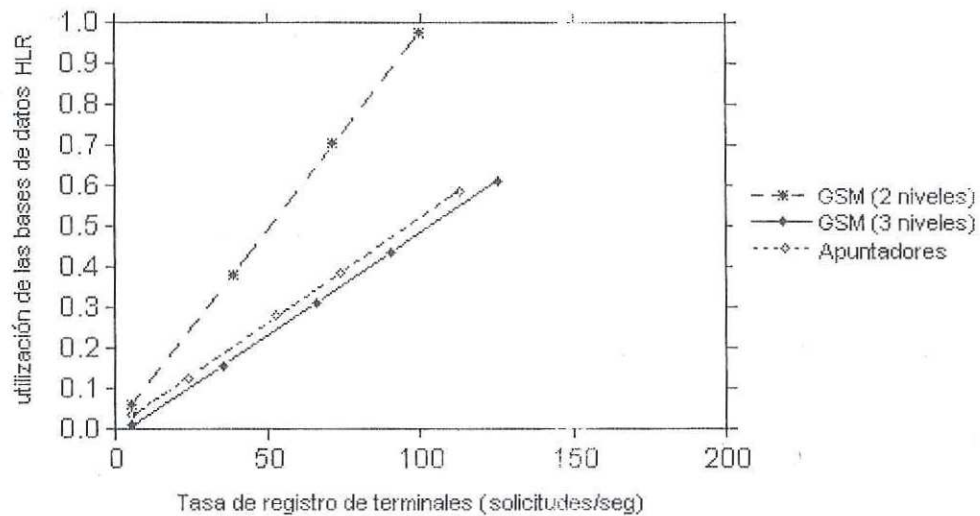


Figura 41. Retardo en la red durante el registro de terminales (usuarios pedestres)

Para el tráfico de registro de terminales en el cuál la utilización de la base de datos es mayor a 0.97 (para GSM-2 niveles), el tiempo de respuesta de la red se vuelve inaceptable. Por el contrario, para las arquitecturas que manejan tres niveles en sus bases de datos, la utilización del HLR es menor al 0.70, lo que significa que, aún cuando el número de solicitudes de registro de terminales es alto (comparado con GSM-2 niveles), el número de accesos al HLR es menor.



**Figura 42. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con baja movilidad**

Incrementando progresivamente la tasa de llamadas originadas por usuarios móviles (no se consideró tráfico por registro de terminales), se obtuvieron las gráficas de la Figura 43 y Figura 44. Para este caso se consideró la probabilidad de que el usuario origen y destino se encuentren en diferente LA fuera de 0.6; es decir el 60% de las llamadas originadas siempre van dirigidas a usuarios que no se encuentran en la misma área de

localización, mientras que la probabilidad de que el usuario origen y destino se encuentren en la misma DBRA fue de 0.7, para cuando la arquitectura utilizada fuera la de tres niveles de base de datos.

La figura 43 muestra el tiempo de respuesta de la red al proceso de origen de llamadas, la Figura 44 presenta la utilización de la base de datos HLR. Se puede observar que para el proceso de origen de llamadas el retardo se reduce considerablemente cuando se utiliza una arquitectura de tres niveles utilizando apuntadores. La menor utilización de la base de datos HLR con esta arquitectura, hace que el sistema permita más llamadas que cuando no se implementan apuntadores y muchas más cuando la arquitectura utilizada es la de dos niveles de base de datos.

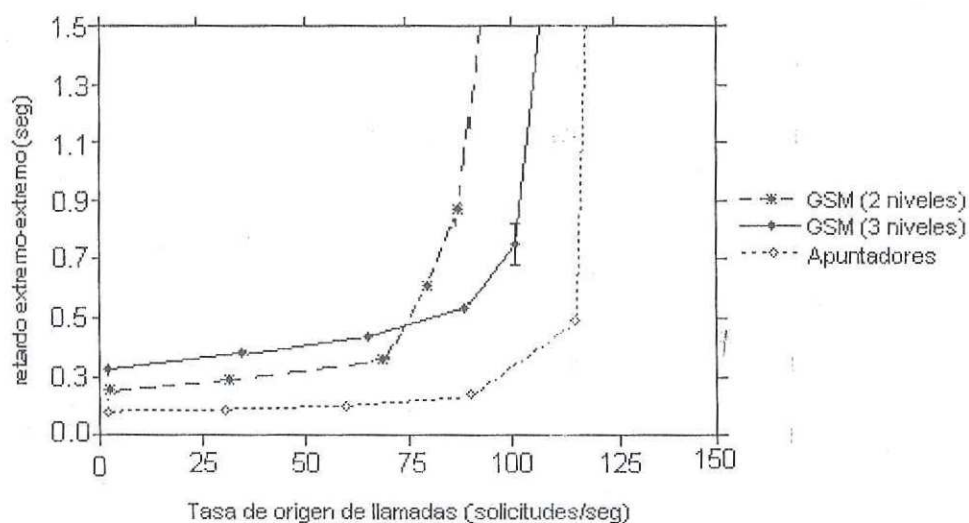
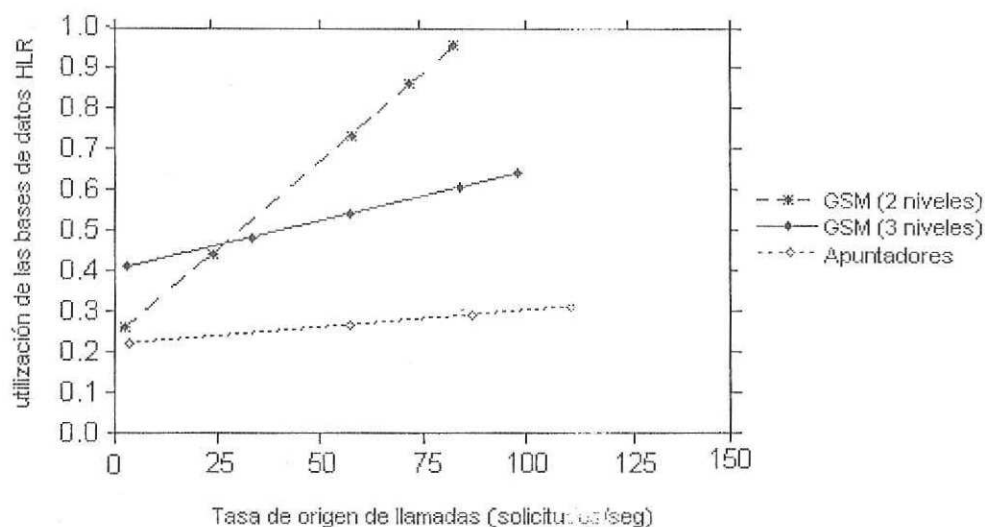


Figura 43. Retardo en la red durante el origen de llamadas (usuarios pedestres)





**Figura 44. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas de usuarios pedestres en el caso donde no existe movilidad**

Incrementando el tráfico de entrega de llamadas a usuario móvil, se obtuvieron las gráficas de la Figura 45 y Figura 46.

La Figura 45 corresponde al tiempo de respuesta al proceso de entrega de llamadas a usuarios móviles. Se observa en dicha gráfica que las tres arquitecturas de bases de datos permita casi la misma cantidad de entrega de llamadas con la diferencia de que la arquitectura de 2 niveles las efectúa en un tiempo menor, esto debido a que para efectuar una entrega de llamada es necesario que la parte de red fija accese forzosamente al HLR para encontrar al usuario móvil destino, como consecuencia la utilización de este elemento alcanza su máxima utilización para los tres casos de implementación.

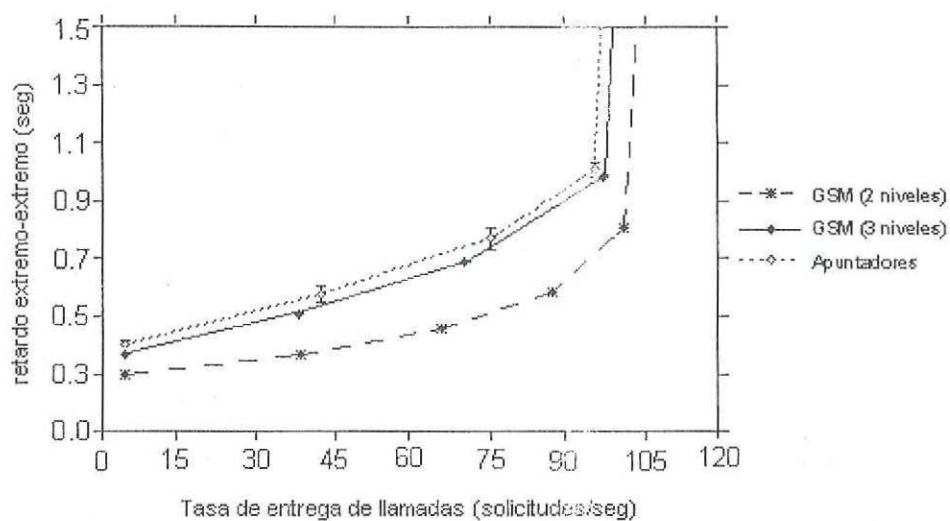


Figura 45. Retardo en la red durante la entrega de llamadas (usuarios pedestres)

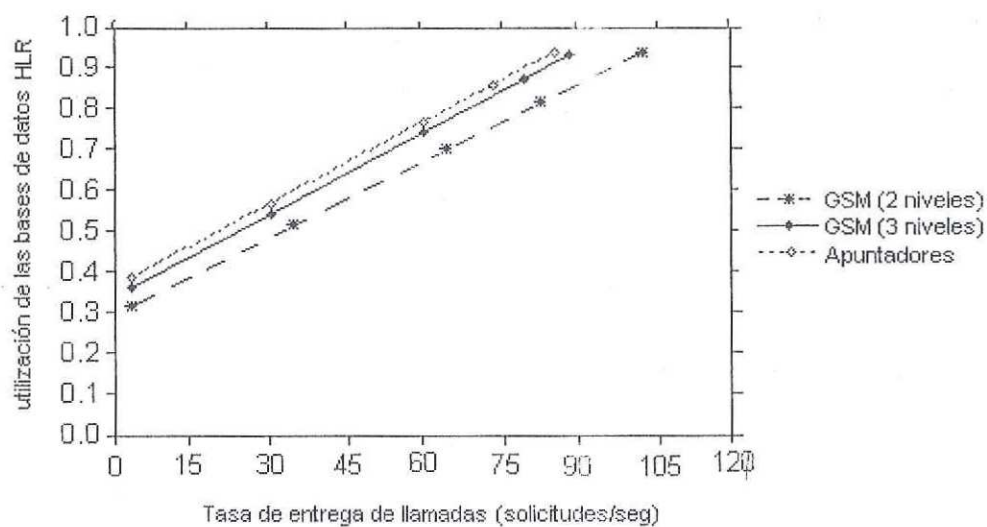


Figura 46. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de entrega de llamadas de usuarios pedestres en el caso donde no existe movilidad

Cuando se introdujo en la red el tráfico mostrado en la tabla VI (tráfico tipo b), se obtuvieron las gráficas que se muestran de las figuras 47 a 52; en donde los comentarios hechos para las figuras 41 a 46 se aplican respectivamente.

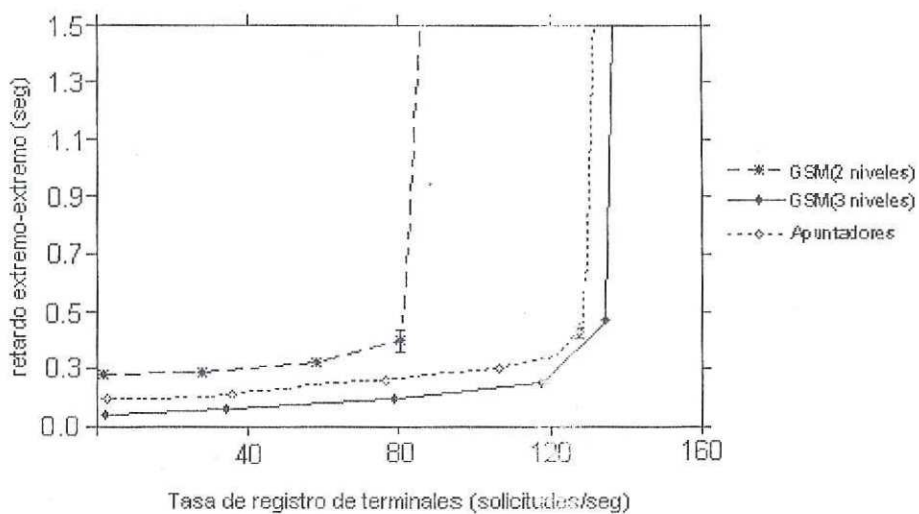


Figura 47. Retardo en la red durante el registro de terminales (usuarios en vehículos)

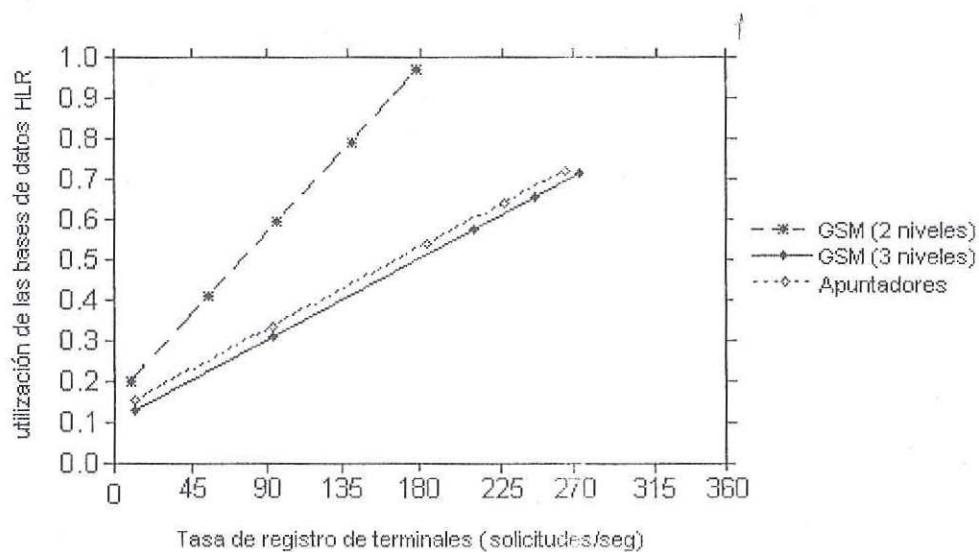


Figura 48. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con alta movilidad

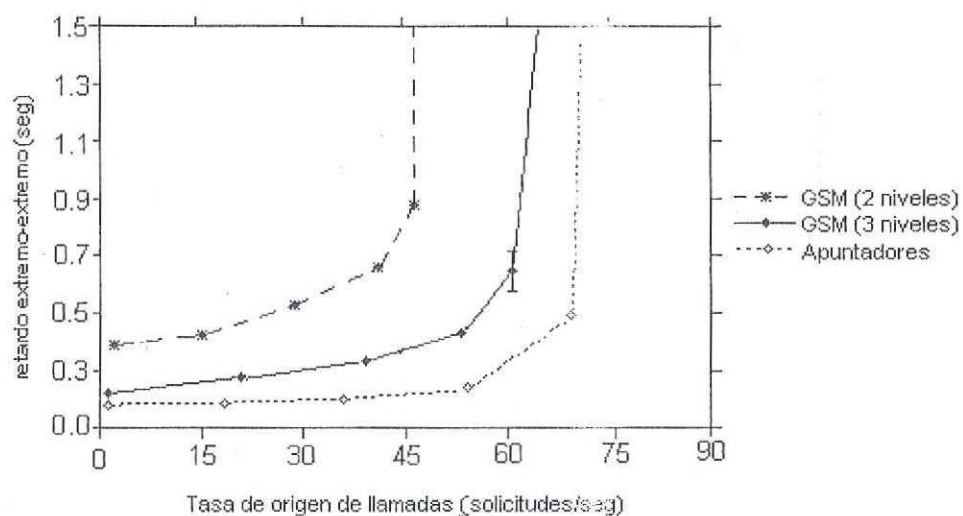


Figura 49. Retardo en la red durante el origen de llamadas (usuarios en vehiculos)

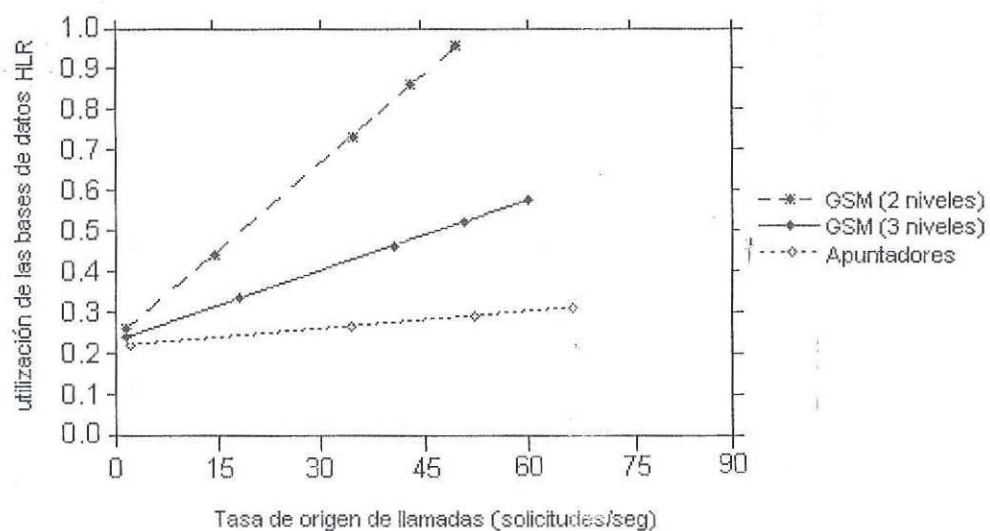


Figura 50. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas de usuarios en vehiculos en el caso donde no existe movilidad



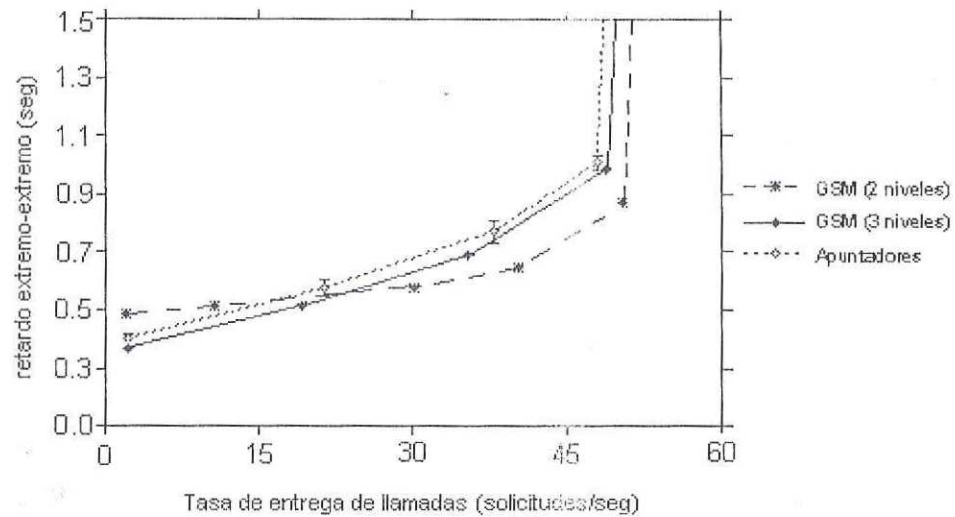


Figura 51. Retardo en la red durante la entrega de llamadas (usuarios en vehiculos)

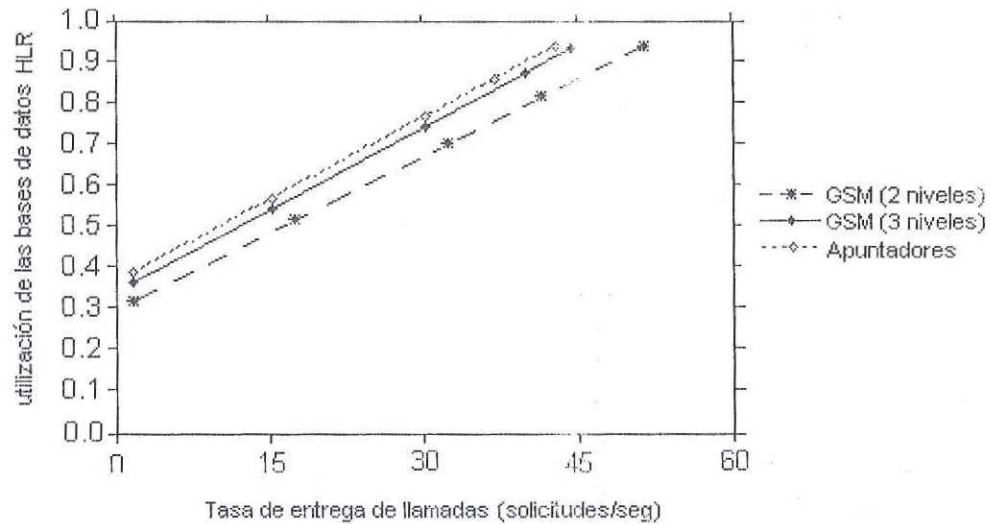


Figura 52. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de entrega de llamadas de usuarios en vehiculo en el caso donde no existe movilidad

En la tabla VII se resume el máximo número de procesos que soportan las redes para el caso del tráfico debido a usuarios pedestres. La tabla VIII es la versión normalizada<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Estas versiones normalizadas resultan muy convenientes para propósitos de comparar la efectividad de los métodos. Estas se obtienen al considerar como la unidad al valor más grande ya sea a veces a nivel renglón o a nivel columna de una tabla (según se especifique) los demás porcentajes se obtienen al dividir la cantidad de la celda correspondiente en la tabla original entre ese valor más grande.

de la Tabla VII, en donde se compara cada proceso que ocurre en la red y la ventaja de utilizar una arquitectura jerárquica de base de datos o no. La información de la Tabla VIII toma sentido cuando se lee horizontalmente. Por ejemplo, considérese el caso del proceso de registro de terminales. Cuando se utiliza una arquitectura de base de datos de 3 niveles, se obtiene la mayor capacidad de la red de señalización a este proceso (considerando la unidad para propósito de comparación), al utilizar una arquitectura de 3 niveles con técnica de apuntadores o una arquitectura de 2 niveles, la red soporta tan sólo 0.79 y 0.97 veces ésta capacidad respectivamente. Los demás renglones de la Tabla VIII se leen de manera similar.

**Tabla VII.- Tráfico máximo soportado debido a usuarios pedestres**

Proceso	GSM-2 niveles	GSM-3 niveles	GSM-3 niveles (Técnica apuntadores)
Registro de terminales	98	124	121
Origen de Llamadas	89	103	118
Entrega de Llamadas	101	97	95

**Tabla VIII.- Tráfico máximo soportado debido a usuarios pedestres normalizado**

Proceso	GSM-2 niveles	GSM-3 niveles	GSM-3 niveles (Técnica apuntadores)
Registro de terminales	0.79	1.0	0.97
Origen de Llamadas	0.75	0.87	1.0
Entrega de Llamadas	1.0	0.96	0.94

Para el tráfico de usuarios en vehículo, se ha seguido un proceso similar que en el caso debido a usuarios pedestres. Los resultados se muestran en la Tabla IX y en la Tabla X.

Tabla IX.- Tráfico máximo soportado debido a usuarios en vehículo

Proceso	GSM-2 niveles	GSM-3 niveles	GSM-3 niveles (Técnica apuntadores)
Registro de terminales	182	290	285
Origen de Llamadas	47	62	71
Entrega de Llamadas	50	48	46

Tabla X.- Tráfico máximo soportado debido a usuarios en vehículo normalizado

Proceso	GSM-2 niveles	GSM-3 niveles	GSM-3 niveles (Técnica apuntadores)
Registro de terminales	0.62	1.0	0.98
Origen de Llamadas	0.66	0.87	1.0
Entrega de Llamadas	1.0	0.96	0.92

Al examinar las Tablas VIII y X, resulta evidente que la arquitectura de base de datos de 2 niveles requiere más recursos de la red (tanto en el caso de usuarios en vehículo como usuarios pedestres) para los procesos de registro de terminales y origen de llamadas.

Para el proceso de entrega de llamadas, las arquitecturas de 3 niveles de base de datos tienen un desempeño un poco más bajo que el que representa la arquitectura de 2 niveles, esto debido a que para realizar una entrega de llamadas en cualquiera de las arquitecturas es necesario como primer mensaje acceder al HLR para conocer la ubicación del abonado destino, como consecuencia el tiempo de entrega de llamadas es mayor en dichas arquitecturas que en una de 2 niveles. Adicionalmente al observar las Figuras 41,43,45,47 y 49 es notorio que cuando se utiliza una arquitectura de base de datos de dos niveles se obtiene el mayor retardo para los procesos de registro de terminales y origen de llamadas.

### V.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA CON ARQUITECTURA JERÁRQUICA DE BASE DE DATOS Y ARQUITECTURA DE BASE DE DATOS GSM DE 2 NIVELES.

Para representar de manera realista la eficiencia de los sistemas modelados, se probaron dos condiciones distintas en la red, determinadas por la movilidad de los usuarios correspondientes a usuarios con baja movilidad y usuarios con alta movilidad. Utilizando la Tabla V, donde las condiciones de tráfico pertenecían a usuarios pedestres, se toma como tráfico de fondo el representado por el origen y entrega de llamadas los cuales equivalen a 6 solicitudes/segundo, lo anterior con el fin de representar la máxima tasa de llamadas en las redes de simulación. Para representar la baja y alta movilidad, se considera el tráfico representado en la Tabla XI.

Tabla XI.- Tráfico en la red debido a variaciones en la movilidad

Movilidad del usuario	Tráfico debido a registro de terminales
Baja	3 solicitudes/segundo
Alta	33 solicitudes/segundo

Se realizaron dos corridas distintas de la simulación, la primera introduciendo tráfico en la red debido a una condición de baja movilidad en los usuarios; es decir los usuarios viajan a una velocidad de 5 km/hr. La segunda corrida se efectuó con tráfico debido a una alta movilidad en los usuarios, cuando los usuarios viajan a 60 km/hr. El tráfico de fondo permaneció fijo en todas las áreas de localización. Adicionalmente, considerando la movilidad del usuario existe una probabilidad de 1.0 de que el usuario se mueva de una LA a otra.



### V.3.1. ANÁLISIS DURANTE EL PROCESO DE ORIGEN DE LLAMADAS

Para obtener las gráficas de las figuras 53, 54, 55 y 56 referente el proceso de origen de llamadas se consideró, como ya se mencionó en el tema anterior, un tráfico de fondo de 6 solicitudes/seg para origen de llamadas. La diferencia entre las cuatro figuras radica en que para las figuras 53 y 54 los usuarios se encuentran moviéndose a un promedio de velocidad de 5 km/hr (baja movilidad). Para las Figuras 55 y 56 los usuarios se encuentran moviendo a una velocidad de 60 km/hr (alta movilidad).

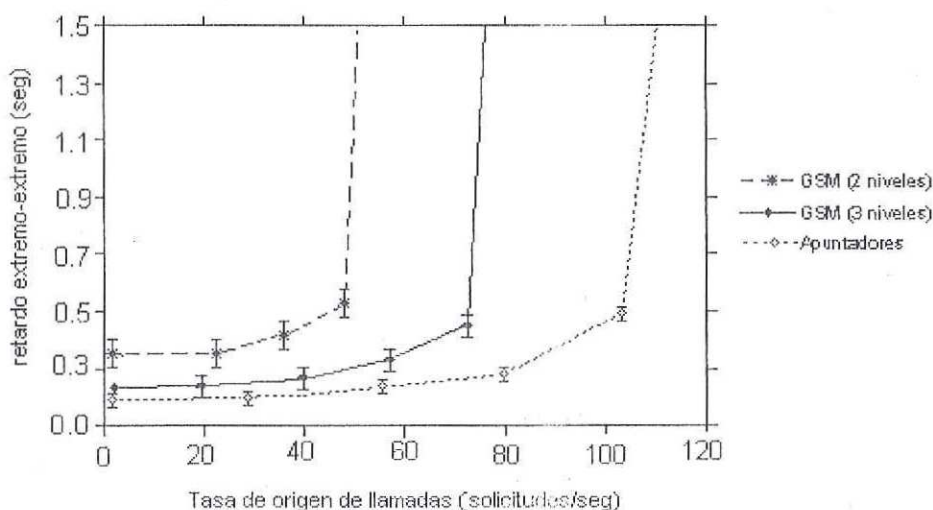
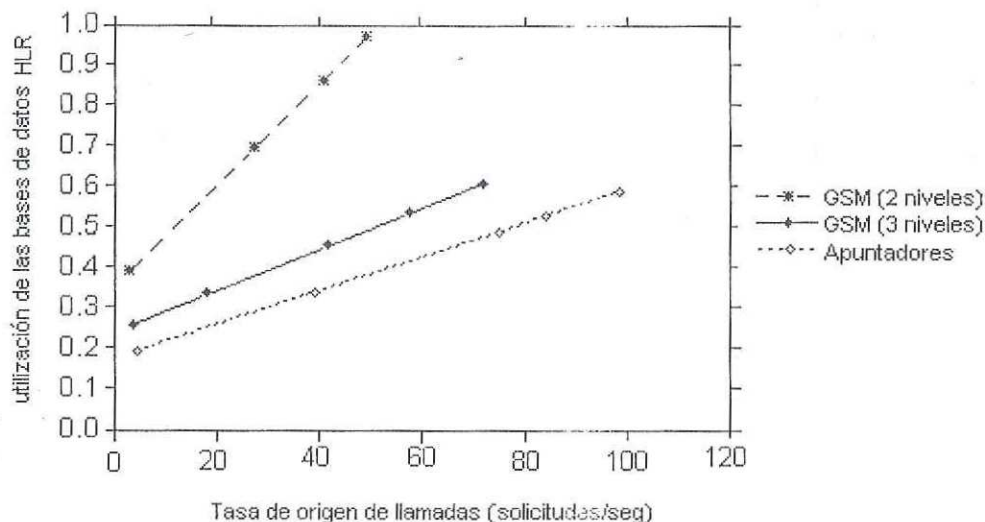


Figura 53. Respuesta de la red al proceso de origen de llamadas en el caso de usuarios con baja movilidad.

Podemos observar en las figuras 53 y 55, que la arquitectura de tres niveles de base de datos utilizando la técnica de apuntadores presenta un mejor desempeño; tomando en cuenta, que el retardo para completar el número de procesos es menor así como también el número de procesos soportados es mayor, en comparación con las otras redes modeladas.



**Figura 54. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas en el caso de usuarios con baja movilidad.**

Podemos observar en las figuras 53 y 55, que la arquitectura de tres niveles de base de datos utilizando la técnica de apuntadores presenta un mejor desempeño; tomando en cuenta, que el retardo para completar el número de procesos es menor así como también el número de procesos soportados es mayor, en comparación con las otras redes modeladas.

Al implementar tráfico de origen y entrega de llamadas así como también tráfico para registro de terminales la red de señalización se ve fuertemente afectada, disminuyendo su capacidad para completar una mayor cantidad de procesos.

Las figuras 54 y 56 presentan la utilización de la base de datos HLR. Se observa que para estas condiciones de tráfico aumenta la utilización de la base de datos al incrementarse la movilidad de los usuarios.

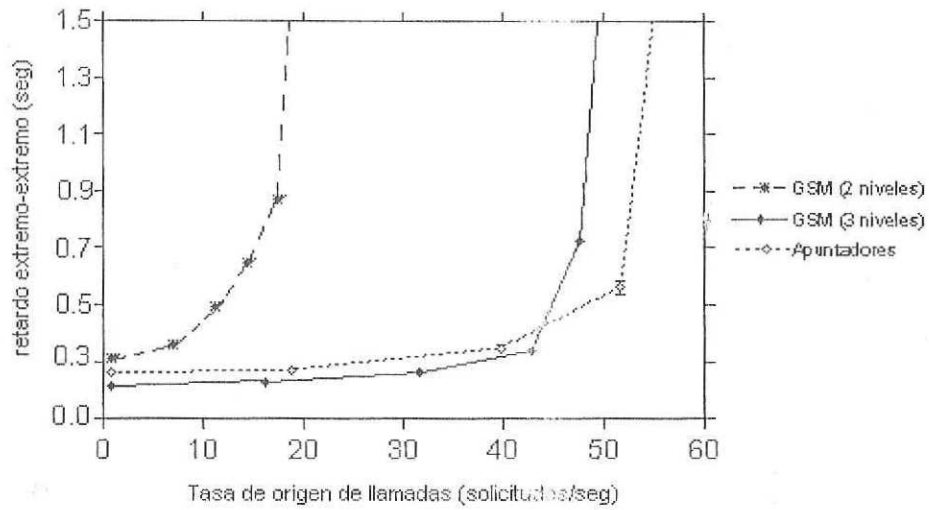


Figura 55. Respuesta de la red al proceso de origen de llamadas en el caso de usuarios con alta movilidad.

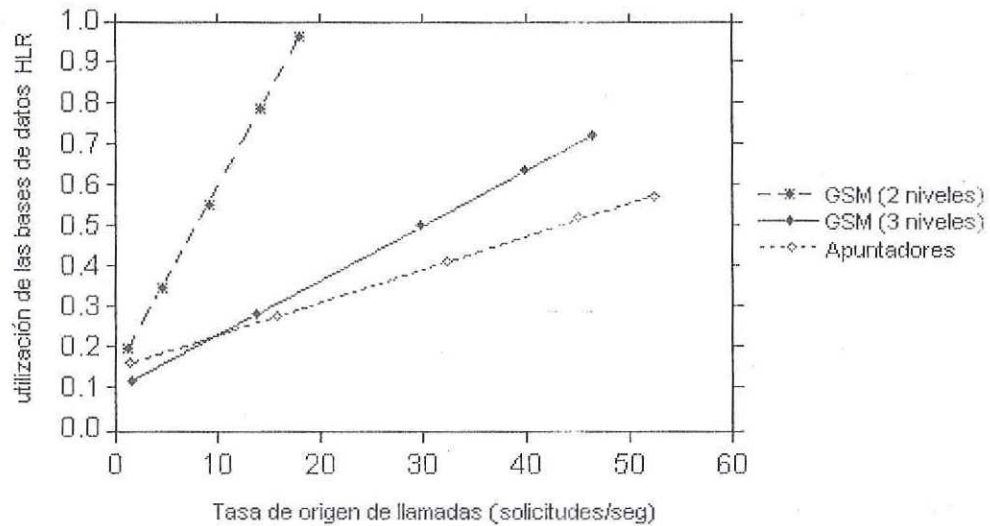


Figura 56. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas en el caso de usuarios con alta movilidad

La Tabla XII resume el número de llamadas originadas por usuario móvil que la red permite como de buena calidad para las diferentes condiciones de movilidad. La versión normalizada de esta tabla es mostrada en la Tabla XIII para propósitos de comparación. La

información de esta Tabla debe leerse verticalmente. Por ejemplo, para el caso de origen de llamadas cuando la movilidad de los usuarios es baja, el utilizar una arquitectura de base de datos de 2 niveles resulta una capacidad de red de apenas 0.48 veces respecto al caso donde se utiliza una arquitectura de base de datos de 3 niveles utilizando una técnica de apuntadores. Las demás columnas se leen de manera similar. A partir de estas tablas y la inspección a las figuras 53 y 55 se concluye que para el caso de origen de llamadas el utilizar una arquitectura de 3 niveles (apuntadores) es más recomendable que el no hacerlo. La capacidad que la red logra es en general mayor y el retardo extremo-extremo es significativamente menor. Sólo en el caso de una alta movilidad de usuarios el utilizar apuntadores o no presenta un desempeño en el sistema muy similar.

**Tabla XII.- Tráfico máximo soportado durante el proceso de origen de llamadas debido a variaciones en la movilidad**

	Baja Movilidad	Alta Movilidad
GSM-2 niveles	49	19
GSM-3 niveles	75	48
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	102	53

**Tabla XIII.- Tráfico máximo soportado durante el proceso de origen de llamadas debido a variaciones en la movilidad (normalizado)**

	Baja Movilidad	Alta Movilidad
GSM-2 niveles	0.48	0.36
GSM-3 niveles	0.74	0.91
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	1.0	1.0

### V.3.2. ANÁLISIS DURANTE EL PROCESO DE ENTREGA DE LLAMADAS

En la figura 57 y figura 59 se presentan los resultados obtenidos del tiempo de respuesta de la red al proceso de entrega de llamadas. La Figura 57 corresponde al caso de



usuarios con baja movilidad, y la figura 59 al caso de usuarios con alta movilidad. Las figuras 58 y 60 representan la utilización de la base de datos HLR.

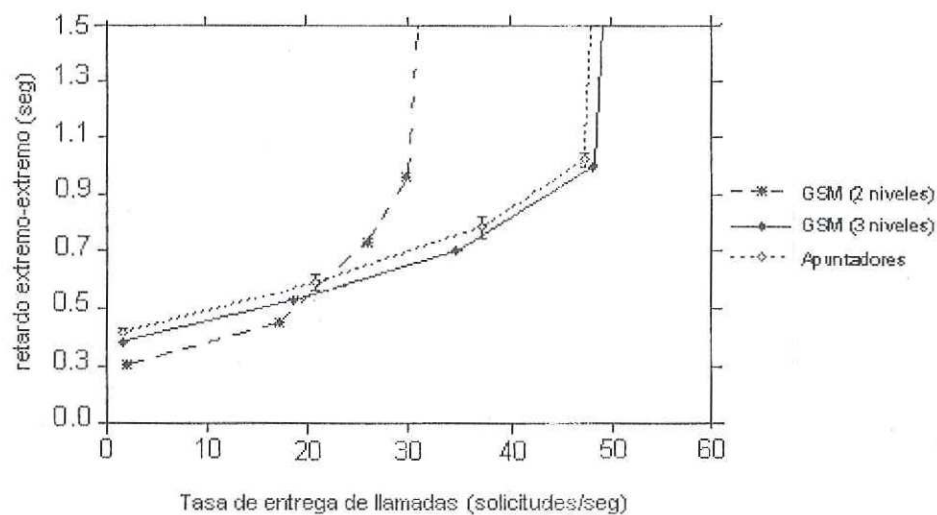


Figura 57. Respuesta de la red al proceso de entrega de llamadas en el caso de usuarios con baja movilidad

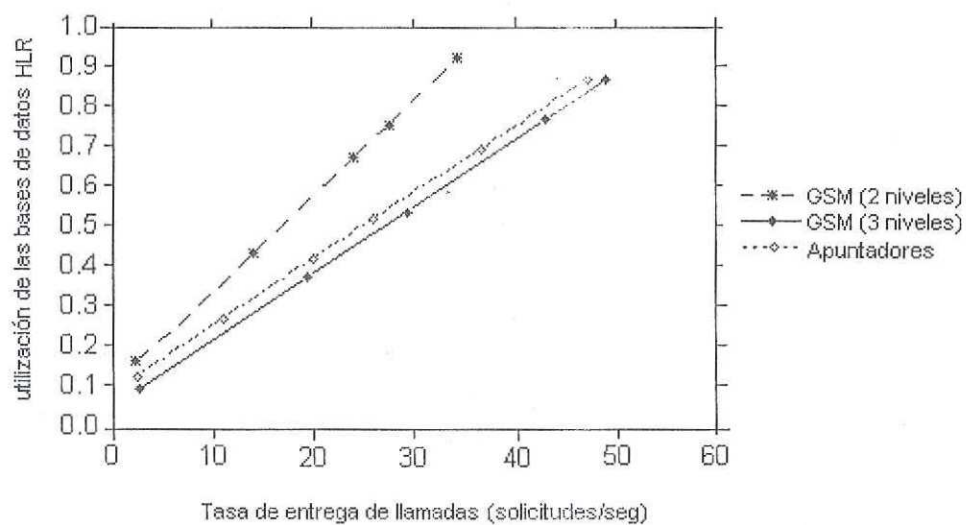


Figura 58. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de entrega de llamadas en el caso de usuarios con baja movilidad

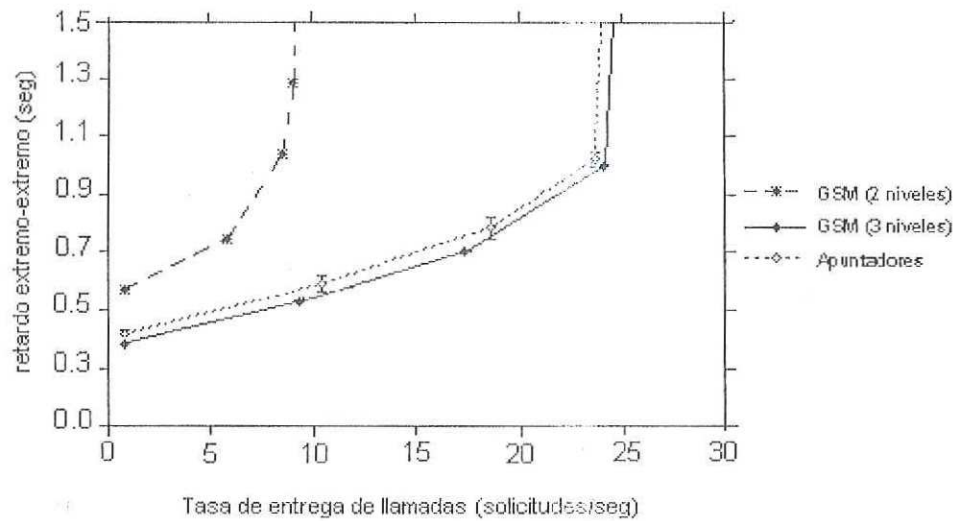


Figura 59. Respuesta de la red al proceso de entrega de llamadas en el caso de usuarios con alta movilidad

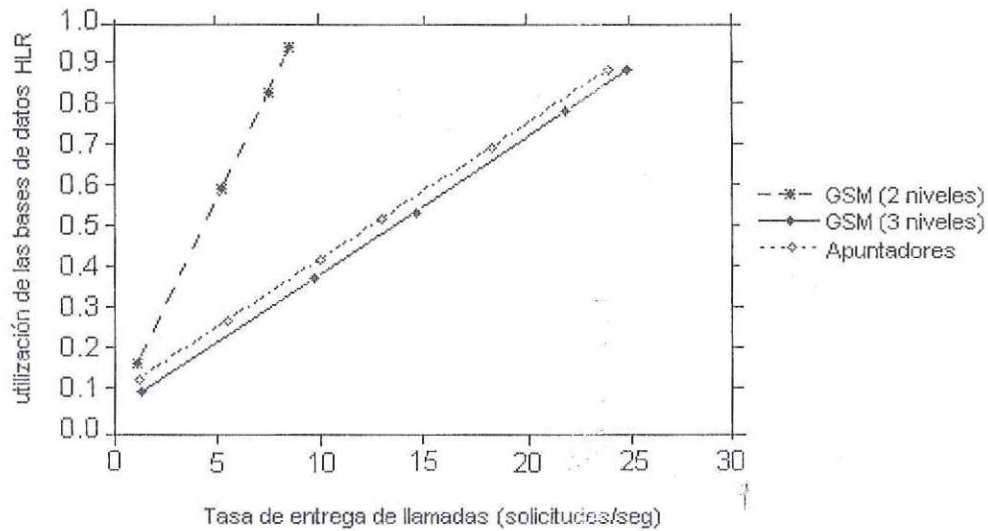


Figura 60. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de entrega de llamadas en el caso de usuarios con alta movilidad

En la Tabla XIV y XV se resume la capacidad de la red al proceso de entrega de llamadas. La Tabla XV es la versión normalizada de la Tabla XIV. La información de esta última Tabla puede leerse de manera vertical. En todos los casos de movilidad (baja y alta),

el no utilizar una arquitectura jerárquica de base de datos resulta muy poco eficiente respecto a cuando se utilizan 3 niveles de base de datos. Por ejemplo cuando la movilidad de los usuarios es alta, el utilizar una arquitectura de 2 niveles de base de datos logra apenas un 0.38 veces la capacidad que se logra cuando se utiliza una arquitectura de 3 niveles. Si comparamos las figuras 57 y 59 con las figuras 45 y 51, se puede observar que la arquitectura de 2 niveles reduce considerablemente su desempeño al incluir dentro del tráfico de modelación movilidad del usuario, en comparación a cuando no se incluían.

**Tabla XIV.- Tráfico máximo soportado durante el proceso de entrega de llamadas debido a variaciones en la movilidad**

	Baja Movilidad	Alta Movilidad
GSM-2 niveles	31	9
GSM-3 niveles	49	24
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	48	23

**Tabla XV.- Tráfico máximo soportado durante el proceso de entrega de llamadas debido a variaciones en la movilidad (normalizado)**

	Baja Movilidad	Alta Movilidad
GSM-2 niveles	0.63	0.38
GSM-3 niveles	1.0	1.0
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	0.98	0.96

### **V.3.3. ANÁLISIS DE COMPARACIÓN DE LAS ARQUITECTURAS DE BASES DE DATOS AL VARIAR LA MOVILIDAD DE LOS USUARIOS.**

A partir de las Tablas XII y XIV es posible comparar la efectividad de utilizar una arquitectura jerárquica de base de datos y una arquitectura de base de datos de 2 niveles cuando la movilidad de los usuarios varía. Los resultados se resumen en la Tabla XVI y en la Tabla XVII para los procesos de origen de llamadas y entrega de llamadas

respectivamente. La información de las Tablas ha sido normalizada para efectos de la comparación. Deberán leerse horizontalmente, por ejemplo considere la Tabla XVI, cuando la arquitectura de base de datos es de 3 niveles, y la movilidad del usuario pasa de ser baja a alta, se observa que la capacidad de la red al proceso de origen de llamadas baja hasta un 64% de su capacidad.

**Tabla XVI.- Efectos de movilidad sobre el origen de llamadas**

	Baja Movilidad	Alta Movilidad
GSM-2 niveles	1.0	0.39
GSM-3 niveles	1.0	0.64
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	1.0	0.52

**Tabla XVII.- Efectos de movilidad sobre la entrega de llamadas**

	Baja Movilidad	Alta Movilidad
GSM-2 niveles	1.0	0.30
GSM-3 niveles	1.0	0.49
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	1.0	0.48

Los resultados presentados en esta forma revelan que la movilidad de los usuarios en la red puede afectar en gran medida la capacidad de llamadas (originadas y entregadas). De allí la importancia de considerar la movilidad de los usuarios durante el diseño de las áreas de localización. A mayor movilidad de usuarios, en teoría se deberían proyectar las áreas de localización de mayor tamaño para evitar que la actualización de las bases de datos debido a los procesos de registros de terminales tan frecuentes. Pero si se aumentara el tamaño de las áreas de localización, sería necesario incrementar la potencia de las estaciones base y de las Terminales móviles para poder satisfacer los requerimientos de la comunicación inalámbrica. De ahí, la idea de implementar alguna técnica de registro de



localización, la cual no afectase algún otro aspecto tecnológico de los sistemas PCS y de esta manera poder cubrir una mayor área y evitar que la capacidad de la red pueda verse seriamente reducida.

Se puede ver claramente que el utilizar una arquitectura de base de datos de 2 niveles, -que es la arquitectura que se utiliza actualmente tanto en Europa como en América- sería fuertemente afectada su capacidad al incrementar la movilidad de los usuarios.

#### **V.3.4. ANÁLISIS DURANTE EL PROCESO DE REGISTRO DE TERMINALES**

Para una mejor comparación de las arquitecturas propuestas para el registro de terminales y entrega de llamadas, se requiere así mismo, conocer el número de registros que logra cada una de las arquitecturas y analizar como le afecta la variación de tráfico de llamadas a este proceso de registro de terminales. Para efectos de ésta prueba se han considerado dos clases de usuarios en la red, usuarios con una baja tasa de llamadas, y usuarios con una tasa de llamadas alta. Utilizando la Tabla VI, donde las condiciones de tráfico pertenecen a usuarios en vehículos, se toma como tráfico de fondo el representado por el registro de terminales el cual equivale a 33 solicitudes/segundo, lo anterior con el fin de representar la máxima tasa de registro de terminales en las redes de simulación. Para

representar la tasa de llamadas baja y alta, se consideró el tráfico representado en la Tabla XVIII.

Tabla XVIII.- Condiciones de Tráfico de Llamadas para evaluar la capacidad de la red durante el registro de terminales.

Tráfico de Llamadas	Origen y Entrega de Llamadas
Baja	2 solicitudes/segundo
Alta	10 solicitudes/segundo

Se realizaron dos corridas distintas de la simulación, la primera introduciendo tráfico debido a un bajo número de llamadas y la segunda con tráfico debido a un alto número de llamadas. El tráfico de fondo permaneció fijo en todas las áreas de localización, y en las LE's.

Además se consideró que la probabilidad de que el usuario origen y destino se encuentren en diferente LA fuera de 0.6; es decir el 60% de las llamadas originadas siempre van dirigidas a usuarios que no se encuentran en la misma área de localización, mientras que la probabilidad de que el usuario origen y destino se encuentren en la misma DBRA fue de 0.7, para cuando la arquitectura utilizada fuera la de tres niveles de base de datos.

En las figuras 61 y 63 se ilustra el tiempo de respuesta de la red al proceso de registro de terminales utilizando las tres arquitecturas de base de datos, las gráficas corresponden al caso de usuarios con bajo tráfico de llamadas y con alto tráfico de llamadas respectivamente. En las figuras 62 y 64 se muestra la utilización de la base de datos HLR.

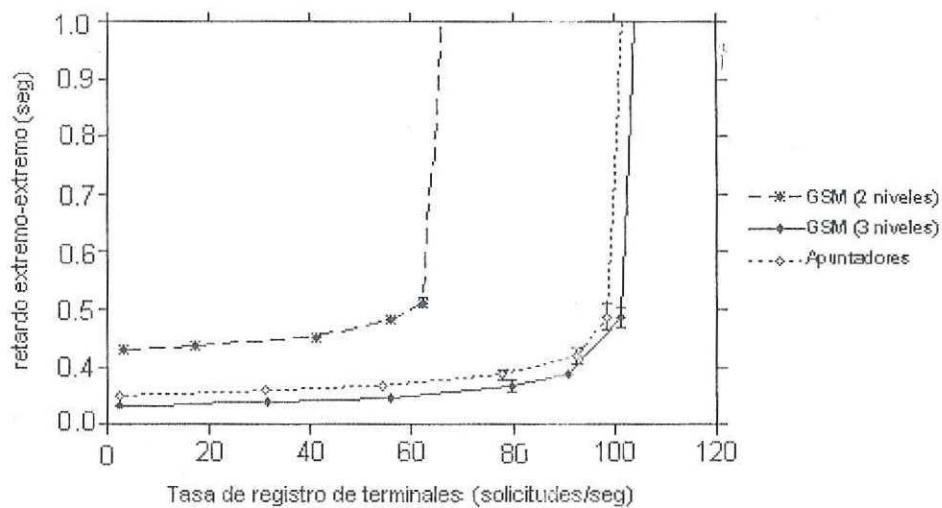


Figura 61. Respuesta de la red al proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con un tráfico de llamadas bajo

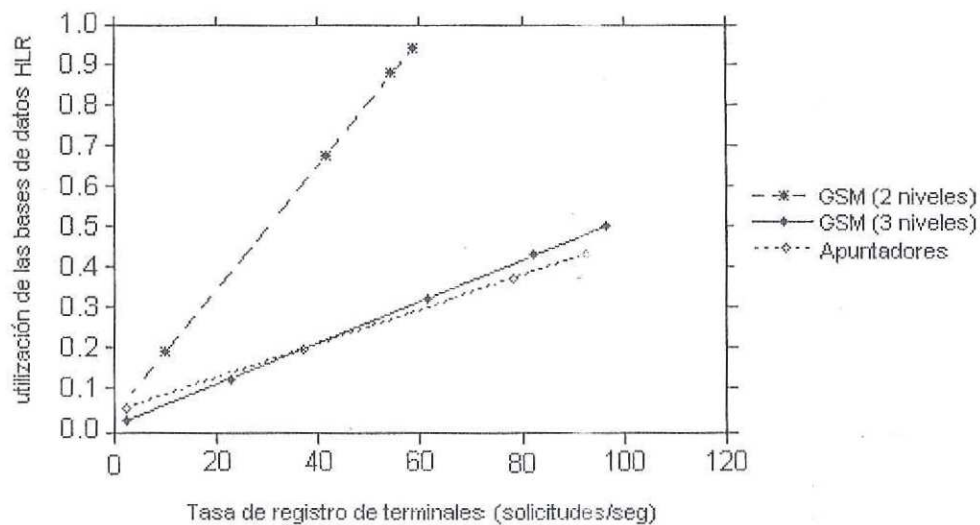


Figura 62. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con un tráfico de llamadas bajo

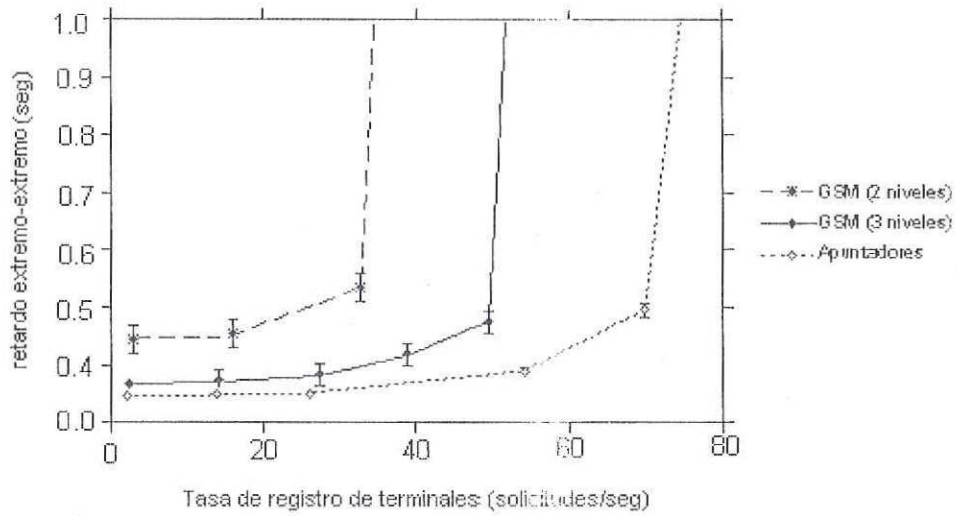


Figura 63. Respuesta de la red al proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con tráfico de llamadas alto

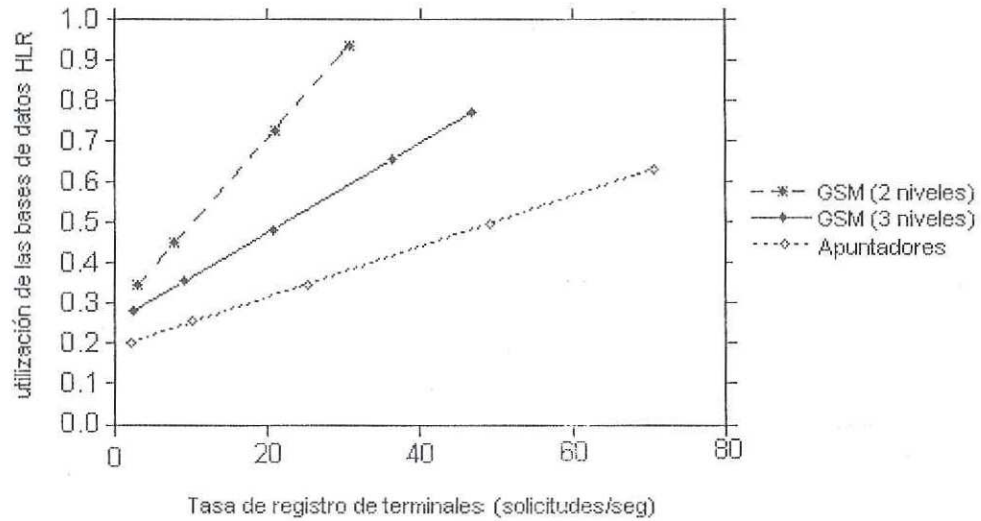


Figura 64. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de registro de terminales en el caso de usuarios con un tráfico de llamadas alto

En la Tabla XIX y la Tabla XX se muestra un resumen de la capacidad de la red al proceso de registro de terminales. La Tabla XX es la versión normalizada de la Tabla XIX. La Tabla XX puede leerse de manera vertical. En este caso la capacidad de la red se ve



fuertemente afectada al incrementar el tráfico de llamadas. El utilizar una arquitectura de 3 niveles con técnica de apuntadores presenta un mejor comportamiento en comparación con las demás arquitecturas al incrementar dicho tráfico. Se observa que soporta un mayor número de procesos en un tiempo menor.

**Tabla XIX.- Tráfico máximo soportado durante el proceso de registro de terminales debido a variaciones en el tráfico de llamadas**

	Bajo Tráfico	Alto Tráfico
GSM-2 niveles	61	33
GSM-3 niveles	103	49
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	101	69

**Tabla XX.- Tráfico máximo soportado durante el proceso de registro de terminales debido a variaciones en el tráfico de llamadas (normalizado)**

	Bajo Tráfico	Alto Tráfico
GSM-2 niveles	0.59	0.47
GSM-3 niveles	1.0	0.71
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	0.98	1.0

#### **V.4. COMPARACIÓN ENTRE UTILIZACIÓN DE APUNTADES Y NO EN UN SISTEMA JERÁRQUICO DE BASE DE DATOS PARA EL ORIGEN DE LLAMADAS.**

Como se había mencionado en la sección II.2.1, GSM utiliza una arquitectura de base de datos de dos niveles (HLR y VLR). La propuesta de este trabajo es la de proporcionar una solución para reducir los frecuentes accesos al HLR. De ahí la idea básica de diseñar un sistema jerárquico de bases de datos de tres niveles como se observa en la figura 26. La razón principal por la que esta arquitectura jerárquica trabajaría en un ambiente PCS, es que tanto el origen de llamadas como el registro de ubicación tienen un comportamiento en el mayor de los casos de naturaleza local; es decir, el usuario se

desplaza normalmente en la misma o en áreas cercanas de su LA. El mismo fenómeno se observa en el origen de llamadas; la mayoría de las llamadas realizadas por los usuarios son locales. En esta sección se realiza un análisis acerca de como afecta el fenómeno de localidad en el proceso de origen de llamadas dentro de una arquitectura de 3 niveles de bases de datos.

Para este análisis, se consideró un tráfico de origen de llamadas de 6 solicitudes/seg en los dos modelos implantados de tres niveles de bases de datos, el primero corresponde a una arquitectura jerárquica de base de datos sin la utilización de apuntadores y el otro utilizando la técnica de apuntadores para el registro de localización.

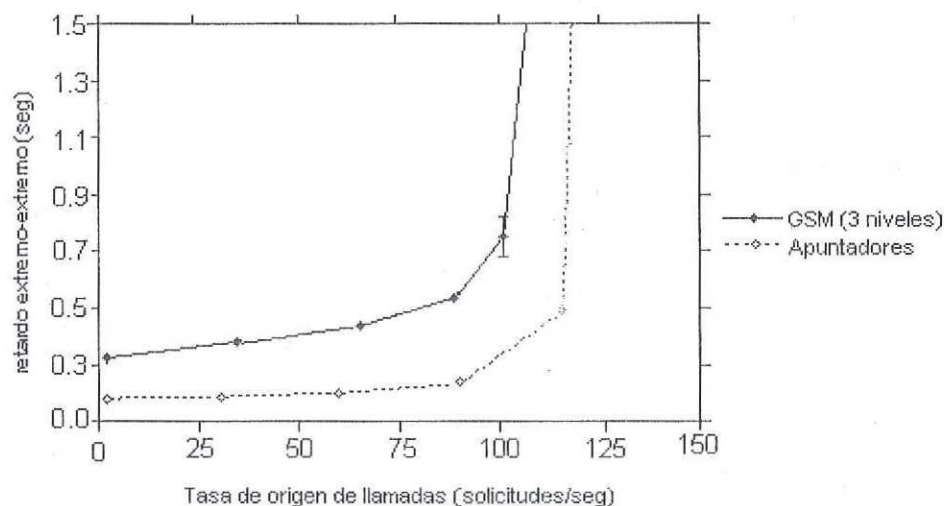
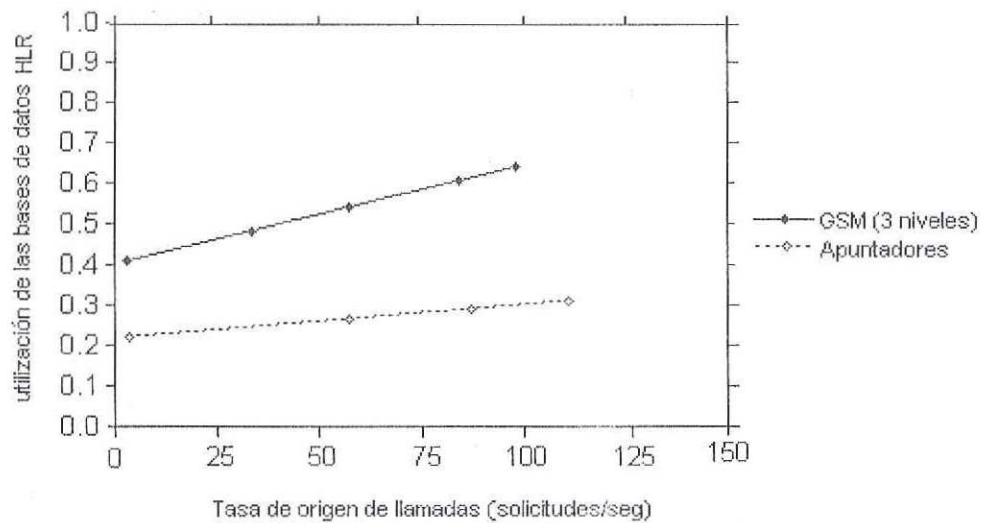


Figura 65. Retardo en la red durante el origen de llamadas, considerando localidad de llamadas.

Para obtener la gráfica de la figura 65 y figura 66 se consideró la probabilidad de que el usuario origen y destino se encuentren en diferente LA fuera de 0.6; es decir el 60% de las llamadas originadas siempre van dirigidas a usuarios que no se encuentran en la

misma área de localización, mientras que la probabilidad de que el usuario origen y destino se encuentren en la misma DBRA fue de 0.7, para cuando la arquitectura utilizada fuera la de tres niveles de base de datos; es decir para este caso se está tomando en cuenta la localidad de origen de llamadas.



**Figura 66. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas en el caso donde se considera localidad de llamadas**

Para obtener la gráfica de la figura 67 y figura 68 se consideró la probabilidad de que el usuario origen y destino se encuentren en diferente LA fuera de 1.0; es decir todas las llamadas originadas siempre van dirigidas a usuarios que no se encuentran en la misma área de localización, mientras que la probabilidad de que el usuario origen y destino se encuentren en la misma DBRA fue de 0.0, para cuando la arquitectura utilizada fuera la de tres niveles de base de datos, en este caso las llamadas originadas siempre van dirigidas hacia usuarios que se encuentran en diferente DBRA's.

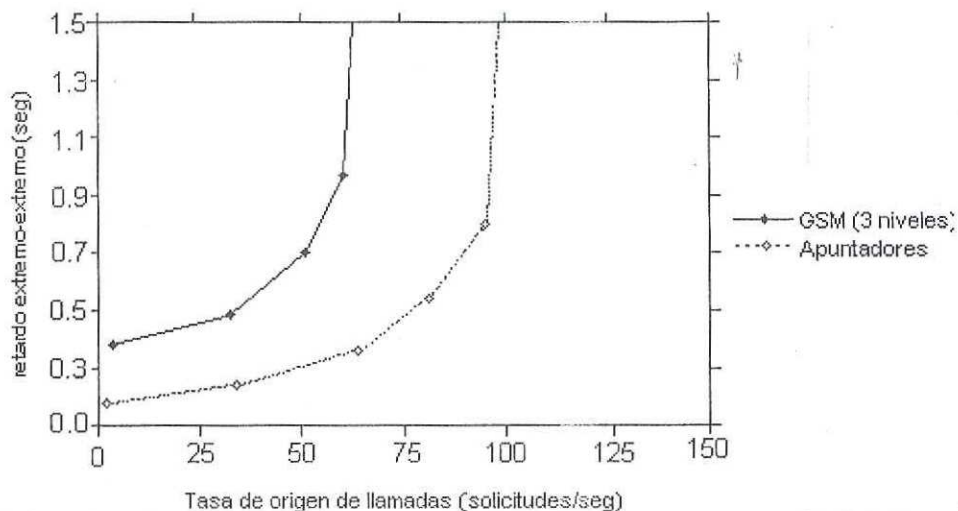


Figura 67. Retardo en la red durante el origen de llamadas, sin considerar localidad de llamadas.

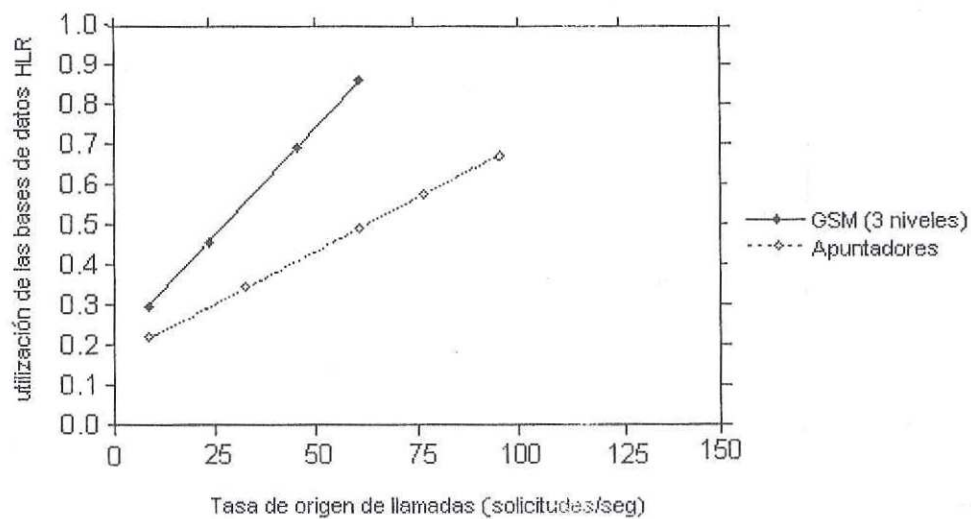


Figura 68. Utilización de la base de datos HLR durante el proceso de origen de llamadas en el caso donde no se considera localidad de llamadas

La Tabla XXI resume el número de llamadas originadas por usuario móvil que la red soporta para las diferentes condiciones de localidad (dentro y fuera de la LA). La versión normalizada de esta tabla se muestra en la Tabla XXII; y en la Tabla XXIII se realiza la comparación entre arquitecturas de base de datos.



**Tabla XXI.- Tráfico máximo soportado durante el proceso de origen de llamadas considerando localidad y no localidad**

	100% fuera de LA	60% fuera de LA
GSM-3 niveles	58	103
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	98	121

**Tabla XXII.- Tráfico máximo soportado durante el proceso de origen de llamadas considerando localidad y no localidad (normalizado)**

	100% fuera de LA	60% fuera de LA
GSM-3 niveles	0.56	1.0
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	0.81	1.0

**Tabla XXIII.- Comparación entre arquitecturas de base de datos en base al proceso de origen de llamadas considerando localidad y no localidad (normalizado)**

	100% fuera de LA	60% fuera de LA
GSM-3 niveles	0.59	0.85
GSM- 3 niveles (técnica de apuntadores)	1.0	1.0

La información de la Tabla XXII debe leerse en forma horizontal, mientras que la Tabla XXIII debe leerse de manera vertical. En la primera de ellas comparamos el comportamiento de cada una de las dos arquitecturas de bases de datos al considerar el efecto de localidad y no en el proceso de origen de llamadas, podemos observar que el considerar localidad de llamadas aumenta el desempeño de la red en ambas arquitecturas, que cuando no se considera.

La Tabla XXIII, muestra un análisis comparativo entre las dos técnicas para entregar una llamada de un usuario móvil a otro (utilizando apuntadores y no). Es visible que el utilizar apuntadores en el proceso de origen de llamadas presenta una mejor eficiencia que cuando no se utiliza; ya sea considerando localidad o no.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### VI.1. RESUMEN

El incremento de usuarios en los sistemas PCS, ha originado que el tráfico de señalización debido a los procesos de registro de localización, origen y entrega de llamadas aumente de manera gradual. Provocando que la eficiencia del sistema de base de datos de los Sistemas de Comunicación Personal se convierta en uno de los factores dominantes del desempeño de la Red PCS.

En este trabajo se ha evaluado el desempeño de la red de señalización de los PCS, basado en el Sistema de Señalización Número 7 (SS7). Para ello se efectúa en detalle un modelo con los diferentes elementos de la red PCS, que se basa completamente en sus especificaciones funcionales establecidas por los estándares.

Para llevar a cabo la evaluación del sistema se crearon modelos de simulación de una red PCS típica utilizando el simulador orientado a comunicaciones OPNET. OPNET proporciona un ambiente de desarrollo que permite el modelado y la evaluación del desempeño de redes de comunicaciones con un gran nivel de detalle, sin imponer restricción alguna en la especificación de los modelos de simulación. Estas características, así como opciones avanzadas para la colección y el análisis de los resultados arrojados por las simulaciones hacen de OPNET una herramienta atractiva para el modelado.

El desempeño de la red es medido en términos del retardo extremo-extremo que experimentan los procesos necesarios -en un sistema PCS-, para proporcionar servicio a los

usuarios, ejemplos de éstos procesos son el registro de terminales, origen y entrega de llamadas. Para complementar el parámetro de latencia se incluye la utilización de la base de datos HLR en cada proceso de la red.

Se han evaluado tres diferentes arquitecturas de bases de datos: Una de las versiones se caracteriza por tener dos niveles de bases de datos que son HLR y VLR en la red, esta corresponde a la situación actual de los sistemas PCS dentro del estándar GSM, en donde la cada vez más alta tasa de usuarios, hace necesaria la introducción de alguna técnica de administración de movilidad. Las otras dos versiones corresponden a dos diferentes propuestas dentro del estándar. Ambas basadas en una arquitectura de base de datos de tres niveles. Esta arquitectura jerárquica de base de datos consiste de los mismos elementos de la primera versión HLR y el VLR; pero además se incluye como nuevo elemento un tipo de base de datos llamada DBR (Base de Datos de Registro). Las funciones principales de este nuevo elemento dentro del sistema PCS consisten en determinar la estrategia de distribución de información para cada una de las MT's asociadas, así como también almacenar la información de ubicación de Terminales Móviles locales y remotas.

La diferencia entre estas últimas dos versiones es el esquema de administración de localización de usuarios móviles. En una de ellas se utilizan los DBR's distribuidos a través del sistema PCS, implementados con apuntadores de transmisión; mientras que en la otra arquitectura no se implementan los apuntadores. Debido a que la operación de registro de



terminales con apuntadores se lleva a cabo enviando un mensaje desde un DBR a otro, o desde un DBR a un VLR, de esta forma se eliminan múltiples accesos al HLR.

Se introdujo un algoritmo para determinar la estrategia de distribución de información de localización por usuario, el cual reduce significativamente el tráfico de señalización y el número de accesos al HLR por administración de la localización.

## VI.2. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos revelan invariablemente que la capacidad de la red se verá afectada seriamente si no se implementa una técnica para administrar la movilidad de los usuarios. También el retardo que experimentan los mensajes en la red cuando se utiliza una arquitectura jerárquica de base de datos es notoriamente inferior, solamente cuando la movilidad del usuario es alta, ya que si esta movilidad del usuario así como el origen y entrega de llamadas disminuye, la arquitectura de tres niveles no presenta una gran mejoría en su desempeño.

Sin embargo, debido al cada vez mayor número de suscriptores en los sistemas PCS, (que ya se estima que el incremento de usuarios aumenta en un 50% por año) se hace inminente la inclusión de nuevas técnicas de administración de movilidad en las redes actuales.

Al evaluar las tres arquitecturas de bases de datos, se ha observado que el caso en el que se utiliza una arquitectura jerárquica de bases de datos con una técnica de apuntadores es en general más provechoso. Cuando se utiliza esta forma de administrar la movilidad del



usuario se logra una mayor capacidad en la red y en general el retardo experimentado por los mensajes es menor.

También en éste trabajo se ha evaluado el impacto de la movilidad de los usuarios sobre la capacidad de la red. Se encontró que la movilidad de los usuarios puede llegar a afectar en gran medida la capacidad de llamadas. De allí que es importante considerar la movilidad de los usuarios durante el diseño de las áreas de localización de la red. A una mayor movilidad de usuarios, las áreas de localización deberían ser proyectadas con un mayor tamaño para evitar que los procesos de traspaso de llamadas y registros de terminales sean tan frecuentes, pero esto no sucede debido a que al implementar áreas de localización de mayor tamaño requeriría utilizar Estaciones Base y Terminales Móviles con una mayor potencia de transmisión, provocando efectos secundarios en la transmisión de señales, como lo es la interferencia co-canal.

### **VI.3. APORTACIONES**

La principal aportación fue la demostración objetiva de que la arquitectura de base de datos de tres niveles es superior a la de dos niveles. Por lo cuál, en la evolución de los sistemas PCS, se recomienda la adopción de esta arquitectura .

También la introducción del concepto de apuntadores en la arquitectura jerárquica de base de datos, que mejora de ligera a sensiblemente la respuesta del sistema en comparación con la de tres niveles. Estas observaciones no se han encontrado en la literatura conocida hasta el momento.

De forma más detallada las principales aportaciones son las siguientes:

- Se desarrolló una comparación entre dos arquitecturas de bases de datos para GSM (de dos y tres niveles), considerando aspectos de movilidad y patrones de arribo de llamadas; así como también tiempos de procesamiento de las diferentes capas de la SS7.
- Se analizaron los componentes del Sistema de Señalización No.7, este hace uso de una técnica de descomposición en capas, en la cuál se consideran diferentes cargas de tráfico para modelar diferentes tipos de usuarios en la red.
- Se implementó dentro de la arquitectura de base de datos de tres niveles, una técnica para mejorar la administración de movilidad de los usuarios PCS, la técnica consiste en utilizar apuntadores para distribuir la información de localización en diferentes bases de datos.
- Se desarrolló un modelo de colas para el sistema de base de datos, con el fin de evaluar el retardo extremo-extremo de los servicios que proporcionan los sistemas PCS.
- Considerando que la tecnología PCS actualmente está siendo introducida en México, el trabajo aquí desarrollado constituye un documento de consulta, para todas las personas interesadas en el tema.

#### **VI.4. RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO**

En seguida se establecen algunas direcciones posibles para trabajo futuro.

Se ha afirmado que los procesos para mantener la localización de los usuarios en las redes PCS requieren recursos adicionales de la red. En [Sami Tabbane, 1997] se

presentan dos métodos para administrar la movilidad de los usuarios conocidos como Métodos basados en memoria y Métodos no basados en memoria, en este trabajo se aplicó el segundo método como técnica para administrar la localización de usuarios. Sería conveniente evaluar la primera alternativa propuesta o una combinación de las dos para comparar hasta que medida beneficiaría el introducir uno de los dos métodos en las redes actuales, tanto en el tráfico de señalización necesario para la provisión de los servicios a usuarios, así como en el número de consultas a las bases de datos de la red.

En [K. Garg Vijay, 1996] se examinan los problemas de interoperabilidad entre estándares de sistemas PCS no similares (como son GSM e IS-41C). Se ha encontrado que el tratar de proporcionar servicios tales como registro de localización, privacidad y autenticación y traspaso de llamada entre los diferentes sistemas incrementa de manera significativa la carga de señalización en la red. Sería conveniente verificar si alguna de las técnicas aquí propuestas para reducir el tráfico de señalización proporciona alguna solución para establecer operatividad entre los distintos estándares para PCS.

Con respecto a la carga de tráfico sería conveniente establecer modelos de tráfico heterogéneos; es decir no solamente el incremento de usuarios va ocasionar el incremento de tráfico de señalización en el sistema PCS sino también el incremento de los servicios proporcionados como son multimedios y datos.

Adicionalmente, las colas de los diferentes elementos de la red podrían ser limitadas en longitud para representar la red de manera más realista. Esto requeriría de la implementación de métodos de control de flujo y admisión del tráfico en la red.

Otro posible aspecto a estudiar es la integración y evolución de las redes móviles actuales hacia plataformas como UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systems) y UPT (Universal Personal Communications). En [Magendaz T., 1996] se estudian diferentes escenarios posibles para la evolución hacia UMTS. Tanto en UMTS como UPT la red inteligente tiene asegurado un papel importante.

En estos posibles futuros trabajos vislumbrados, las bases teóricas, los modelos, y la metodología seguida en este trabajo de tesis, serían de bastante utilidad.

## **VI.5.COMENTARIOS**

Los Sistemas de Comunicación Personal (PCS) representan el sector de las telecomunicaciones con más rápido crecimiento y uno de los que mayores ingresos económicos generan. Aunque pudiese pensarse que gran parte del trabajo en PCS está hecho ya, aún hay mucho trabajo por hacer. Las redes PCS están evolucionando en todos los aspectos, desde las unidades móviles cada día más pequeñas y portables, incluyendo el acceso al canal de radio soportando más usuarios con mejores técnicas (por ejemplo utilizando CDMA) que garantizan una mejor calidad de la comunicación, hasta las técnicas en la parte de la red de señalización que cada vez proporciona mejores y mayores servicios a los usuarios.



Gran parte de las experiencias adquiridas en el desarrollo de los PCS son utilizadas para la especificación de los futuros sistemas inalámbricos mundiales. La IN ha sido identificada como un elemento necesario en la arquitectura de las redes de telecomunicaciones del futuro y muy pronto será introducida en las redes de banda amplia soportando servicios multimedia. Los sistemas móviles del futuro (por ejemplo, UMTS) están siendo proyectados utilizando las capacidades de la red inteligente.

Las aplicaciones y servicios más demandantes en las redes de telecomunicaciones hacen necesaria una revisión al Sistema de Señalización Número 7; a pesar que SS7 ha permitido la aparición de tecnologías emergentes como la IN, UPT y Redes Móviles, es un hecho que éste fue proyectado teniendo en mente tecnologías anteriores. Por ejemplo, la velocidad de transmisión de 64 kbps en los enlaces de señalización en pocos años será insuficiente. Adicionalmente, la verificación de errores en cada nodo de la red ya no es necesaria debido a la reciente inclusión de medios de comunicación más libres de error (como por ejemplo las fibras ópticas).

Las comunicaciones móviles y personales representan una mayor discontinuidad en servicios y tecnologías de telecomunicaciones cuyo futuro desarrollo involucrará una relación compleja de fuerzas en el mercado, regulación, innovación tecnológica y estándares. El camino para lograr una visión completa de PCS será evolucionario y la dirección de esta evolución dependerá grandemente de las necesidades de los usuarios y de la industria de las telecomunicaciones en la siguiente década.

## LITERATURA CITADA

- Akyldiz Ian y Joseph Ho. 1996. "*On Location Management for Personal Communication Networks*". IEEE Communications Magazine; pp 138-145, September.
- Bafutto Marcos, Paul Kuhn y Gert Willmann. 1994. "*Capacity and Performance Analysis of Signaling Networks in Multivendor Environments*". IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol 12, No.3; pp. 490-500.
- Bedoy Jesús. 1997. "*Estudio de mecanismos de Control de Flujo para la Entrega Eficiente y Robusta de Servicios en la Red Inteligente*". Tesis de Maestría, CICESE México.
- Black Uyless. 1996. "*Mobile and Wireless Networks*". Prentice Hall, USA.
- CCITT 1989. Specifications of the Signaling System No.7. Blue Book, Recommendations Q.700-Q.716. Geneva.
- Chung M.Y. y Sung D.K. 1993. "*Performance Evaluation of Intelligent networks Accommodating Various IN Services as well as Basic ISDN Services*". Proc. Of the Int Council for computer Comm. IN Conf. April.
- Garg Vijay and Joseph Wilkes. 1996. "*Wireless and Personal Communications Systems*". Prentice hall, pp 441, USA.
- Gibson Jerry D. 1996. "*The Mobile Communications Handbook*". II. Series. CRC Press Inc.
- Gomes Fabian 1993 "*Benchmarking SMTW with a SS7 Performance Model Simulation*". Department of Computer Science, the University of Calgary, Calgary Alberta, Canada. Internal Report.
- Hou Victor, Kant Krishna y V. Ramaswami. 1994. "*Error Monitoring Issues for Common Channel Signaling*". IEEE Journal on selected Areas in Communications. Vol. 12, No.3; pp.456-467. April.
- Husain Syed y James Marochi. 1996. "*Intelligent Network: A Key Platform for PCS Interworking and Interoperability*". IEEE Communications Magazine; pp 98-105, September.
- Jabbari Bijan. 1991. "*Common Channel Signaling System Number 7 for ISDN and Intelligent Networks*". Proceedings of the IEEE, Vol 79, No.2; pp. 155-169. February.

## LITERATURA CITADA (continuación)

- Jabbari Bijan, Giovanni Colombo, Akihisa Nakajima y Jayanat Kulkarni. 1995. "*Network Issues for Wireless Communications*". IEEE Communications Magazine; pp 88- 98. January.
- Jabbari Bijan. 1992. "*Intelligent Networks Concepts in Mobile Communication*". IEEE Communications Magazine; pp. 64-69, February.
- Lam Derek, Cox Donald y Widom Jennifer. 1997. "*Teletraffic Modeling for Personal Communications Services*". IEEE Communications Magazine; pp.79-87. February.
- Li Victor O.K., y Qiu Xiaoxin. 1995. "*Personal Communications Systems (PCS)*". Proceedings of the IEEE, Vol. 83, No.9; pp:1208-1243. September.
- Lin Yi-Bing and Steven Devries. 1995. "*PCS Network Signaling Using SS7*". IEEE Personal Communications; pp. 44-55, June.
- Magendaz T. 1996. "*Integration and Evolution of Existing Mobile Telecommunications System toward UMTS*". IEEE Communications Magazine; pp.90-98. September.
- Martinez Illescas Roberto. 1998. "*La era de la comunicación*" Apuntes sobre el Personal Communications Service Report (Financial Times Media and Telecommunications). [Http://www.cft.gob.mx/html/la\\_era/art/pcsar.html](http://www.cft.gob.mx/html/la_era/art/pcsar.html)
- Mehrotra Asha.1997. "*GSM System Engineering*". Artech House Publishers Inc. Boston/London.
- Meier-Hellstern Kathleen, Eduardo Alonso y Douglas Douglas. 1992. "*The Use of SS7 and GSM to Support High Density Personal Communications*". Proceedings of the ICC; pp 1698-1702.
- Melgarejo Lomelin, Ivan. 1998. "*Estudio de la eficiencia espectral del sistema TDMA en base al esquema de modulación empleado para comunicaciones inalámbricas en México*". Tesis de Maestría. CICESE
- Mohan S. y R. Jain. 1994. "*Two Users Location Strategies for Personal Communication Services*". IEEE Personal Communications; pp 42-50, First Quarter.
- OPNET Modeller Manuals. 1998. MIL 3.5 Inc. USA.
- Pandya Raj.1995. "*Emerging Mobile and Personal Communication System*". IEEE Communications Magazine; pp. 44-51. June.



**LITERATURA CITADA (continuación)**

- Pollini Gregory P., Meier-Hellstern Kathleen S. y Goodman David. 1995. "Signalling Traffic Volume Generated by Mobile and Personal Communications". IEEE Communications Magazine; pp.60-65. June.
- Ramaswami V. y Jonathan Wang. 1993. "Analysis of the Link Error Monitoring Protocols in the Common Signaling Network". IEEE/ACM Transactions of Networking, Vol.1, No.1; pp. 31-46. February.
- Sami Tabbane. 1997. "Location Management Methods for Third-generation Mobile Systems". IEEE Communications Magazine; pp.72-84. August.
- Stallings William. 1995. "ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM," Third Edition. Prentice Hall.
- Thomas R. Gilbert y G. Mazzioto. 1988. "Influence of the Moving of the Mobile Stations on the Performance of a Radio Mobile Cellular Network". Proc. 3rd Nordic Seminar, Paper 9.4, Denmark.
- Unger Brian, Douglas Goetz y Maryka Stephen. 1994. "Simulation of SS7 Common Channel Signaling". IEEE Communications Magazine, pp. 52-62. March.
- Willmann Gert y Paul Kühn. 1990. "Performance Modeling of Signaling System No. 7". IEEE Communications Magazine, Vol 28; pp. 44-56, July.
- Wirth Patricia. 1995. "Teletraffic Implications of Database Architectures in Mobile and Personal Communications". IEEE Communications Magazine; pp 55-59. June.



## ANEXO: INTRODUCCIÓN A OPNET

OPNET proporciona un ambiente de desarrollo completo que permite el modelaje y la evaluación del desempeño de sistemas distribuidos y redes de comunicaciones. El comportamiento de los sistemas y su desempeño es obtenido mediante la realización de simulaciones de eventos discretos.

OPNET ofrece un ambiente de simulación orientado a objetos que permite el reuso de módulos. OPNET es una herramienta de simulación orientada a comunicaciones que permite la especificación de modelos de simulación en gran detalle, cuenta con herramientas para la depuración y animación de los modelos.

El paquete consiste de varias herramientas, cada una enfocada en aspectos particulares del modelaje. Estas herramientas pueden agruparse en 3 clases distintas: herramientas para la especificación de los modelos, herramientas para ejecutar la simulación y para la colección de datos (resultados arrojados de las simulaciones) y herramientas de análisis. En seguida se da un panorama acerca de éstas herramientas.

### **Herramientas para la Especificación del Modelo**

OPNET permite las especificaciones de modelos por medio de cuatro herramientas o editores que capturan las características del modelo bajo estudio. Estos son: el editor de red, el editor de nodo, el editor de procesos y el editor de parámetros. La especificación del modelo se realiza de una manera jerárquica. Las especificaciones realizadas en el editor de red requieren de elementos especificados en el editor de nodo. A su vez, las

especificaciones realizadas en el nivel nodo hacen uso de modelos definidos en el editor de procesos. El editor de parámetros se utiliza para definir modelos de datos (como formatos de paquetes, funciones de densidad de probabilidad, etc.) que son luego utilizados en el nivel de proceso o en el de nodo.

### ***Editor de Red***

El editor de red se utiliza para especificar gráficamente la topología de la red de comunicaciones por medio de nodos y enlaces de comunicación. Es posible agrupar segmentos de red en una subred tal y como se hace realmente en las redes de comunicaciones actuales.

### ***Editor de Nodo***

El editor de nodo se utiliza para definir de manera gráfica el flujo de datos entre los módulos que conforman un nodo. Ejemplos de módulos incluyen procesadores, colas y generadores de tráfico entre otros.

### ***Editor de Procesos***

El editor de procesos utiliza diagramas de estados, una extensión del lenguaje C conocida como proto-C (C para protocolos) y una librería de más de 300 primitivas para desarrollar protocolos y algoritmos complejos. Las tareas que realizan los módulos del nivel de nodo son llamadas procesos y ellos son definidos por medio del editor de procesos.

OPNET no impone restricción alguna en la complejidad ni el detalle incluidos en las especificaciones de los modelos de simulación. OPNET soporta el concepto de programación orientada a objetos permitiendo el reuso de modelos. Pueden ser creados

nuevos modelos utilizando modelos previamente creados. Esto significa que componentes de cada uno de los niveles pueden ser modificados y/o reutilizados para formar modelos.

### **Herramientas para Ejecución de la Simulación y Colección de Datos**

Mediante la utilización de las herramientas para la especificación del modelo, se puede obtener un programa ejecutable (un programa que no depende de OPNET y que se puede invocar desde la línea de comandos) que incluya en sí mismo las características importantes del modelo bajo estudio. El objetivo que se persigue al realizar simulaciones es el obtener medidas que permitan estimar el desempeño de un sistema o hacer mediciones respecto al comportamiento del sistema. OPNET permite la colección de información de interés en las simulaciones por medio de vectores y escalares de salida. Un vector almacena información relativa a una sola corrida de la simulación, el vector se constituye por pares ordenados donde la primera componente de un par ordenado es una variable independiente (comúnmente el tiempo de simulación) y la segunda es una variable dependiente (que puede ser el número de paquetes, retardo, etc.). Los vectores se van acumulando y almacenando al transcurrir el tiempo de simulación.

Los escalares por otra parte permiten acumular datos de varias corridas de la simulación. Típicamente se corre una vez la simulación durante un tiempo dado y bajo ciertos valores de entrada, obteniendo un valor promedio asociado a esas condiciones de entrada mismo que se almacena en un escalar. Posteriormente se cambian las condiciones de entrada y se vuelve a correr la simulación por el mismo tiempo, obteniéndose otro valor

promedio que se acumula en el escalar. Este proceso puede repetirse cuantas veces sea necesario. Los escalares son muy útiles para la generación de curvas que representen el comportamiento de un sistema al variar ciertos parámetros de entrada. Por ejemplo es por medio de escalares como pueden obtenerse curvas como *caudal contra carga ofrecida*, *retardo contra carga ofrecida*, etc.

### **Herramientas de Análisis**

Esas herramientas permiten graficar y manipular los datos (ya sean vectores o escalares) recolectados a lo largo de las simulaciones. OPNET ofrece flexibilidad para el despliegue de gráficas y proporciona herramientas estadísticas y matemáticas para manipular los resultados (como por ejemplo permite calcular intervalos de confianza y funciones de distribución de probabilidad, la aplicación de filtros a los datos, etc.). Adicionalmente OPNET permite un análisis visual del comportamiento de la red por medio de animaciones. Una animación es una representación gráfica dinámica de eventos seleccionados que ocurren durante la simulación. Existe la posibilidad de exportar en formato texto la información contenida en escalares o vectores para su procesamiento en otros paquetes de computo.

En resumen, las principales características que proporciona OPNET incluyen:

- Orientación a Objetos
- Especializado para redes de comunicaciones y sistemas de información
- Modelaje en niveles (jerárquico)



- Ambiente gráfico
- Flexibilidad para desarrollar detallados y personalizados modelos de redes existentes y prototipos
- Generación automática de simulaciones
- Herramientas de Análisis integradas
- Depuración avanzada
- Animación

Al trabajar con OPNET es bueno tener presente que debido al alto nivel de complejidad que se puede especificar en los modelos de simulación, se hacen necesarios recursos de cómputo sofisticados, además el tiempo de simulación de un modelo de regular complejidad es elevado. El lector interesado en mayor detalles acerca de OPNET puede revisar los manuales del paquete [OPNET, 1993].

## GLOSARIO

ACM	Address Complete Message: Mensaje de Dirección Completa
ADJ	Adjunto
AMPS	Advanced Mobile Phone System: Sistema Telefónico Móvil Avanzado
ANM	Answer Message: Mensaje de Contestación
ANSI	American National Standards Institute: Instituto de Estandarización Nacional Americano.
Bellcore	Bell Communications Research: Grupo de Investigación en Comunicaciones de los Laboratorios Bell
BIB	Backward Indicator Bit: Bit Indicador de Regreso
BS	Base Station: Estación Base
BSC	Base Station Controller: Controlador de la Estación Base
BSN	Backward Sequence Number: Número de Secuencia de Regreso
CCS	Common Channel Signaling: Señalización por Canal Común
CDM	Control de Distribución de Mensajes
CEM	Control de Envío de Mensajes
CER	Control de Enrutamiento en Recepción
CET	Control de Enrutamiento en Transmisión
CK	Check Bits: Bits para el Chequeo de Error
CONCR	Control Orientado a no Conexión para Recepción
CONCT	Control Orientado a no Conexión para Transmisión
CPLL	Control para Procesamiento de Llamadas de Llegada
CPLS	Control para Procesamiento de Llamadas de Salida
CR	Control de Recepción
CS	Capability Set: Conjunto de Capacidades
CS-1	Capability Set-1: Conjunto de Capacidades Versión Uno
CS-2	Capability Set-2: Conjunto de Capacidades Versión Dos
CT	Control de Transmisión
DADER	Delimitación, Alineamiento y Detección de Error en la Recepción
DADET	Delimitación, Alineamiento y Detección de Error en la Transmisión
DBR	Base de Datos de Registro
DISCM	Discriminación de Mensajes
DISTM	Distribución de Mensajes
DPC	Destination Point Code: Código del Punto de Destino
EIA	Electronic Industry Association: Asociación de la Industria Electrónica
EM	Enrutamiento de Mensajes
ESN	Electronic Serial Number: Número de Serie Electrónico
ETSI	European Telecommunications Standards Institute: Instituto Europeo de Estandarización en Telecomunicaciones
FE	Functional Entity: Entidad Funcional
FEA	Functional Entity Actions: Acciones de las Entidades Funcionales

## GLOSARIO (continuación)

FIB	Forward Indicator Bit: Bit de Indicador de Ida
FISU	Fill-In Signal Unit: Unidad de Señalización de Relleno
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunication Systems: Sistemas de Telecomunicaciones Públicos Móviles Terrestres del Futuro
FSN	Forward Sequence Number: Número de Secuencia de Ida
HDLC	High Level Data Link Control: Control del Enlace de Datos de Alto Nivel
GSM	Global System for Mobile Communications: Sistema Global para Comunicaciones Móviles
HLR	Home Location Register: Registro de Localización de Usuarios Locales
IAM	Initial Address Message: Mensaje de Dirección Inicial
IN	Intelligent Network: Red Inteligente
IP	Intelligent Peripheral: Periférico Inteligente
IS-41	Inter-System Protocol: Protocolo para la Interoperabilidad e Interconectividad de Sistemas
ISDN	Integrated Services Digital Network: Red Digital de Servicios Integrados
ISUP	ISDN User Part: Parte del Usuario ISDN
ITU	International Telecommunications Union: Unión Internacional de Telecomunicaciones
ITU-T	ITU-Telecommunications Sector, Sector de Estandarización en Telecomunicaciones
LA	Location Area: Area de Localización
LE	Local Exchange: Oficina Local
LI	Length Indicator: Indicador de Longitud
LSSU	Link Status Signaling Unit: Unidad de Señalización del Estado del Enlace
MAP	Mobile Application Part: Parte de Aplicación Móvil
MIN	Mobile Identification Number: Número de Identificación Móvil
MS	Mobile Station: Estación Móvil
MSC	Mobile Switching Center: Centro de Conmutación Móvil
SU	Message Signaling Unit: Unidad de Señalización de Mensajes
MTP	Message Transfer Part: Parte de Transferencia de Mensajes
NAP	Network Access Point: Punto de Acceso a la Red
NMT	Nordic Mobile Telephone: Sistema Telefónico Móvil Nórdico
OPC	Originating Point Code: Código del Punto de Origen
PCS	Personal Communication Services: Servicios de Comunicación Personal
PIN	Personal Identification Number: Número de Identificación Personal
PSTN	Public Switched Telephone Network: Red Telefónica Pública Conmutada
REL	Release: Liberación
RLC	Release Complete: Liberación Completa
RP	Return Point: Punto de Retorno
RT	Redes de Telecomunicaciones
SAP	Service Access Point: Punto de Acceso al Servicio



## GLOSARIO (continuación)

SCC	Subcapa Cordinadora de Componentes
SCCP	Signaling Connection Control Point: Parte de Control de la Señalización de Conexión
SCE	Service Creation Environment: Ambiente de Creación de Servicio
SCP	Service Control Point: Punto de Control de Servicios
SF	Status Field: Campo de Estado
SI	Service Identification: Indicador de Servicio
SIB	Status Identification Busy: Indicación de Estado Ocupado de Servicios
SIF	Signaling Information Field: Campo de Información de Señalización
SLP	Service Logic Programs: Programas de Servicio Lógico
SL	Signaling Link: Enlace de Señalización
SMDC	Subcapa de Manejo del Diálogo de Componentes
SMS	Service Management System: Sistema de Manejo de Servicio
SN	Service Node: Nodo de Servicio
SP	Signaling Point: Punto de Señalización
SS7	Signaling System #7: Sistema de Señalización Número 7
SSP	Service Switching Point: Punto de Conmutación de Servicios
ST	Subcapa de Transacción
STP	Signaling Transfer Point: Punto de Transferencia de Señalización
SU	Signaling Unit: Unidad de Señalización
TACS	Total Acces Communication System: Sistema de Comunicaciones de Acceso Total
TCAP	Transaction Capability Application Part: Parte de Aplicación con Capacidades de Transacción
TE	Transit Exchange: Oficina de Tránsito
TIA	Telecommunication Industry Association: Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones
TMSI	Temporal Mobile Station Identity: Identidad Temporal de Estación Móvil.
UPT	Universal Personal Telecommunications: Telecomunicaciones Personales Universales
VLR	Visitor Location Register: Registro de Localización de Visitantes
VPN	Virtual Private Network: Red Virtual Privada



