

UNIVERSIDAD CENTRO OCCIDENTAL
"LISANDRO ALVARADO"

**HERRAMIENTA GRÁFICA QUE SIMULA EL COMPORTAMIENTO DE
UN SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL BASADO EN EL ESTÁNDAR
CDMA2000 (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS -2000)**

FRANCIS DELIS FRANCHI PAREDES

Barquisimeto, 2006

UNIVERSIDAD CENTRO OCCIDENTAL
“LISANDRO ALVARADO”
DECANATO DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
POSTGRADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACION
MENCION REDES DE COMPUTADORAS

**HERRAMIENTA GRÁFICA QUE SIMULA EL COMPORTAMIENTO DE
UN SISTEMA DE TELEFONÍA MÓVIL BASADO EN EL ESTÁNDAR
CDMA2000 (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS -2000)**

*Trabajo de grado presentado para optar al grado de
Magíster Scientiarum*

Por: FRANCIS DELIS FRANCHI PAREDES

Barquisimeto, 2006

DEDICATORIA

*A Dios, mi creador, mi padre y mi amigo, por darme la
oportunidad de alcanzar esta meta y por estar
siempre a mi lado.*

*A mi Familia, por su amor incondicional, por apoyarme
en todo tiempo y por creer en mí.*

AGRADECIMIENTO

A ti Señor, por darle sentido a mi vida, por guiar mi camino y por darme la fortaleza para seguir adelante, gracias a tu amor y tu misericordia he alcanzado esta meta.

A mis padres, Loida y Rafael, por haberme formado con su amor y sabiduría, a ustedes les debo lo que soy, gracias por estar siempre a mi lado. ¡Los Amo!

A mis hermanos, Floriangela, Fidel, Fiodor, Samuel y Maribel, por ser mis amigos y ayudarme cada vez que lo necesité, con ustedes comparto este nuevo logro.

A mis sobrinos, Marcos, Esteban, Juan y Héctor Javier, por compartir conmigo tantos momentos de alegría , espero serviles de ejemplo.

A mis tíos y primos, por estar siempre pendientes de mí. Gracias

A mis amigos de la Iglesia, por ser parte de mi familia y por sus oraciones. Muchas gracias.

A mis compañeras Zorely y Milagros, por acompañarme en este camino y ser parte de un gran equipo.

A mi amiga Luzneida, por darme ánimo cada vez que lo necesitaba, por sus consejos y por creer en mí, gracias amiga, ¡Te quiero mucho!.

A mi amiga de toda la vida, Nataly, gracias por tu apoyo, espero que tu también alcances esta meta.

Al profesor William Polanco, mi tutor, quien con su calidad humana y sus conocimientos técnicos me brindó el apoyo necesario para concluir este proyecto.

A todos aquellos, que de una u otra manera fueron parte de este logro. Muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	vii
INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE GRAFICOS.....	xi
INDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I. EL PROBLEMA.....	3
Planteamiento del Problema.....	3
Objetivos de la Investigación.....	8
Justificación e Importancia.....	9
Alcances y Limitaciones.....	10
II. MARCO TEÓRICO.....	11
Antecedentes de la investigación.....	11
Bases Teóricas.....	16
III. MARCO METODOLÓGICO.....	65
Naturaleza del Estudio.....	65
Fases del Estudio.....	66
IV. PROPUESTA DEL ESTUDIO.....	91
Justificación.....	91
Objetivos	92
Descripción de la Propuesta.....	92
V. CONCLUSIONES.....	115
RECOMENDACIONES.....	117
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	118
ANEXOS.....	121

A. Currículum Vitae del Autor.....	122
B. Cuestionario.....	124
C. Resultados del Cuestionario.....	128
D. Entrevista Estructurada.....	132
E. Resultados de la Entrevista Estructurada.....	135
F. Hoja de Validación de Juicio de Expertos.....	138
G. Lista de Precios de Visual Solutions.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura</i>	<i>Pág.</i>
1. Conjunto de celdas de un sistema celular.....	21
2. Fragmentación celular.....	22
3. Red Celular Móvil.....	24
4. Evolución de los Sistemas Celulares a la Tercera Generación.....	30
5. Familia IMT-2000.....	31
6. Sistemas de Acceso Múltiple.....	32
7. Evolución de CDMA.....	36
8. Arquitectura de Red del sistema CDMA2000 1x.....	39
9. Evolución de CDMA2000.....	41
10. Arquitectura de Capas del Sistema CDMA2000.....	42
11. Arquitectura de Capas de la interfaz radioeléctrica del Sistema CDMA2000.....	42
12. Resumen de los principales parámetros técnicos de CDMA2000.....	44
13. Arquitectura Genérica UMTS.....	46
14. Arquitectura de UTRAN.....	48
15. Modos del Sistema UMTS.....	49
16. Protocolos UTRAN del plano de usuario.....	50
17. Protocolo de adaptación ATM tipo 2.....	51
18. Arquitectura de Calidad de Servicio UMTS.....	52
19. Ecuación 1. Requerimientos de QoS i para la conexión k	55
20. Ecuación 2. Limite de los Requerimientos de QoS para la conexión k del servicio i	56
21. Ecuación 3. Factor de carga correspondiente a la conexión k del Servicio i	56
22. Ecuación 4. Factor de carga total en el enlace ascendente.....	56
23. Ecuación 5. Factor de interferencia celular en el enlace ascendente.....	57
24. Ecuación 6. Carga total en el enlace ascendente.....	57
25. Ecuación 7. Relación entre el factor de interferencia intercelular con	

y sin sectorización.....	57
26. Ecuación 8. Factor de Elevación de Fondo de Ruido.....	58
27. Ecuación 9. Margen de Interferencia.....	58
28. Escenario de Aplicación de Zigbee.....	60
29. Topología de una Red IEEE 802.11.....	61
30. Modos de funcionamiento de Aps con WDS.....	62
31. Pila de Protocolos de las Redes IEEE 802.....	63
32. Interfaz gráfica del módulo de archivos que permite incluir los servicios.....	93
33. Entorno celular de simulación.....	95
34. Ejemplo de simulación del Hand –over.....	97
35. Ejemplo de un escenario de simulación creado por el usuario.....	99
36. Ejemplo de un escenario de simulación creado por el usuario y cálculo del factor de carga del sistema.....	99
37. Ventana donde el usuario selecciona el escenario que desea ver.....	100
38. Ejemplo de un reporte generado por el sistema.....	101
39. Interfaz gráfica del sub-módulo Actualizar Usuarios.....	102
40. Interfaz gráfica del sub- módulo configurar parámetros.....	103
41. Ejemplo del módulo de ayuda.....	104
42. Carta Estructurada del Sistema.....	105
43. Diagrama de Flujo del Sistema.....	106
44. Diagrama de Flujo del módulo archivos.....	107
45. Diagrama de Flujo para el módulo de simulación.....	108
46. Diagrama de Flujo para el módulo reportes.....	109
47. Diagrama de Flujo para el módulo de mantenimiento.....	110
48. Estructura de la Base de Datos.....	114

INDICE DE CUADROS

<i>Cuadro</i>	<i>Pág</i>
1. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le gustaría comprender en detalle el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil.....	69
2. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le conocen los elementos que conforman un sistema de telefonía móvil.....	70
3. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de conocen el término hand-over.....	71
4. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben las razones por las cuales se realiza el hand-over.....	72
5. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si comprenden con claridad el proceso que se lleva a cabo cuando ocurre el hand-over.....	73
6. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si pueden describir cómo funciona internamente una red de telefonía móvil.....	74
7. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen las características del estándar Cdma2000.....	75
8. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben cuáles son los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil.....	76
9. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen que factores influyen en la cobertura de un sistema de telefonía móvil.....	77
10. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen los modos de acceso utilizados en Cdma2000.....	78
11. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes	

acerca de si saben cómo calcular la capacidad de un sistema de telefonía móvil.....	79
12. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si estudian la telefonía móvil sólo de manera teórica.....	80
13. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si durante las clases relativas a la telefonía móvil ha realizado alguna actividad práctica donde participe activamente.....	81
14. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le agradaría utilizar en las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil.....	82
15. Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si considera que el uso de una aplicación que le permita observar cómo varía la cobertura y capacidad del sistema en función de las estaciones base y su configuración para un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000 mejoraría su comprensión acerca de los sistemas de telefonía móvil.....	84
16. Requerimientos mínimos de hardware.....	86
17. Requerimientos mínimos de software.....	86
18. Recursos de hardware.....	88
19. Recursos de software.....	88
20. Costo de desarrollo del software.....	75
21. Parámetros principales de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar Cdma2000.....	103
22. Tabla Mst_Escen.....	85
23. Tabla Mst_Zonas.....	85
24. Tabla Tbl_Escen.....	86
25. Tabla Mst_Estan.....	86
26. Tabla Mst_Servi.....	87
27. Tabla Mst_Usu.....	87

INDICE DE GRAFICOS

<i>Gráfico</i>	<i>Pág</i>
1. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le gustaría comprender en detalle el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil.....	70
2. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le conocen los elementos que conforman un sistema de telefonía móvil.....	71
3. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de conocen el término hand-over.....	72
4. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben las razones por las cuales se realiza el hand-over.....	73
5. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si comprenden con claridad el proceso que se lleva a cabo cuando ocurre el hand-over.....	74
6. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si pueden describir cómo funciona internamente una red de telefonía móvil.....	75
7. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen las características del estándar Cdma2000.....	76
8. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben cuáles son los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil.....	77
9. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen que factores influyen en la cobertura de un sistema de telefonía móvil.....	78
10. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen los modos de acceso utilizados en Cdma2000.....	79
11. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si	

saben cómo calcular la capacidad de un sistema de telefonía móvil.....	80
12. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si estudian la telefonía móvil sólo de manera teórica.....	81
13. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si durante las clases relativas a la telefonía móvil ha realizado alguna actividad práctica donde participe activamente.....	82
14. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le agradaría utilizar en las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil.....	83
15. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si considera que el uso de una aplicación que le permita observar cómo varía la cobertura y capacidad del sistema en función de las estaciones base y su configuración para un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000 mejoraría su comprensión acerca de los sistemas de telefonía móvil.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla</i>	<i>Pág.</i>
1. Atributos de QoS de servicios portadores	54

UNIVERSIDAD CENTROCCIDENTAL “LISANDRO ALVARADO”
DECANATO DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

Herramienta gráfica que simula el comportamiento de un Sistema
de Telefonía Móvil basado en el estándar CDMA2000 (Code
Division Multiple Access -2000)

Autora: Ing. Francis Delis Franchi Paredes

Tutor: Ing. Msc. William Polanco

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se encuentra enmarcado dentro de la modalidad de Estudio de Proyectos, apoyado en la investigación monográfica documental. Su objetivo principal es el diseño e implementación de una herramienta gráfica que simula el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar Cdma2000, que podrá ser aplicada como recurso didáctico en la asignatura de Redes Inalámbricas, correspondiente a la Maestría en Ciencias de la Computación mención Redes de Computadoras y a la especialización en Tecnología de Información y Comunicaciones. El desarrollo de este estudio se llevó a cabo mediante una serie de etapas. En primer lugar se determinó la necesidad del uso de esta herramienta en las asignaturas sobre Redes Inalámbricas dictadas en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), posteriormente se procedió al análisis de la información, luego se evaluó la factibilidad técnica, operativa y económica del proyecto. Una vez determinada la factibilidad se continuó con el desarrollo y evaluación de la herramienta para culminar con la elaboración de conclusiones y recomendaciones. Con este trabajo de investigación se buscó enseñar a tomar decisiones oportunas a través del uso de la herramienta permitiendo analizar cómo varía la cobertura y calidad de servicio de la red en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración. Garantizar la calidad de servicio(QoS), significa, dar soporte de servicios de voz, video y datos a los operadores y usuarios de la red móvil.

Palabras Claves: Telefonía, Simulador, Cdma2000, Móvil, QoS.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la industria de las telecomunicaciones ha mostrado grandes avances, ya que ha evolucionado desde sus inicios, cuando se caracterizó por el uso de cables para establecer la comunicación entre distintos puntos geográficos.

Gracias al surgimiento de las tecnologías inalámbricas y por satélite las personas pueden mantenerse interconectadas y obtener toda la información que necesiten sin importar el lugar donde se encuentren.

En este orden de ideas, cabe destacar el crecimiento de la telefonía móvil en el mundo, que actualmente alcanza una cifra superior a los 1.750 millones de usuarios, según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (2004).

Del mismo modo, en Venezuela y según cifras de la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (2005) el número de suscriptores de telefonía móvil supera los 10 millones de usuarios. Evidentemente, esto se debe a la evolución de la telefonía celular, ya que pasó de ofrecer solo servicios para voz a la transmisión en tiempo real de datos, videos y aplicaciones multimedia.

Uno de los estándares que mejor soporta estas aplicaciones en esta área geográfica es CDMA2000 (Acceso Múltiple por División de Código), el cual posee características que le permiten proporcionar calidad de servicio (QoS) en las comunicaciones móviles. De allí la importancia de su revisión y análisis en los programas de estudio relacionados con comunicación que se imparten en las diferentes universidades del país; entre ellas: la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.

No obstante, el aprendizaje de estas asignaturas se basa principalmente en fundamentos teóricos requiriendo de recursos didácticos que le permitan a los estudiantes comprender de una manera práctica el funcionamiento de dichas redes. De allí que el trabajo que se presenta a continuación consiste en el desarrollo de una aplicación que simula el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en CDMA2000. Esta permitirá mostrar el comportamiento del sistema bajo ciertas condiciones, relativas al número y ubicación de los usuarios y de las estaciones base.

Este proyecto está estructurado en cinco(5) capítulos que se describen a continuación:

En el Capítulo I se describe el problema, los objetivos, la justificación del estudio y los alcances y limitaciones.

En el Capítulo II se hace referencia a investigaciones similares realizadas anteriormente y que sirven de apoyo a este proyecto. Del mismo modo se presentan las bases teóricas sobre las que se sustenta el trabajo.

En el Capítulo III se muestran los aspectos metodológicos relativos a la naturaleza y las fases de la investigación.

En el Capítulo IV se realiza una descripción detallada de la propuesta.

En el Capítulo V, se exponen las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del Problema

La comunicación es el proceso de transmisión y recepción de ideas, información y mensajes. En los últimos 150 años, y en especial en las dos últimas décadas debido al avance de la civilización y a la necesidad de establecer comunicaciones con entornos geográficos más distantes, el hombre ha ideado diversas maneras para comunicarse con sus semejantes.

Las telecomunicaciones, gracias a sus avances tecnológicos, han permitido a las personas y organizaciones la comunicación a distancia usando medios o dispositivos inalámbricos.

Con el paso del tiempo, el desarrollo de la computación y su integración con las telecomunicaciones han propiciado el surgimiento de nuevas formas de comunicación, que son cada vez más aceptadas en el mundo actual. De allí pues, que sea posible intercambiar fácilmente información entre personas situadas en regiones distantes.

Es así que, el teléfono móvil ha pasado en estos últimos años de ser un objeto sólo accesible a las administraciones públicas o a un grupo escogido de ejecutivos, a ser un elemento cotidiano, tan necesario como el teléfono convencional, Frech (2000). En cierto modo, este proceso está contribuyendo a crear una nueva forma de entender las relaciones humanas, acercando a las personas a la sociedad de la información y, como consecuencia, está promoviendo la aparición de un nuevo entorno social y económico caracterizado por el destacado papel del conocimiento y la información como fuente de riqueza.

De esta forma, las comunicaciones móviles se han convertido en el área de crecimiento más rápido dentro del sector de las telecomunicaciones, especialmente la telefonía móvil celular, Frech (2000).

De hecho, en todo el mundo, a principios de 1999 existían cerca de 200 millones de usuarios móviles de telefonía celular, número que ha crecido considerablemente, alcanzando una cifra de 1.750 millones de usuarios en el año 2004, según estadísticas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones publicadas en su página web (2004), lo cual representa el 38,8% de la población mundial.

Al respecto, y según cifras de CONATEL (2005), en Venezuela el número de suscriptores de telefonía móvil supera los 10 millones de personas, lo cual significa que el 39% de la población venezolana dispone de este servicio.

En relación con esto, es importante mencionar el auge de las nuevas tecnologías en telecomunicaciones, ya que la telefonía móvil ha evolucionado desde sus inicios, cuando se caracterizó por ser analógica, ofreciendo, estrictamente, servicios para voz. Ballesteros (2002) señala que la transición de la primera a la segunda generación (2G) se realizó para solucionar los problemas en los sistemas analógicos como un servicio deficiente si se excede del número de usuarios que pueden contener los rangos de frecuencias asignados, así como los problemas de calidad, seguridad y confidencialidad. De esta forma se desarrolla el estándar GSM (Global System for Mobile Communications). Un paso intermedio entre la segunda y la tercera generación es la conocida como 2,5G, que ofrece los mismos servicios que la 2G pero a velocidades superiores. El estándar utilizado en este caso es el GPRS (General Packet Radio Service).

No obstante, a medida que crece el mercado de la telefonía móvil, Bettstetter (1999) afirma que los servicios existentes no llenan las necesidades de los usuarios y proveedores. Es por esto que surge la tercera generación (3G), la cual, según Ballesteros (2002) aporta una serie de servicios adicionales gracias a su mayor ancho de banda, como correos móviles multimedia, videotelefonía móvil, y una consolidación del concepto de oficina virtual.

Según Lorca, F. y Barandalla, I.(2002):

CDMA2000 (Code Division Multiple Access -2000) es una solución de telefonía móvil de 3era Generación. A diferencia de otros estándares de 3G, CDMA2000 es una evolución de un estándar inalámbrico existente. CDMA2000 provee servicios de tercera generación como está definido por la ITU (International Telecommunications Union) en la IMT-2000. Las redes 3G proporcionarán servicios inalámbricos con mejor desempeño, gran rentabilidad y más contenido. La meta es acceder a cualquier servicio, en cualquier lugar, a cualquier hora desde una terminal. Además las redes CDMA2000 ofrecen mejoras en la calidad de voz y soporte para servicios de datos multimedia.

De acuerdo a esto, uno de los principales objetivos de esta tecnología es facilitar el acceso a una mayor gama de servicios que sus predecesores, incluyendo el soporte de aplicaciones multimedia y, en general, de aquellas para las que la capacidad de las redes GSM/GPRS resulta insuficiente.

Sin embargo, el soporte eficiente de múltiples clases de tráfico con diferentes requisitos para aplicaciones de voz, datos, video y en general, aplicaciones multimedia, plantea el reto de satisfacer los requisitos de Calidad de Servicio (QoS) de cada aplicación y, al mismo tiempo, garantizar el uso eficiente de los recursos de red.

Según Moreno y otros (2002), comparada con GSM, la tecnología CDMA-2000 (Code Division Multiple Access -2000) es considerablemente mas compleja. Una de las características fundamentales de los sistemas CDMA es que el rango de cobertura está intrínsecamente relacionado con la capacidad del sistema. Lo que implica, que cada señal transmitida incrementa el nivel de ruido del sistema completo y este incremento reduce la capacidad del mismo.

De allí pues, que al estudiar un sistema de telefonía celular basado en CDMA2000 deben considerarse una serie de variables, tales como el número y posición de las células, número y arquitectura de los nodos de concentración, y cantidad de usuarios, entre otros. Estos factores determinan la cobertura, la calidad de servicio y la capacidad del sistema.

Al respecto, Portilla (2004) plantea que un problema inherente a la telefonía móvil consiste en el hecho de que cuando el teléfono celular está en movimiento, la

comunicación de un mismo móvil pasa de un canal a otro (hand-over), lo que puede causar en algunos casos interrupciones breves de la señal recibida.

Este comportamiento complejo de la tecnología CDMA requiere de herramientas que faciliten su comprensión en las aulas de clase. El uso de simuladores podría ayudar a que los participantes comprendan en su totalidad y de manera visible el funcionamiento de la redes de telefonía móvil basadas en este estándar. Al respecto Spinthal (1996), señala:

La aplicación del modelo Constructivista implica el reconocimiento de que cada persona aprende de diversas maneras, requiriendo estrategias metodológicas pertinentes que estimulen potencialidades y recursos, y que propician un alumno que valora y tiene confianza en sus propias habilidades para resolver problemas, comunicarse y aprender a aprender.

En relación a esto, es importante destacar que existen empresas de telecomunicaciones en el mundo que han desarrollado programas que permiten simular el comportamiento de un Sistema de Telefonía Móvil pero que resultan muy costosos para ser adquiridos como herramientas de aprendizaje en programas académicos relacionados con redes inalámbricas. Por ejemplo, el sistema ICS Telecom, diseñado por ATDI (Radio Network Planning Solutions) y el Professional VisSim, cuyo costo (ver Anexo G) esta por el orden de los tres mil dólares (3000\$), equivalente a seis millones cuatrocientos cincuenta mil bolívares (6.450.000).

En este sentido surge la necesidad de desarrollar herramientas de bajo costo y de sencilla implementación que les permita a los estudiantes de asignaturas de redes inalámbricas, tales como las que se dictan en la Maestría en Ciencias de la Computación y en la especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones, comprender el funcionamiento de los sistemas de telefonía móvil. Específicamente, se propone en este trabajo desarrollar una herramienta gráfica que simula el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000. Con ella se podrá observar gráficamente el funcionamiento del sistema para distintos escenarios de simulación, es decir, que al variar parámetros como el número de usuarios dentro del sistema, la distancia entre el usuario y las estaciones base, la cantidad de células y su separación, entre otros, se mostrará en forma

dinámica cómo cambia la cobertura y la calidad de servicio de la red móvil, basándose en el estándar CDMA2000.

Ante este planteamiento, cabe preguntarse ¿Existe la necesidad de emplear actualmente en las asignaturas sobre Redes Inalámbricas de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) una herramienta gráfica que simule cómo varia la cobertura y calidad de servicio de la red en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración para un Sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000? ¿Es factible técnica, económica y operativamente el desarrollo de una aplicación que permita simular el comportamiento de una red de telefonía celular basada en el estándar Cdma2000 con propósitos académicos? ¿Qué factores deben considerarse al diseñar un modelo que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en el estándar Cdma2000?

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Desarrollar un Herramienta gráfica que permita simular el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar Cdma2000.

Objetivos Específicos

- ✓ Diagnosticar la necesidad de emplear actualmente en las asignaturas sobre Redes Inalámbricas de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) una aplicación que permita simular cómo varia la cobertura y calidad de servicio de la red en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración para un Sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000.
- ✓ Estudiar la factibilidad técnica, económica y operativa del desarrollo de un herramienta que permita simular el comportamiento de una red de telefonía celular basada en el estándar Cdma2000.
- ✓ Diseñar un modelo que permita simular el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en Cdma2000.
- ✓ Programar y validar la herramienta.

JUSTIFICACIÓN

Por medio de la simulación se genera un sin número de opciones que pueden llegar a su solución, por medio de estrategias que se desarrollan de manera gráfica.

La simulación se ha convertido en una herramienta ampliamente utilizada en el ámbito educativo en la medida en que es cada vez más fácil aprovechar su potencial para promover procesos de aprendizaje. Simular la realidad en un ambiente gráfico, consiste en recrear el comportamiento de un sistema a través de cálculos numéricos sobre un modelo. Por ello es que el valor de la simulación no está solamente en la interacción con este ambiente, sino en la creación del modelo en el cual confluyen hipótesis y puntos de vista variados, haciendo explícitos un conjunto de funcionamientos de un sistema, los cuales son puntos importantes para evaluar una realidad virtual. El empleo de la simulación permite acelerar el proceso de aprendizaje y provee una estrategia didáctica muy útil que aumenta el interés de los estudiantes.

De allí pues, que esta aplicación proporciona a la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado de una herramienta novedosa y a bajo costo útil como estrategia didáctica en la asignatura de Redes Inalámbricas de los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones.

Los participantes de estos programas tendrán a su disposición una herramienta gráfica que les permitirá observar el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000, a través de la cual podrán manipular las variables que influyen en la cobertura, la calidad de servicio y la capacidad del sistema. Así pues, obtendrán una mayor comprensión del diseño de redes de telefonía móvil basadas en esta tecnología.

Se eligió la tecnología Cdma2000, ya que es el estándar de telefonía móvil que está incursionando actualmente en el mercado, siendo el equivalente americano al estándar europeo UMTS (Universal Mobile Telecommunications System).

ALCANCES Y LIMITACIONES

La aplicación simula un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000.

En primer lugar, la herramienta desarrollada simula el traspaso o hand-over por medio de un escenario que representa un sistema de telefonía móvil conformado por 23 células urbanas con un radio de 750 metros repartidas uniformemente en un territorio de 36 Km² (6Km x 6Km). Para ello, se establecieron los siguientes parámetros:

- Número de usuarios móviles: 50.
- Frecuencia de la Portadora: 1920 Mhz.
- Altura de las antenas de las estaciones base: 30 m.
- Potencia máxima de transmisión de las antenas de las estaciones base: 43dBm.
- Potencia máxima de transmisión de los móviles: 33dBm.

El algoritmo utilizado para el hand-over se basa en la potencia de los canales piloto, por lo cual no se considera la carga de las estaciones base en la simulación.

Por otra parte, el programa cuenta con un modulo de simulación que permite crear un escenario donde el usuario puede modificar los parámetros concernientes al tipo de célula, número de usuarios y estaciones base, servicios a considerar (voz, datos o ambos) y así calcular la capacidad y cobertura del sistema para el enlace ascendente (móvil – estación base) en función de estos valores.

Sin embargo, es importante mencionar que el sistema cuenta básicamente con las siguientes limitaciones:

- El cálculo de la capacidad y cobertura del sistema se limita solo al estudio del enlace ascendente. Por ende, la aplicación para el enlace descendente no se considera.
- Los parámetros considerados al simular el comportamiento del sistema en el caso de traspaso o hand-over están previamente establecidos y no pueden modificarse. Esto con el fin de hacer un poco más sencilla la implementación de este tipo de simulación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Antecedentes de la Investigación

A continuación, se presentan algunos trabajos de investigación, los cuales se tomaron como referencia para este trabajo.

Preciado, L.(2000), presentó un proyecto de fin de carrera en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, titulado: **Simulación de Sistemas de Comunicaciones Personales de Tercera Generación basados en CDMA**. En este proyecto se estudia la capacidad del sistema de comunicaciones móviles de tercera generación UMTS. Para su análisis fue necesario un conocimiento previo de los sistemas basados en CDMA, del estándar UMTS desarrollado por ETSI/3GPP y de algunas partes más concretas del estándar, tales como modulación, transmisión, recepción, codificación de canal, entre otros.

Uno de los objetivos de este Proyecto de Fin de Carrera era desarrollar un algoritmo que realizase una asignación óptima de usuarios a estaciones base.

Para realizar los estudios de capacidad se desarrollo un programa de simulación. Se estudiaron dos algoritmos de asignación y control de potencia, con objeto de analizar la posible mejora de capacidad de uno frente al otro. Finalmente se obtuvieron resultados comparativos para los dos algoritmos con distintas combinaciones de tráfico (sólo voz, sólo datos y servicios combinados) y en distintos tipos de situaciones, tales como entornos urbanos con antenas en esquinas y en fachadas, *hotspots*, *hotspots* con macrocélula y antenas sectorizadas.

En este sentido, la realización de este trabajo permite afirmar que los sistemas CDMA mejoran la capacidad respecto a los sistemas tradicionales. Además, si se

utiliza el algoritmo óptimo en lugar del de mínima atenuación se puede aumentar más esta capacidad, e incluso en mayor medida si se admite degradación.

Igualmente, se señala que las situaciones de alto tráfico en una zona de un entorno urbano provocan, en general, una pérdida en la capacidad global del sistema, respecto al caso en el que hay un reparto uniforme de la carga.

En situaciones de alto tráfico en una zona, dicho tráfico se intenta repartir entre las células más cercanas y cuando no es posible se cede a células más lejanas. Una macrocélula incorporada en la zona cargada absorbe tráfico proveniente de toda la ciudad, no sólo del área cargada.

Asimismo, cabe mencionar que esta investigación ha servido de base para el desarrollo de una herramienta de planificación UMTS para la Empresa Avanzit del grupo Radiotrónica, a través de un equipo mixto Universidad-Empresa.

Ante lo anteriormente descrito, se puede observar la relación que guarda este estudio con el trabajo propuesto, ya que se refiere a la simulación de un sistema de telefonía móvil basado en UMTS, que es el equivalente europeo al estándar CDMA2000.

Moreno, J. y Otros (2002), presentaron un proyecto para la división de desarrollo e investigación de la Empresa Telefónica Móviles de España, cuyo título fue: **Simulador de enlaces para el sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems) en modo FDD (Frequency División Duplex)**. El trabajo presentado por estos autores consiste en la realización de un simulador de nivel de enlace del modo FDD de UMTS. En esta aplicación cada bloque simulado se caracteriza por las funciones matemáticas o lógicas que realizan (ordenación o generación de bits o chips). El simulador trabaja con bits y chips, haciendo pasar la información por todas las etapas del transmisor, el canal y el receptor. Los resultados obtenidos son las tasas de error de bit (BER) y de bloque (BLER) que se obtienen para determinadas condiciones del canal y del ruido y para la configuración dada del transmisor y el receptor. Esta aplicación ha sido desarrollada en lenguaje C y esta destinada a correr en computadoras personales y en servidores multiprocesador.

Este simulador fue desarrollado para resolver un problema práctico, por lo tanto se enmarca dentro de la modalidad de estudios de proyectos.

Es conveniente notar que el desarrollo de esta herramienta constituye el primer eslabón de una cadena de aplicaciones destinadas a mantener una red UMTS en condiciones óptimas de exploración, al menos en lo que respecta a la gestión de los recursos de radio.

Mediante este estudio se demostró la utilidad de las simulaciones de enlace ya que, estas permiten, por un lado, disponer de la información sobre cuánta potencia se debe transmitir en cada caso para obtener una calidad determinada y, por otro, poder parametrizar la sensibilidad de la calidad con respecto a la configuración de la capa física. Por esta razón, la disponibilidad de una herramienta de simulación a este nivel resulta de incalculable valor para un operador de telefonía móvil.

El aporte de esta investigación es bastante interesante y novedoso, ya que consiste en un simulador a nivel de enlace de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar UMTS, el cual es el equivalente europeo del estándar Cdma2000. De allí pues, que es de gran utilidad porque proporciona información detallada de la arquitectura de una red de telefonía móvil equivalente a la estudiada.

Fonseca, H. (2003), presentó un trabajo para optar al título de Ingeniero en Computación en la Universidad Fermín Toro de Cabudare, Estado Lara y cuyo título fue: **Software de Simulación que determina la línea de vista entre dos antenas direccionales para la ciudad de Barquisimeto, Estado Lara**. El principal objetivo de esta investigación fue desarrollar un software de simulación que determina la línea de vista entre dos antenas direccionales. El sistema, diseñado en Visual Basic 6.0 bajo ambiente Windows, esta en la capacidad de mostrar integralmente la información en un modo interactivo y didáctico, determinando si puede existir transmisión entre las antenas, garantizando una óptima transmisión y detectando los obstáculos presentados en la línea de vista.

El desarrollo de esta herramienta tuvo como fin primordial brindar una solución a la problemática existente a la hora de instalar redes inalámbricas en cuanto a elegir la

ubicación óptima de las antenas permitiendo minimizar las interferencias y pérdidas de señal durante la transmisión.

Es por ello que esta investigación se encuentra enmarcada dentro de la modalidad de estudios de proyectos, debido a que fue desarrollada con el fin de proporcionar una solución a un problema práctico. Estuvo compuesta por tres fases de investigación: diagnóstico, factibilidad técnica, económica y operativa y diseño.

Este proyecto se considera un aporte relevante a esta investigación, ya que constituye una herramienta gráfica que permite evaluar el diseño de una red inalámbrica mediante la simulación, proporcionando información específica sobre la ubicación de las antenas, lo cual se considera importante para este estudio, ya que trata el tema de las redes inalámbricas y el diseño de una red a través de la simulación.

Vejarano, G. (2003), presentó un estudio para optar al título de Ingeniero Electrónico en la Universidad del Valle, Santiago de Calí, Colombia, cuyo título fue: **Simulación De La Capa Física Para Sistemas De Comunicaciones Móviles Cdma2000 1x (Estándar TIA/EIA/IS-2000.2-C)**. Este proyecto consistió en desarrollar un modelo de simulación de la capa física de cdma2000 de acuerdo con parámetros ajustables del sistema, configuraciones y ambientes de operación en Colombia. Tuvo como objetivos: Evaluar el desempeño de la capa física del enlace en condiciones ideales: una estación móvil, movimiento relativo nulo entre estación móvil y estación base, corta distancia entre la estación móvil y la estación base, una sola trayectoria de transmisión, interferencia nula, perfecta linealidad. De igual forma, apreciar los efectos en la capa física del enlace debidos al cambio del número de estaciones móviles atendidas por una estación base, la interferencia multitrajectoria, el movimiento relativo entre la estación móvil y la estación base, el número de usuarios, y la distancia entre la estación móvil y la estación base.

Para cumplir los objetivos propuestos, este estudio se llevó a cabo a través de una serie de pasos. El primer paso se realizó mediante la investigación documental para conocer el estándar de la capa física de los sistemas cdma2000. En el segundo se investigó acerca de la tecnología cdma2000 implementada en Colombia, buscando

información referente a las configuraciones y dispositivos usados. El tercer paso consistió en la lectura del estándar, teniendo en cuenta el manejo del espectro electromagnético investigado en el segundo paso y las configuraciones usadas en Colombia. El cuarto paso consistió en la búsqueda exhaustiva de la herramienta de simulación a usar. El quinto paso consistió en el desarrollo del modelo de simulación con la herramienta elegida y el sexto paso fue la validación del modelo de simulación propuesto.

De lo antes expuesto, se considera relevante este trabajo de grado ya que permitirá familiarizarse rápidamente con el funcionamiento de la capa física del enlace, lo que es especialmente útil a ingenieros desarrolladores de aplicaciones pues les indica fácil y rápidamente los límites y características de operación de la capa física, permitiéndoles orientar adecuadamente las aplicaciones que diseñan para la tecnología cdma2000.

El aporte de las investigaciones antes mencionadas radica primeramente en que están orientadas a la simulación de redes, proporcionando conceptos e ideas relacionados al funcionamiento de redes, dispositivos móviles y al estándar Cdma2000.

Bases Teóricas

Conceptos Básicos:

A continuación se presentan una serie de conceptos básicos relacionados a la telefonía celular, según Acosta, D(1999):

1. Célula o Celda:

Es cada una de las unidades básicas de cobertura en que se divide un sistema celular. Cada célula contiene un transmisor y transmiten un subconjunto del total de canales disponibles para la red celular a instalar. Cada célula, además de varios canales de tráfico, tendrá uno o más canales de señalización o control para la gestión de los recursos radio y la movilidad de los terminales conectados a ella.

2. “Cluster o racimo”:

Lo forman un conjunto de células. Entre todas, agrupan prácticamente la totalidad de las frecuencias disponibles por la red celular. Sumando varios racimos es como se alcanza la cobertura final del sistema celular, reutilizándose de esta manera las mismas frecuencias en todos los racimos.

3. Cobertura:

Se entiende por cobertura la zona desde la cual un terminal móvil puede comunicarse con las estaciones base y viceversa.

La cobertura o el alcance radio de una red es la composición del alcance radio de la suma de todas sus estaciones base.

4. “Hand-over o traspaso”:

Es el proceso de pasar una comunicación de un mismo móvil de un canal a otro. En función de la relación entre los canales origen y destino de la comunicación, los handover pueden clasificarse en:

- Handover intercelular, si el canal destino se encuentra sobre otra frecuencia distinta a la del origen, pero en la misma célula.
- Handover interBSC, cuando hay cambio de célula pero ambas células se encuentran dentro del mismo sistema controlador de estaciones base.
- Handover interMSC, cuando hay cambio de célula y de controlador de estaciones base (BSC), pero ambos BSC dependen de la misma central de conmutación móvil (MSC) .
- Handover entre MCSs, cuando hay cambio de célula y ambas células dependen de MSCs distintas.

5. HLR:

Son las siglas de “Home Location Register” o base de datos donde se contiene toda la información del usuario pertinente para la provisión del servicio de telefonía móvil. Los sistemas de altas y bajas de los operadores actuarán contra esta base de datos para actualizar las características del servicio de cada cliente. También hay en el HLR información actualizada sobre la situación actual de sus móviles.

6. VLR:

Corresponde a las siglas “Visitor Location Register” o base de datos donde se contiene toda la información del usuario necesaria para la provisión de los servicios durante la utilización de los mismos. El VLR tiene una copia de parte de los datos del HLR, referidos a aquellos clientes que se han registrado en la zona controlada por dicho VLR.

7. “Roaming” o Itinerancia:

Es la capacidad que ofrece una red móvil para poder registrarse en cualquier VLR de la red. Actualmente, este concepto está comúnmente asociado al registro de un móvil en una red distinta de la propia.

Sistemas de Transmisión

Según Gómez y Otros (2002), se pueden realizar varias clasificaciones de los sistemas de transmisión según se tengan en cuenta las distintas características de los mismos.

En función del sentido o direccionalidad de la transmisión:

1. Sistema dúplex:

La transmisión es posible en los dos sentidos simultáneamente, También es llamado full- duplex.

2. Sistema semiduplex:

Se permite la transmisión en ambos sentidos, pero no de una manera simultánea, sino que esta transmisión es alternativa en un sentido o en otro.

3. Sistema simplex:

La transmisión sólo es posible únicamente en un sentido, además este sentido siempre es el mismo.

Otra clasificación de los sistemas de transmisión puede venir definida en función de la técnica que se utilice en la transmisión de las señales a través del medio:

1. Transmisión analógica:

La tensión entre los conductores de la línea varía en función de la información recogida en el emisor, siendo estas variaciones detectadas por el receptor y transformadas de nuevo en la información original.

2. Transmisión digital:

Las variaciones de tensión son transformadas en señales digitales mediante un conversor analógico digital para su transmisión; en la recepción, estas señales son de nuevo transformadas por un conversor digital- analógico.

Telefonía Celular

La utilización de las ondas radioeléctricas se reveló desde hace tiempo como el único medio eficaz de establecer comunicaciones con puntos móviles, y lo seguirá siendo durante mucho tiempo, ya que las ondas de radio gozan de la propiedad de salvar obstáculos, y el resto de las interacciones conocidas por la física actual no puede propagarse a grandes distancias.

Según el IEC (International Engineering Consortium,2000):

Un sistema de comunicaciones móviles utiliza una gran cantidad de transmisores de baja potencia para crear celdas. Los niveles de potencia variables permiten a las celdas ser redimensionadas de acuerdo a la demanda y densidad de suscriptores dentro de una región particular. A medida que un móvil se desplaza de una celda a otra su comunicación se establece con nuevas estaciones base, mediante un procedimiento de traspaso de canal llamado handoff

Vera(2003), define la telefonía móvil como aquél sistema de transmisión el en cuál el usuario dispone de un terminal que no es fijo y que no tiene cables, y que le permite pues gran movilidad y localización en la zona geográfica donde se encuentre la red.

Es un servicio de radio celular que se basa en dar cobertura a un territorio a través de diversas estaciones base, donde cada una da un área de cobertura llamada célula (normalmente son hexagonales). Con este sistema, el dividir el territorio, se evita el problema de la restricción del ancho de banda. Pues se podrá transmitir en diferentes frecuencias que no están ocupadas en otras nuevas células.

Tipos de Telefonía Celular:

1. Analógica

Según Dyson, P. (1996), analógico es la forma de procesamiento de la voz que la convierte en señal de radio, utilizando en el sistema TACS (Total Access

Communications System). El sistema analógico está sujeto a interferencias, cortes de la comunicación e interceptaciones.

A continuación se mencionan las tecnologías analógicas mas importantes:

- AMPS (Advanced Mobile Phone System)
- C-405
- C-Netz
- Comvik
- N-AMPS (Narrowband Advanced Mobile System)
- NMT450 (Nordic Mobile Telephones/450)
- NMT900 (Nordic Mobile Telephones/900)
- NMT-F
- NTT (Nippon Telegraph and Telephone)
- RC2000 (Radiocom 2000)
- TACS (Total Access Communications System)

2. Digital:

Se diferencia de la tecnología analógica en el sentido de que la voz es codificada y compactada digitalmente.

Las ventajas de la telefonía celular digital son:

- Integración natural a las redes alámbricas digitales existentes.
- Flexibilidad para mezclar datos y voz.
- Posibilidad de soportar nuevos servicios.
- Reduce la potencia de transmisión.
- Encriptación de la información.
- Reduce la complejidad del sistema.

Características Básicas de un Sistema Móvil

Según Acosta, D(1999), las características básicas de un sistema de telefonía móvil son:

Reutilización de frecuencias

Este concepto define la utilización de radiocanales con las mismas frecuencias portadoras para cubrir áreas diferentes. Cada una de estas áreas se denomina célula.

Dentro de cada célula se utilizan un conjunto de radiocanales que pueden repetirse en otras células. De esta forma, se aumenta el número de canales de tráfico por unidad de superficie.

Por motivos de interferencia entre canales operando sobre el mismo canal celular (interferencia cocanal) las mismas frecuencias no pueden utilizarse en todas las células. Debe respetarse una distancia mínima de separación, denominada distancia de reutilización, entre cada uno de los emisores. Ver Figura 1.

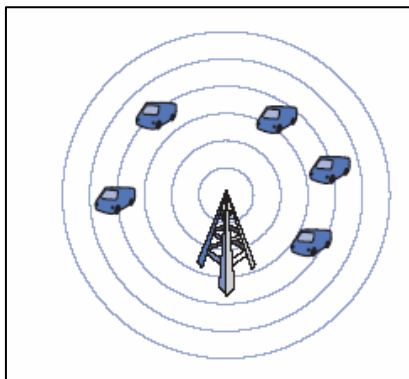


Figura 1. Conjunto de celdas de un sistema celular.
Fuente: Telefónica Móvil (2002)

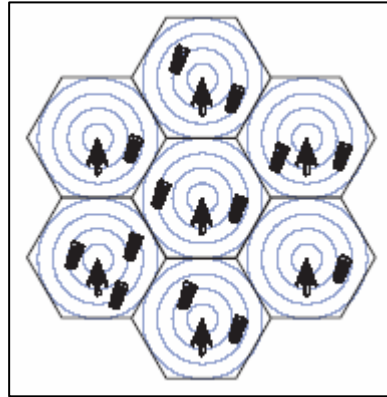
Fragmentación celular

La idea celular permite aumentar la capacidad del sistema, para adaptarse a futuros incrementos del número de usuarios, mediante sucesivas divisiones o fragmentaciones de las células.

De esta forma, puede aumentarse la reutilización de las frecuencias disponibles en zonas con mucho tráfico, aumentando la capacidad inicial.

Esto permite una inversión gradual y un crecimiento armonizado en función de la demanda.

Además, el crecimiento debido al aumento en la demanda no supone retirar los equipos e inversiones ya realizadas. Ver figura 2.



**Figura 2. Fragmentación Celular.
Telefónica Móvil (2002)**

Compartición de Radiocanales

Los primeros sistemas móviles utilizaban la asignación fija de una frecuencia para cada pareja móvil-estación base, de forma que cada canal se asignaba a un móvil específico o a un grupo de usuarios que lo compartían.

En los actuales sistemas celulares los radiocanales existentes dentro de cada célula son compartidos por todos los usuarios (sistemas trunking).

Esto tiene como consecuencia el incremento de la eficiencia de utilización del canal, al ser compartido; la eficiencia es mayor a medida que se incremento el número de canales.

El sistema debe tener localizado al terminal móvil en todo momento, de forma que éste pueda recibir llamadas independientemente de su posición actual.

Esta función se realiza actualizando la posición de los terminales móviles en Registros de localización.

Cuando un terminal móvil detecta un cambio de área de localización, inicia una llamada o una petición de servicio hacia la red TMA con el fin de actualizar su posición.

Los mecanismos para llevar a cabo esta función presentan una gran diversidad dependiendo del tipo de sistema celular.

Mediante la función de supervisión de la calidad de la comunicación el sistema celular debe detectar cuando es necesario realizar el procedimiento de traspaso o cambio de canal.

En este caso, debe ser capaz de conmutar la llamada del canal de la primera célula a un canal libre de la segunda célula, que incluso, como en GSM, puede ser la misma que estaba cursando la comunicación.

Las causas que pueden producir el traspaso de canal, así como el ámbito de aplicación, pueden ser muy diversas y varían de unos sistemas a otros.

Componentes de una Red Celular Móvil (MSC)

Las redes celulares móviles avanzadas de hoy están compuestas de cuatro componentes principales (Ver Figura 3). Estos son: Centros de Conmutación de Servicios Móviles (Mobil Services Switching Centers MSCs), Registros de Localización Casa (Home Location Registers HLRs), Estaciones Base de Radio (Radio Base Stations RBSs) y Estaciones Móviles. La red es modular en diseño y puede ser adaptada a varios requerimientos de capacidad añadiendo más MSCs, HLRs y RBSs, junto con canales de radio y equipo de transmisión.

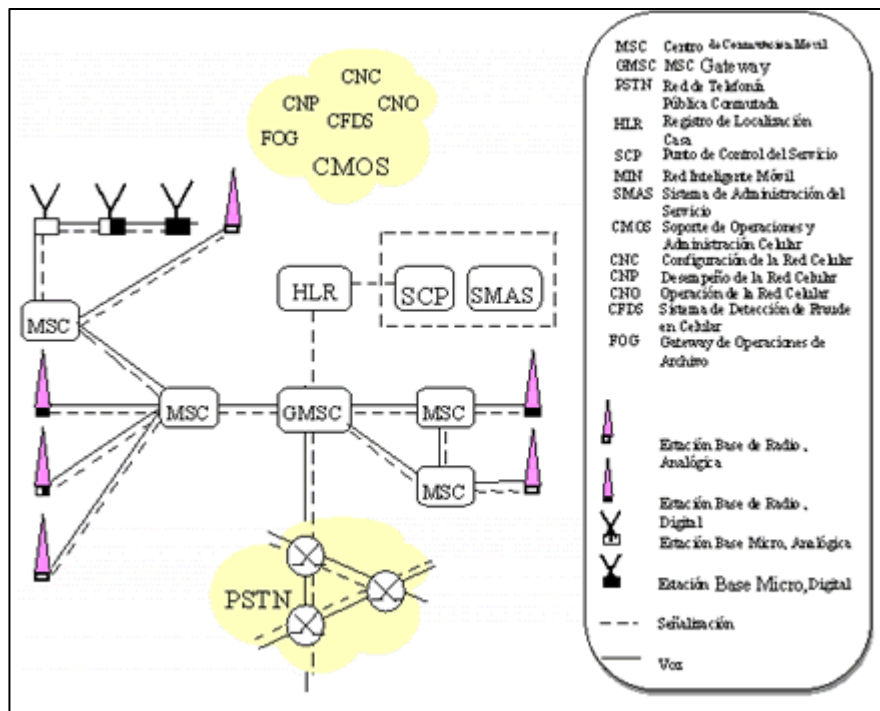


Figura 3. Red Celular Móvil.
Fuente: Telefónica Móvil (2002)

La interfase a la PSTN o Red Telefónica Pública Conmutada, se realiza a nivel de una central de conmutación local, de tránsito o bien un gateway internacional. El MSC también conecta la Red Telefónica Pública Conmutada a las RBSs y conmuta el tráfico entre diferentes células o áreas de localización (LAs) controladas por los MSC's. Las estaciones base son conectadas a los MSC's usando líneas digitales o analógicas a 4 hilos. Un sitio de estación base puede servir a más de una célula. Una célula es el área geográfica desde la cual puede efectuarse una llamada usando el mismo canal de radio.

Las células conectadas al mismo MSC forman un área de MSC. Un abonado móvil es buscado o voceado (paged) en paralelo desde todas las células en el área, sin embargo, también es posible introducir varias áreas de localización dentro de una sola área MSC. En este caso, el voceo (paging) es conducida desde todas las células dentro de esa área de localización, reduciendo la carga en el canal de voceo (paging).

El HLR contiene datos sobre todos los abonados y sus servicios. Estos registros son empleados normalmente sólo en redes muy grandes que tienen alta densidad de

abonados y donde estos son conectados en nodos separados. Un sistema de Soporte de Operaciones y Administración Celular CMOS (Cellular Management and Operations Support) puede ser introducido para manejar los MSCs, RBSs y otros componentes de las redes celulares.

Manejo de Llamada

Los abonados pueden recibir y originar llamadas dentro de su MSC casa (Home MSC) así como en áreas de MSC externas gracias a la funcionalidad de Roaming Automático. Cuando los abonados se mueven de una célula a otra durante la conversación, su llamada es puesta en "hand-off" o transferida automáticamente a la nueva célula. Un handoff entre centrales (Inerexchange handoff) tiene lugar cuando un abonado cruza la frontera hacia otra área MSC durante una conversación. Todos los tipos de terminales celulares son soportados por el sistema, es decir, equipos terminales montados en vehículos, portátiles, etc. (portable, hand-held).

Llamada a un Abonado Móvil

Las llamadas originadas desde una Red Telefónica Pública Conmutada a un abonado móvil son enrutadas a través del llamado MSC Gateway (GMSC) el cual determina la validez del número de la estación móvil. Si es válido, una pregunta es enviada a un registro en el área de servicio casa del abonado. El GMSC recibe entonces un número de enrutamiento temporal el cual es usado para establecer una trayectoria de voz entre el gateway y el MSC donde la estación móvil está localizada actualmente. Luego, el MSC selecciona un canal de voz digital o analógico en la misma célula y ordena a la estación móvil sintonizar el canal seleccionado. El establecimiento de llamada ocurre cuando el abonado móvil descuelga.

Llamada desde un Abonado Móvil

Una llamada de abonado móvil se origina cuando el número es tecleado/marcado y se oprime el botón "send". Un canal de acceso es tomado y la identidad del móvil y

el número deseado son automáticamente transmitidos al MSC. El MSC analiza la categoría del abonado que llama para verificar el permiso de acceso al sistema así como la validez del número que se llama. Una vez afirmado, el móvil es dirigido a un canal de voz analógico o digital y la llamada es establecida. Si tiene éxito, entonces se inicia la supervisión en el canal que está siendo utilizado. Si está ocupado, la información por tono o un mensaje de voz es transmitida al abonado que llama. Al terminar la parte que llama, la llamada se libera. En las redes que emplean los Home Location Registers (HLRs) las llamadas salientes de las estaciones móviles MSs (Mobile Stations) conectadas son manejadas por el MSC Visitado (VMSC). Las llamadas de móvil a móvil también son manejadas como se describió anteriormente excepto que son manejadas por la Red Celular PLMN (Public Land Mobile Network), sin ningún enrutamiento a la Red Telefónica Pública Conmutada.

Historia del Sistema Móvil Celular

Antes de la implementación del sistema celular como se conoce actualmente, existieron sistemas de comunicación móvil previos, los cuales intentaron cubrir la necesidad de la comunicación en movimiento.

Los sistemas de comunicación móvil que precedieron a la telefonía celular fueron: la Comunicación Móvil de Radio (consistían en radios que se comunicaban entre sí dependiendo de la potencia de salida de cada unidad individual), el Servicio de Telefonía Móvil (MTS - sistema telefónico operado manualmente que permitía a un suscriptor comunicarse a otra parte usando la red terrestre) y el Servicio de Telefonía Móvil Mejorada (IMTS - proporcionó selección de canal automática, conteo automático y operación simultánea full-duplex).

Hoy día existen varios sistemas móviles que proveen acceso telefónico. El radio celular, como concepto, fue originalmente concebido para proveer comunicación móvil de alta densidad sin consumir grandes cantidades de espectro. La primera proposición de un bosquejo inicial de la telefonía celular, para sistemas móviles de alta densidad, fue hecha por la American Telephone and Telegraph (AT&T) en 1940. En 1968, la AT&T llevó su propuesta de un sistema celular a la Federal

Communications Commission (FCC), organismo regulador de las comunicaciones en los Estados Unidos.

El concepto original involucraba el uso de un grupo de frecuencias dentro de una misma Celda, rehusando la frecuencia en la misma vecindad pero separándolas en espacio físico para permitir el re-uso con un bajo nivel de interferencia. El hardware necesario para implementar este tipo de sistemas no fue logrado hasta finales de los años setenta y para entonces, el concepto celular, es decir, el re-uso de frecuencia en Celdas, fue aceptado como una herramienta para la planificación de frecuencias.

Primera Generación

En la primera generación de telefonía móvil celular se adoptó la técnica de acceso FDMA/FDD (Frequency Division Multiple Access. / Frequency Division Duplex), la cual utilizaba el Acceso Múltiple por División de Frecuencia y dos frecuencias portadoras distintas para establecer la comunicación TX y RX.

En Norteamérica a partir de 1981 comenzó a utilizarse el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service), el cual ofrecía 666 canales divididos en 624 canales de voz y 42 canales de señalización de 30 Khz cada uno

Europa introduce en 1981 el sistema Nordic Mobile Telephone System o NMTS450 el cual empezó a operar en Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega, en la banda de 450 MHz.

En 1985 Gran Bretaña, a partir de AMPS, adoptó el sistema TACS (Total Access Communications System), el cual contaba con 1000 canales de 25 Khz cada uno y operaba en la banda de 900 MHz.

En esta década también aparecen otros sistemas de primera generación como el NTT, estándar japonés, el C-Netz estándar Alemán y French Radiocom. 2000 de Francia entre otros.

Solo servicio de voz se podía prestar con las tecnologías de primera generación.

Segunda generación

Con tantos estándares diferentes, los proveedores europeos sufrieron las consecuencias de una diversidad de normas incompatibles entre sí.

El reconocimiento de este problema fue un factor que impulsó el desarrollo del estándar GSM para las comunicaciones móviles. En 1982, cuando aparecieron los primeros servicios celulares comerciales, la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) tomó la iniciativa de poner en marcha un grupo de trabajo, llamado Groupe Spécial Mobile (GSM), encargado de especificar un sistema de comunicaciones móviles común para Europa en las banda de 900 MHz, banda que había sido reservada por la World Administrative Radio Conference en 1978. El GSM comenzó como una norma europea para unificar sistemas móviles digitales y fue diseñado para sustituir a más de diez sistemas analógicos en uso y que en la mayoría de los casos eran incompatibles entre sí. Después de unas pruebas de campo en Francia de 1986 y de la selección del método de acceso Time Division Multiple Access (TDMA) en 1987, 18 países firmaron en 1988 un acuerdo de intenciones (MOU: Memorandum of understanding): En este documento los países firmantes se comprometían a cumplir las especificaciones, a adoptar este estándar único y a poner en marcha un servicio comercial GSM, que ofrece seguimiento automático de los teléfonos móviles en su desplazamiento por todos los países. Conforme se desarrolló, GSM mantuvo el acrónimo, aunque en la actualidad signifique Global System for Mobile communications.

En Norteamérica, el objetivo principal de un nuevo estándar digital era aumentar la capacidad dentro de la banda de 800 MHz existente. Un prerrequisito es que los teléfonos móviles debían funcionar con los canales de habla analógicos ya existentes y con los nuevos digitales (Dual Mode). A partir de esto se empleó el termino Digital AMPS (D-AMPS) que se refiere a IS-54B, y que define una interfaz digital con componentes heredados de AMPS. La especificación IS-36 es una evolución completamente digital de D-AMPS. A causa de estos requisitos, fue natural el elegir un estándar TDMA de 30 KHz puesto que los sistemas analógicos existentes trabajan

ya con esta anchura de canales. En este sistema se transmiten tres canales por cada portadora de 30 Khz.

A principios de la década de los 90, también aparece un nuevo estándar el cual utiliza el método de acceso CDMA (Code Division Multiple Access). El estándar CDMAOne o IS-95, fue una tecnología desarrollada por Qualcomm y consiste en que todos usan la misma frecuencia al mismo tiempo separándose las conversaciones mediante códigos.

Estas tecnologías de segunda generación ofrecían las siguientes características:

- Mayor calidad de las transmisiones de voz
- Mayor capacidad de usuarios
- Mayor confiabilidad de las conversaciones
- La posibilidad de transmitir mensajes alfanuméricos. Este servicio permite enviar y recibir cortos mensajes que puedan tener hasta 160 caracteres alfanuméricos desde un teléfono móvil.
- Navegar por Internet mediante WAP (Wireless Access Protocol)

Tercera Generación

Los avances que en materia de sistemas de tercera generación adelanta la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), a finales de los años ochenta, se denominaron en un principio como Futuros Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres (FPLMTS – Future Public Land Mobile Telecommunication System) Actualmente se le ha cambiado de nombre y se habla del Sistema de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT-2000, International Mobil Telecommunication-2000) creado con el objetivo de valorar y especificar los requisitos de las normas celulares del futuro para la prestación de servicios de datos y multimedia a alta velocidad

Evolución De Los Sistemas Celulares A 3G

En los siguientes diagramas se muestra la evolución de los sistemas celulares hacia la tercera generación (ver Figura 4):

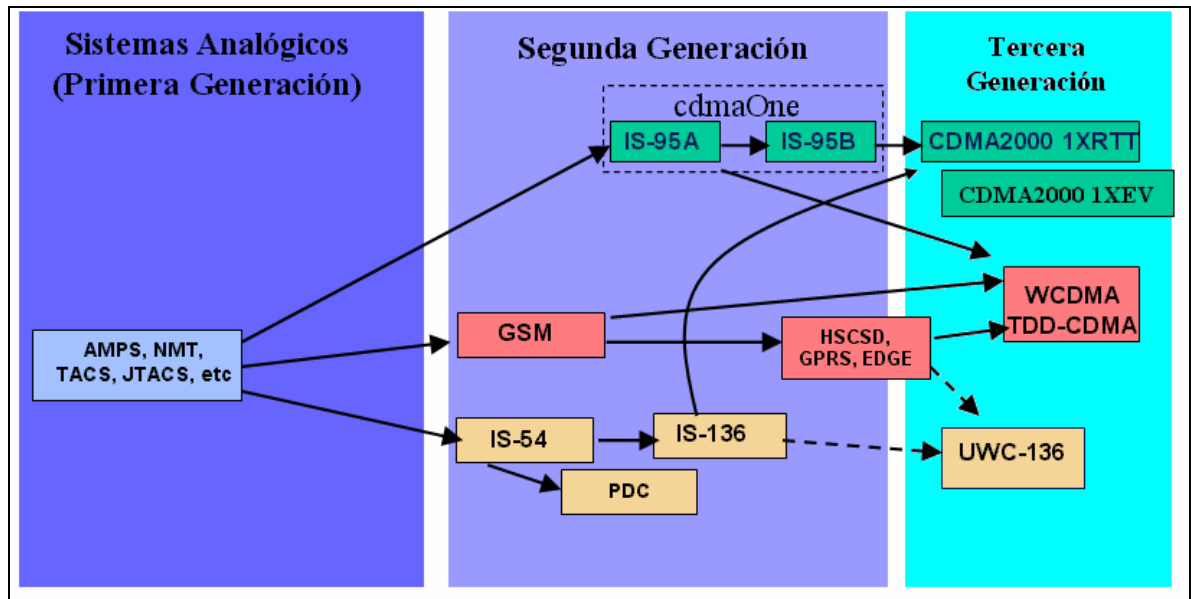


Figura 4 . Evolución de los Sistemas Celulares a la Tercera Generación.
Fuente: Vera, A.(2003)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunication Unit, ITU), en cooperación con otros organismos de la industria de telecomunicaciones de todo el mundo, es quien define y aprueba los requisitos técnicos y los estándares, así como la utilización del espectro radioeléctrico, de los sistemas 3G bajo el programa IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000). El propósito final es facilitar la introducción de nuevas funcionalidades y proporcionar una evolución continua desde los sistemas de telecomunicaciones de segunda generación (2G) hacia la 3G.

La ITU exige a las redes IMT-2000 (3G), entre otros requisitos, que proporcionen una mayor capacidad de sistema y una mayor eficiencia espectral con respecto a los sistemas 2G, que soporten servicios de transmisión de datos con una velocidad

mínima de transmisión de 144 kbit/s en entornos móviles (de exterior) y de 2 Mbit/s en entornos fijos (en interiores).

Basándose en estos requisitos, la ITU aprobó en el año 1999 cinco interfaces radio para la familia de estándares de IMT-2000. Ver figura 5.

Nombre ITU	Conocido como:	Organismo de estandarización
IMT-2000 CDMA Direct Spread (DS)	UMTS-FDD UMTS W-CDMA	3GPP
IMT-2000 CDMA Multi-Carrier (MC)	cdma 2000	3GPP2
IMT-2000 CDMA TDD	UMTS-TDD UMTS	3GPP
IMT-2000 TDMA Single-Carrier	UWC-136	UWCC
IMT-2000 FDMA/TDMA	DECT	ETSI

Figura 5 . Familia IMT-2000.
Fuente: Moreno, J. y Otros (2001)

IMT-2000:

Según Moreno y Otros (2001), los grandes objetivos de IMT-2000 son:

- Reserva de una porción de espectro común en todo el mundo, tanto para sistemas terrestres como de satélite.
- Uso de terminales móviles de bolsillo, con capacidad de itinerancia mundial y capacidad para acceder a servicios multimedia.
- Maximizar la compatibilidad de las interfaces radio para poder operar en distintos entornos, como son vehículos, personas caminando, oficinas y sistemas de acceso fijo sin hilos (FWA). De esta forma se puede utilizar una red común, para prestar servicios que hasta ahora han utilizado infraestructuras específicas.

- Alta velocidad de transmisión de datos, con capacidad para soportar tanto conmutación de circuitos como de paquetes, así como sistemas multimedia. Las capacidades mínimas especificadas son las siguientes:
 - Entorno de vehículos: 144 kbit/s.
 - Entorno pedestre: 384 kbit/s.
 - Entorno en interior de oficinas: 2.048 Mbit/s.
 - Entorno de satélite: 9,6 kbit/s.
- Capacidad de soportar servicios simétricos y asimétricos en todos los entornos de operación.
- Compatibilidad de servicios dentro de IMT- 2000 y con la red fija.
- Favorecer la normalización de un entorno de creación de servicios que pueda ser utilizado por los operadores para definir sus propios servicios.
- Eficiencia espectral, flexibilidad en el uso y reducción de costes, como resultado de la utilización de nuevas tecnologías.

En la Figura 6 se muestran los distintos sistemas de acceso múltiple, por división en el tiempo y/o en códigos

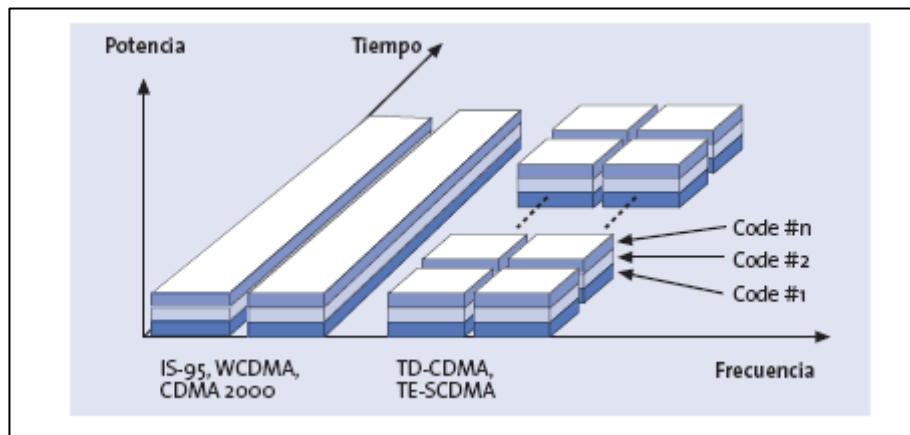


Figura 6 . Sistemas de Acceso Múltiple.
Fuente: Telefónica Móvil, España (2002)

Espectro de IMT-2000:

En la conferencia WRC-1992 de la ITU, se recomendó la reserva de 230 MHz de espectro para IMT-2000 en las bandas 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz, que incluyen 1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz para la componente de satélite.

Tecnología CDMA

Según el IEC (International Engineering Consortium,2000):

CDMA (Code Division Multiple Access) es un término genérico que define una interfaz de aire inalámbrica basada en la tecnología de espectro extendido . Para telefonía celular, CDMA es una técnica de acceso múltiple especificada por la TIA como IS-95. En marzo de 1992 , la TIA estableció el subcomité TR 45.5 con la finalidad de desarrollar un estándar de telefonía celular digital con espectro extendido. En julio de 1993, la TIA aprobó el estándar CDMA IS-95.

CDMA usa una tecnología de Espectro Ensanchado, es decir la información se extiende sobre un ancho de banda mucho mayor que el original, conteniendo una señal (código) identificativa.

Una llamada CDMA empieza con una transmisión a 9600 bits por segundo. Entonces la señal es ensanchada para ser transmitida a 1.23 Megabits por segundo aproximadamente. El ensanchamiento implica que un código digital concreto se aplica a la señal generada por un usuario en una célula. Posteriormente la señal ensanchada es transmitida junto con el resto de señales generadas por otros usuarios, usando el mismo ancho de banda. Cuando las señales se reciben, las señales de los distintos usuarios se separan haciendo uso de los códigos distintivos y se devuelven las distintas llamadas a una velocidad de 9600 bps.

Con CDMA, para diferenciar a los distintos usuarios, en lugar de frecuencias separadas se usan códigos digitales únicos. Los códigos son conocidos tanto por la estación móvil (teléfono celular) como por la estación base, y se llaman "Secuencias de Código Pseudo-Aleatorio". Por lo tanto todos los usuarios comparten el mismo rango del espectro radioeléctrico.

Desarrollado por Qualcomm, CDMA se caracteriza por una alta capacidad y un radio de pequeñas células. Emplea tecnología de amplio espectro y un esquema de codificación especial. En la actualidad existe un gran número de variantes del CDMA (conocido también como IS-95 en EEUU), tales como B-CDMA, W-CDMA y CDMA/TDMA.

Ventajas de CDMA

- Calidad de voz semejante a la tradicional alámbrica.
- Un amplio rango de servicios de datos incluyendo la transmisión de voz y datos simultáneamente
- Eliminación virtual de caída y bloqueo de llamadas
- El periodo de vida de la batería es de cinco horas funcionando y más de dos días sin actividad ("standby")
- Capacidad de la red de 10 o más veces que la analógica, la cual conducirá a tarifas de tiempo aire más económicas.
- Utiliza la mitad del número de sitios de celdas que la tecnología analógica u otras formas de tecnologías digitales, de esta manera minimizando el impacto del despliegue de la red en las comunidades.
- Privacidad y seguridad en cuanto al riesgo de tener el número telefónico "clonado," una práctica ilegal donde el número de serie electrónico del teléfono es tomado del aire y programado en otro teléfono.
- Menos llamadas interrumpidas. CDMA aumenta la capacidad del sistema, eliminando virtualmente señales de ocupado, cruces de llamadas, y llamadas interrumpidas que resultan de la congestión del sistema. Utilizando un sistema patentado de pasar llamadas entre celdas conocido como traslado de llamadas "soft handoff," CDMA también reduce significativamente la posibilidad de llamadas alteradas o interrumpidas durante el traslado de llamadas.
- Mayor cobertura. La señal de espectro amplio de CDMA provee mayor cobertura que otras tecnologías inalámbricas, tanto dentro de locales como al

aire libre. CDMA también interacciona con otras formas de sistemas de telecomunicación, permitiendo amplias y fluidas coberturas y conexiones.

- Seguridad y privacidad. Además de filtrar el cruce de llamadas y ruidos de fondo, las transmisiones de espectro amplio y codificadas digitalmente de CDMA son intrínsecamente resistentes a la intrusión. La codificación de voz de CDMA también evita "cloning" y otros tipos de fraude.
- Mejoras en los servicios. El canal de control digital de CDMA permite a los usuarios el acceso a una amplia gama de servicios que incluyen identificación del que llama, mensajes cortos y transmisión de datos. CDMA también permite la transmisión simultánea de voz y datos.
- Mayor capacidad. CDMA provee de 10 a 20 veces la capacidad de las tecnologías análogas inalámbricas, y más de tres veces la capacidad de otras tecnologías digitales; lo que permite a los proveedores de servicios apoyar más subscriptores y en mayores volúmenes tráfico inalámbrico en una porción limitada del espectro de frecuencias de radio. Debido al rápido crecimiento del número de subscriptores del servicio inalámbrico y los minutos de uso, la capacidad es un problema crítico.
- Flexibilidad. CDMA es la única tecnología inalámbrica que apoya con efectividad tanto los servicios fijos como móviles desde la misma plataforma, dando apoyo a dos fuentes de ingreso y a la vez permite a los proveedores de servicio el ofrecer a sus clientes un servicio fluido de "un solo teléfono." Las redes de CDMA también cuestan menos en diseño e ingeniería que otros tipos de sistemas inalámbricos, haciéndolos más fáciles de reconfigurar y expandir.
- Implementación rápida. Los sistemas CDMA pueden ser implementados y expandidos más rápidamente y con mayor costo-efectividad que la mayoría de las redes de líneas alámbricas. Y porque requiere menos celdas y espacio de celdas, las redes CDMA pueden instalarse más rápidamente que cualquier otro tipo de red inalámbrica.

- Calidad de servicio. La superior calidad de la voz en CDMA y mayores servicios que incluyen datos inalámbricos, dan a los proveedores de servicio una clara ventaja sobre la competencia para ganar y conservar clientes.

Camino evolutivo de las redes CDMA

En el siguiente esquema se muestra el camino evolutivo que tiene que seguir las redes CDMA para llegar a 3G.

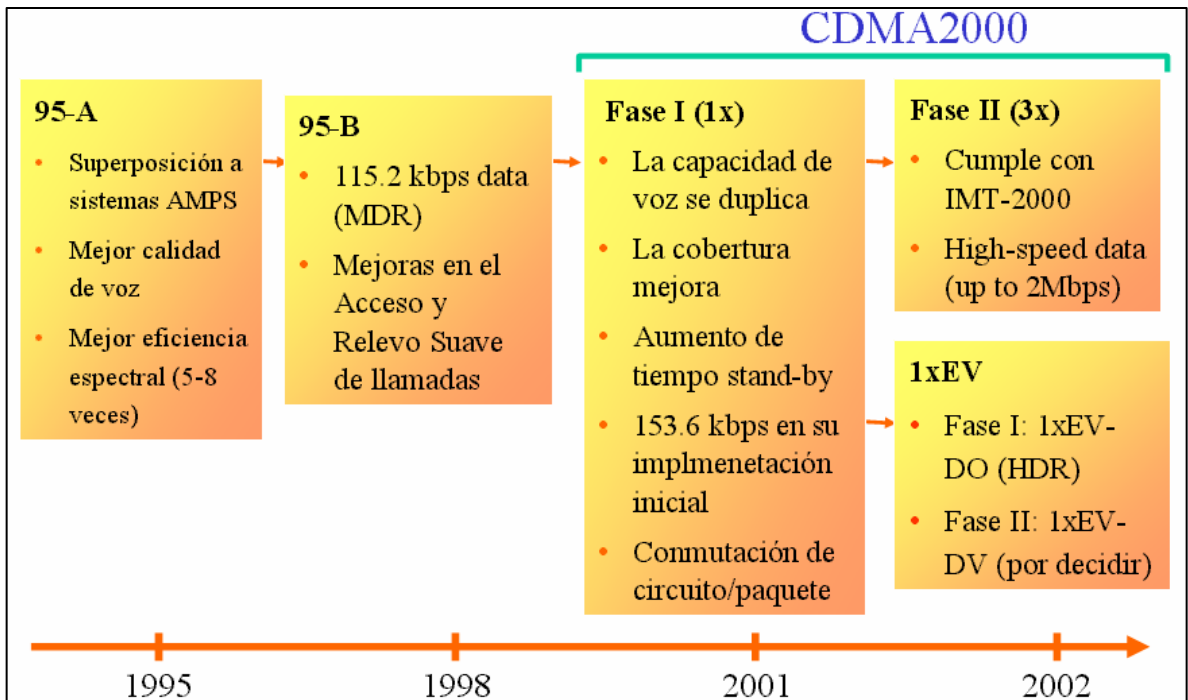


Figura 7. Evolución de CDMA.
Fuente: Vera, A. (2003)

CdmaOne

Es un nombre comercial de marca registrada, reservado para uso exclusivo de las empresas que son miembros de CDG (Cdma Development Group). El mismo describe un sistema inalámbrico completo que incorpora la interfaz aérea IS-95 CDMA y la norma de la red ANSI-41 para la interconexión por conmutación, además de muchas otras normas que integran el sistema inalámbrico completo.

CdmaOne / IS-95-A

La tecnología CdmaOne / IS-95-A ofrece soporte a señales de voz conmutados por circuitos y datos (conmutados por circuitos o paquetes), con velocidades de hasta 14,4kbps. Debido al enfoque inicial de proveedores y operadoras en señales de voz. Históricamente la CdmaOne/IS-95-A ha sido utilizada sólo para voz conmutada por circuitos y, más recientemente, para un pequeño volumen de datos conmutados por circuitos.

CdmaOne/IS-95-B

La tecnología CdmaOne/IS-95-B ofrece soporte a señales de voz conmutados por circuitos y datos, conmutados por paquetes. Las empresas KDDI, en Japón, y SKT, en Corea, están implementando esa tecnología desde 1999. En teoría, ella provee tasas de datos de hasta 115kbps, y alcanza, generalmente, valores prácticos de 64kbps. La CdmaOne/IS-95-B ahora está siendo sustituida por la CDMA2000 1X, de mayor capacidad y velocidad, y difícilmente será implementada en otras regiones.

Cdma2000

Identifica la norma TIA para tecnología de tercera generación, que es un resultado evolutivo de CdmaOne, el cual ofrece a los operadores que han desplegado un sistema CdmaOne de segunda generación, una migración transparente que respalda económicamente la actualización a las características y servicios 3G, dentro de las asignaciones del espectro actual, tanto para los operadores celulares como los de PCS. La interfaz de red definida para cdma2000 apoya la red de segunda generación de todos los operadores actuales, independientemente de la tecnología: CdmaOne, IS-136 TDMA o GSM). La TIA ha presentado esta norma ante la ITU como parte del proceso IMT-2000 3G.

A fin de facilitar la migración de CdmaOne a las capacidades de cdma2000, ofreciendo características avanzadas en el mercado de una manera flexible y oportuna, su implementación se ha dividido en dos fases evolutivas.

Cdma2000 Fase I:

Las capacidades de la primera fase se han definido en una norma conocida como 1XRTT. La publicación de la 1XRTT se hizo en el primer trimestre de 1999. Esta norma introduce datos en paquetes a 144 Kbps en un entorno móvil y a mayor velocidad en un entorno fijo. Las características disponibles con 1XRTT representan un incremento doble, tanto en la capacidad para voz como en el tiempo de operación en espera, así como una capacidad de datos de más de 300 Kbps y servicios avanzados de datos en paquetes.

Adicionalmente extiende considerablemente la duración de la pila y contiene una tecnología mejorada en el modo inactivo. Se ofrecerán todas estas capacidades en un canal existente de 1.25 MHz de CdmaOne.

Cdma2000 Fase II:

La evolución de CdmaOne, hasta llegar a las capacidades completas de cdma2000, continuará en la segunda fase e incorporará las capacidades de 1XRTT, usará tres portadoras de 1,25 MHz en un sistema multiportadora para prestar servicios de banda ancha de 3G.

Cdma 3XRTT proporcionará velocidad de circuitos y datos en paquete de hasta 2 Mbps, incorporará capacidades avanzadas de multimedia e incluirá una estructura para los servicios de voz y codificadores de voz 3G, entre los que figuran los datos de paquetes de “voice over” y de circuitos.

Cdma2000 1XEV

Basado en el estándar 1X, el sistema 1XEV mejora la velocidad de procesamiento de datos, obteniendo velocidades máximas de 2 Mbits/seg., sin tener que utilizar más de 1,25 MHz del espectro. Los requisitos para los operadores recién establecidos con respecto a 1XEV establecen dos fases. En la primera Cdma2000 1XEV-DO usa un transportista separado de 1.25 MHz para datos y ofrece velocidades de datos en punta de 2.4 Mbps. La fase 2, Cdma2000 1X EV-DV se centra en las funciones de datos y

de voz en tiempo real, así como en la mejora del funcionamiento para mayor eficiencia en voz y en datos.

Características de Cdma2000

1. Arquitectura de la red troncal en cdma2000

En la Figura 8 se muestra la arquitectura de red del sistema cdma2000 1x.

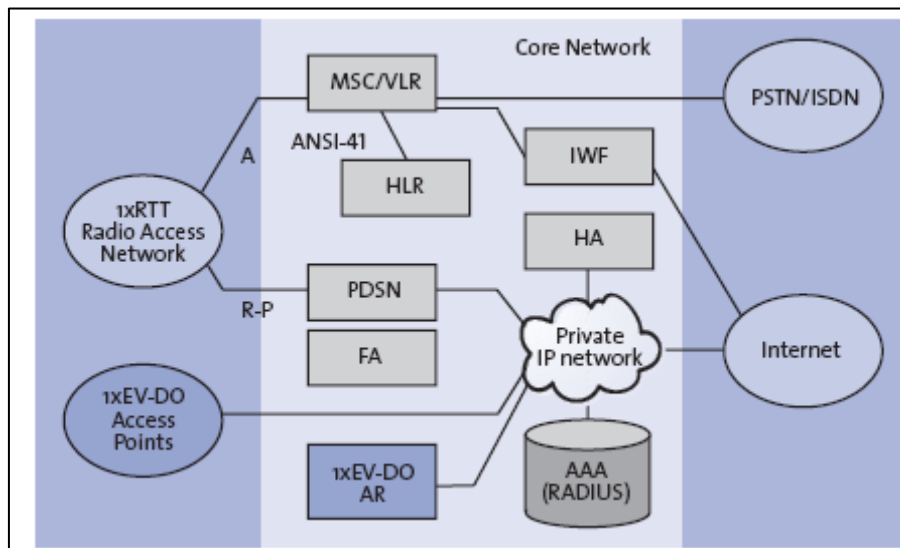


Fig. 8. Arquitectura de red del sistema cdma2000 1x.
Fuente: Telefónica Móvil, España (2002)

El dominio de conmutación de circuitos en cdma2000 1x utiliza los mismos elementos que la red troncal de GSM alrededor del MSC, aunque difiere en el protocolo de gestión de la movilidad, ya que en cdma2000 1x se emplea el protocolo especificado en la norma ANSI-41.

Debido a que los servicios de datos en IS-95 se implementan como pequeñas conexiones de conmutación de circuitos, es necesario incluir un elemento de interfuncionamiento (*Inter Working Function, IWF*) entre Internet y el MSC. Sin embargo, esta solución es inviable para servicios de datos de mayores tasas binarias (manejadas en 3G).

Los elementos adicionales necesarios en cdma2000 1x son:

- El punto de unión con los entornos privados IP, que se denomina *Packet Data Serving Node (PDSN)*. Se trata del punto de terminación del protocolo de enlace PPP (*Point-to-Point Protocol*) y está conectado al subsistema de estación base (BSS) a través de la interfaz R-P (*Radio-Packet*). El PDSN es responsable también de la gestión de la movilidad y actúa como un *Foreign Agent (FA)* para la funcionalidad de *Mobile IP (MIP)*.
- El servidor AAA (*Accounting, Authentication and Authorization*) basado en RADIUS (*Remote Authorization Dial-In Service*), que contiene la información de provisión de paquetes de datos de los abonados. Se utiliza para labores de autenticación.

La función de control de paquetes (*Packet Control Function, PCF*), que es uno de los nuevos elementos necesarios en el BSS para soportar la conmutación de paquetes de la interfaz R-P.

En cdma2000 1xEV-DO no se hace uso de la interfaz R-P, por lo que también se necesitan otros elementos de red, como es el caso del *router* de acceso (AR) cdma2000 1xEV-DO.

Otros equipos necesarios para desplegar la capa jerárquicamente superior de cdma2000 1xEV-DO son los puntos de acceso (*Access Points, AP*), que emplean el esquema de acceso TDM en el enlace descendente y el CDMA en el ascendente.

Red de acceso radio en Cdma2000

En la Figura 9 se muestran las posibilidades iniciales de evolución del espectro y cómo se compartiría con otros modos de acceso para permitir una transición gradual.

El sistema cdma2000 se ha beneficiado de la amplia experiencia adquirida durante los años de operación de los sistemas cdmaOne. Además, por tratarse de una evolución natural, en la que se comparte el mismo principio en la tecnología acceso, la transición ha sido mucho más suave que en el caso del sistema GSM.

Como resultado, cdma2000 es una tecnología muy eficiente y robusta.

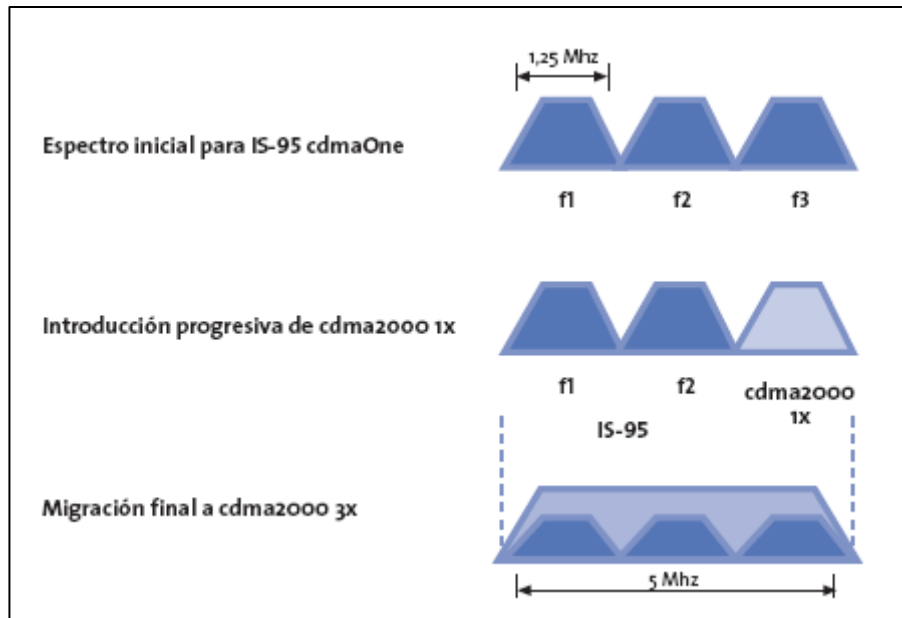


Fig.9. Evolución de Cdma2000.
Fuente: Telefónica Móvil, España (2002)

Otras Características de Cdma2000:

El sistema cdma2000 se ha planteado como una evolución del sistema de segunda generación americano IS-95, el cual actualmente soporta datos en paquetes de hasta 64 kbit/s (IS-95-B)

La tecnología de acceso también es CDMA, y para facilitar la evolución desde IS-95 se han propuesto dos versiones: cdma2000 RTT-1X, empleando una portadoras de 1,25 MHz (al igual que en IS-95), y cdma2000 RTT-3X, con 3 portadoras de 1,25 MHz (3,75 MHz en total).

En la Figura 10 y la Figura 11 se representa la arquitectura de las capas de alto nivel y de la interfaz radioeléctrica, en este último caso sobre la arquitectura original IS-95.

La capa de enlace se subdivide en la subcapa MAC (Medium Access Control), que interactúa con la capa física, y en la subcapa LAC (Link Access Control), que proporciona servicios y señalización a las capas superiores.

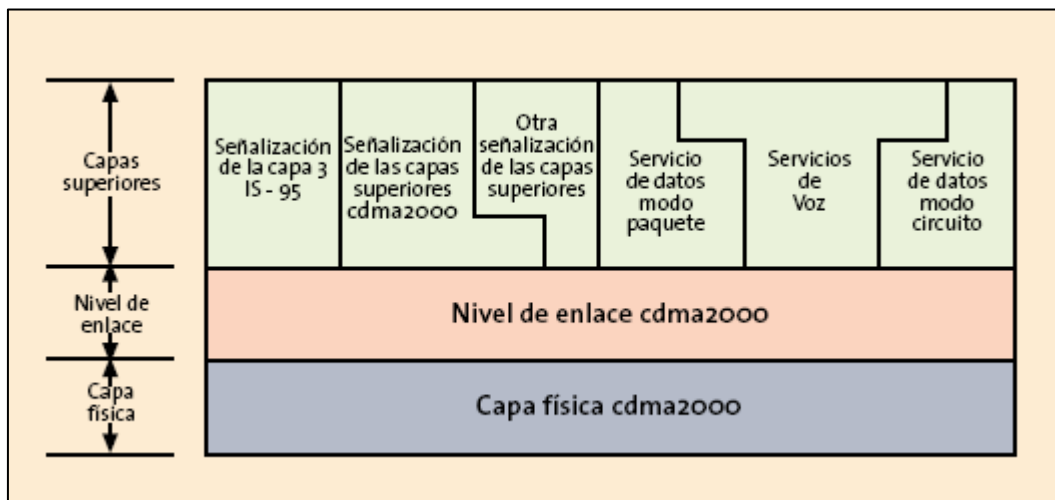


Fig.10. Arquitectura de Capas del Sistema Cdma2000.
Fuente: Herrera, F. (2001)

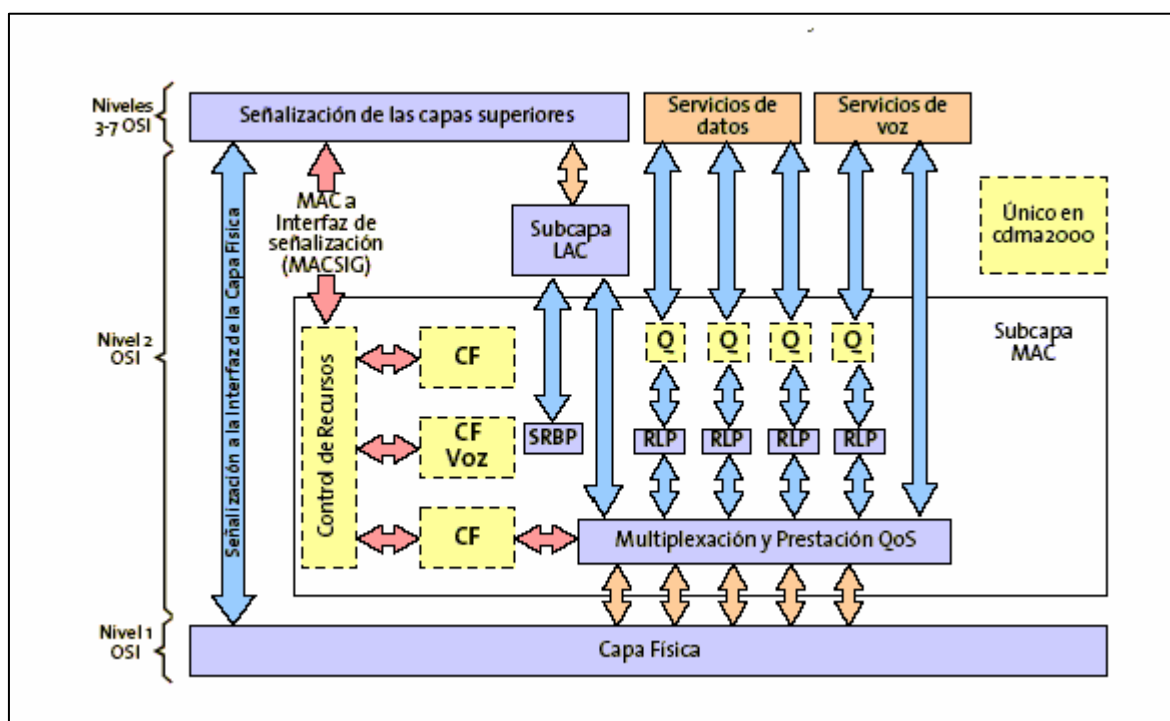


Fig.11. Arquitectura de Capas de la interfaz radioeléctrica del Sistema Cdma2000.
Fuente: Herrera, F. (2001)

La arquitectura propuesta soporta multiservicios y multimedia, es decir, que cualquier combinación de servicios de voz, datos por paquetes y datos por circuitos de alta velocidad, puede funcionar simultáneamente, siempre limitada por las

capacidades de la interfaz aire. Incluye un mecanismo de control de calidad de servicio QoS (*Quality of Service*) para balancear los diferentes requisitos de múltiples servicios concurrentes.

Otra característica importante de esta arquitectura es que los servicios de la capa de enlace pueden ser utilizados por distintos tipos de clientes en las capas superiores. La red troncal se basa en ANSI-41, pero las especificaciones incluyen las capacidades necesarias para el funcionamiento sobre redes basadas en GSM MAP.

El sistema cdma2000 también es conocido como multiportadora (*multicarrier*) debido a que hace uso de una o varias portadoras para la transmisión de la información. En la propuesta RTT 1X se hace uso de un ancho de banda de 1,25 MHz y una tasa de chip de 1,2288 Mchip/s, siendo el funcionamiento similar a IS-95.

Para los canales de tráfico se especifican unas configuraciones radioeléctricas (RC, *Radio Configurations*) que definen las velocidades de datos, la codificación de canal y los parámetros de modulación soportados.

Hay definidas seis configuraciones de radio para el enlace ascendente y nueve para el enlace descendente.

Las configuraciones radioeléctricas RC1 y RC2 se han especificado para ser compatibles con IS-95-B.

En la Figura 12 se resumen las principales características técnicas del sistema cdma2000.

Wireless IP en cdma2000

El 3GPP2 está estandarizando un procedimiento para llevar el transporte IP hasta el terminal móvil.

La arquitectura de la "*Wireless IP Network*" se ha diseñado con la idea de usar, en la medida de lo posible, protocolos definidos por el IETF. De esta manera se minimiza el número de protocolos nuevos y se emplean protocolos estándar ya aceptados globalmente, lo cual redundará en una mayor flexibilidad y rapidez de diseño del sistema.

PARÁMETRO	VALOR
Técnica de acceso múltiple y esquema de duplexación	Técnica de acceso múltiple: CDMA Esquema de duplexación: FDD
Chip Rate	$N \times 1,2288$ Mchip/s (actualmente se especifica $N = 1$ y 3, y N puede fácilmente ampliarse a $N=6, 9, 12$)
Funcionamiento asincrónico/sincrónico entre estaciones base	Se requiere funcionamiento síncrono
Estructura piloto	Piloto dedicado por división de código (UL); piloto común por división de código (DL) y piloto auxiliar común dedicado por división de código (DL)
Longitud de trama y entrelazado	Trama de 5, 10, 20, 40, 80 ms y entrelazado de canales
Modulación y detección	Modulación de datos: BPSK y QPSK Modulación por dispersión: HPSK (UL) y QPSK(DL) Detección: detección coherente con ayuda de piloto
Código de canalización	Códigos Walsh y códigos largos (UL) Códigos Walsh o códigos quasi-ortogonales (DL)
Código de aleatorización (dispersión)	Código largo y código PN corto
Codificación de canal	Código convolucional (con $K=9$ y $R=1/2, 1/3, 1/4$ y $1/6$) código turbo (con $K=4$ y $R=1/2, 1/3$ ó $1/4$)
Esquema de acceso (enlace ascendente)	Acceso básico; acceso controlado en potencia; acceso con reserva; o acceso designado
Control de potencia	Bucle abierto Bucle cerrado (800 Hz o 50 Hz) Pasos de control de potencia: 1,0, 0,5 y 0,25 dB

Fig. 12. Resumen de los principales parámetros técnicos de Cdma2000.
Fuente: Herrera, F. (2001)

Los objetivos perseguidos son los siguientes:

1. Soportar un amplio rango de tipos de direccionamiento, tales como: asignación estática y dinámica de direcciones IP y soporte de múltiples direcciones simultaneas.
2. Proporcionar itinerancia sin límites, es decir, capacidad de obtener servicio en cualquier red, teniendo una relación de cliente con un único proveedor de servicios y un único proveedor de red.
3. Ofrecer servicios robustos de autenticación y autorización.
4. Soportar QoS, mediante el concepto de servicios diferenciados.
5. Ofrecer servicios de contabilidad para la tarificación.

La arquitectura del sistema IP sin hilos se soporta sobre un sistema de transmisión de paquetes. Al usuario móvil se le ofrece el acceso a dos tipos de redes:

1. Locales y públicas.
2. Privadas.

Se definen para ello dos métodos de acceso, llamados IP simple (*Simple IP*) e IP móvil (*Mobile IP*).

En un acceso tipo IP simple, un proveedor de servicio asigna al móvil una dirección IP dinámica. El usuario sólo puede mantener esta dirección dentro de una zona geográfica determinada.

En un acceso IP móvil, es la red IP local en la que está registrado el usuario la que le provee de una dirección IP estática o dinámica. El usuario mantiene esta dirección, incluso si está moviéndose por la red IMT-2000 o por otras redes. Con este termino se hace referencia a los sistemas 3G que son combinación de los sistemas 3GPP y 3GPP2, empleando combinaciones de capas altas y capas bajas de protocolo de ambos sistemas. En el 3GPP2 se han estandarizado dos sistemas de este tipo, que se describen brevemente a continuación:

1. Los sistemas UMTS en ANSI-41 (DS-41):

Son sistemas que combinan la interfaz aire de UMTS con la red troncal ANSI-41. Consiste en modificar la señalización de la capa 3 (*Upper Layer*) del cdma2000 para permitir que la interfaz aérea del sistema IMT-2000 CDMA *Direct Spread* (DS), es decir UMTS, pueda funcionar con los servicios de control de llamada y gestión de la movilidad de la red troncal ANSI-41. Esta combinación de capacidades se conoce de manera abreviada como sistema DS-41.

2. Los sistemas cdma2000 en GSM-MAP (MC-MAP):

Son sistemas que combinan la capa física, MAC (*Medium Access Control*), LAC (*Link Access Control*) y la subcapa RRC (*Radio Resource Control*) de cdma2000 con las capas CM (*Connection Management*) y MM (*Mobility Management*) de UMTS. Consiste en modificar las capas bajas de cdma2000 para que pueda funcionar en la

red troncal GSM MAP definida por el 3GPP. Este modo de operación se conoce como *Multi-Carrier* (MC) usando GSM MAP, o abreviadamente MC-MAP.

El Sistema Umts:

Cabe destacar que se describirá el sistema UMTS, ya que tiene una estrecha relación con la tecnología Cdma, por ser UMTS el estándar europeo.

Las redes UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems) se componen en realidad de dos grandes subredes: la red de telecomunicaciones y la red de gestión. La primera se encarga de proporcionar la conexión extremo a extremo (con todo lo que ello implica); la segunda realiza la provisión de medios para la facturación y tarificación de los abonados, así como el registro y la definición de los perfiles de servicio, la seguridad y la operación de los elementos de red. Por sencillez, en adelante se hablará de "red UMTS" para designar la red de telecomunicaciones del sistema.

FUNDAMENTOS DE UMTS:

A. Arquitectura UMTS

En la figura 13 se representa la arquitectura básica de una red UMTS , García, A. Y otros(2002). Esta compuesta por sus tres partes fundamentales: los equipos de usuario, la red de acceso (UTRAN) y el núcleo de red (Core Network,CN).

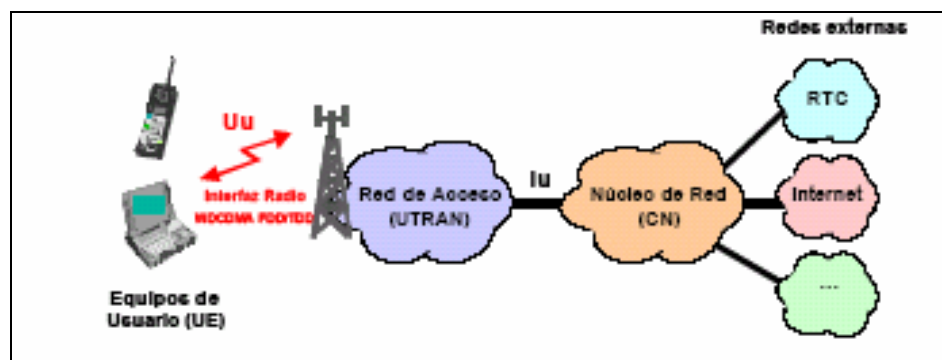


Figura 13. Arquitectura genérica UMTS.

Fuente: García, A y otros (2002)

Los equipos de usuario acceden a la red a través del interfaz radio (Uu), basado en WCDMA. La red de acceso radio (UTRAN) se encarga de transportar el tráfico de usuario (voz, datos, señalización móvil red) hasta el núcleo de red (CN, Core Network), con el que se comunica a través del interfaz Iu. Dentro del núcleo de red se encuentran los recursos de conmutación y transmisión necesarios para completar el trayecto de la comunicación hacia el abonado remoto, que puede pertenecer a la red UMTS o a una red externa (RTC, Internet).

El núcleo de red en UMTS se plantea como la evolución del existente en las actuales redes 2G basadas en GSM/GPRS. En la primera fase de normalización, se propone la reutilización de la infraestructura disponible en dichas redes. La evolución del CN propiamente dicha se deja para fases posteriores

La red de acceso en UMTS, por el contrario, difiere desde el primer momento con respecto a las redes 2G. Con objeto de acomodar de manera flexible y eficiente los distintos tipos de aplicaciones posibles en UMTS, se recurre al empleo de técnicas de conmutación de paquetes. Así, se establece el empleo de ATM (Asynchronous Transfer Mode) como tecnología de transporte en UTRAN. La selección inicial de ATM se justifica por el hecho de ser una de las tecnologías más flexibles y maduras (al menos en la fecha en la que se tomó la decisión) para el despliegue de redes multiservicio con QoS.

En la figura 14 se muestra la arquitectura de UTRAN, en la que pueden observarse los elementos que la componen y los interfaces definidos entre ellos.

La red de acceso UMTS consta de uno o más subsistemas RNS (Radio Network Subsystem). Cada RNS cubre un conjunto de células UMTS, siendo responsable de la gestión de los recursos asociados a ellas. Un RNS está formado por un controlador RNC (Radio Network Controller) y un conjunto de estaciones base (Nodos-B).

Dentro de la red radio se definen dos tipos de interfaces: el interfaz Iub entre cada Nodo-B y el RNC que lo controla y el interfaz Iur entre RNCs. Este último interfaz, sin equivalente en las redes 2G, permite la comunicación directa entre RNCs para el soporte de trasposos suaves (Soft-Handover) entre estaciones base pertenecientes a distintos RNCs. La red radio también posee dos interfaces externos: el interfaz radio

Uu, basado como ya se ha dicho en WCDMA, y el interfaz Iu con el núcleo de red. Este último se subdivide lógicamente en dos interfaces: Iu-CS hacia el dominio de conmutación de circuitos e Iu-PS hacia el dominio de conmutación de paquetes.

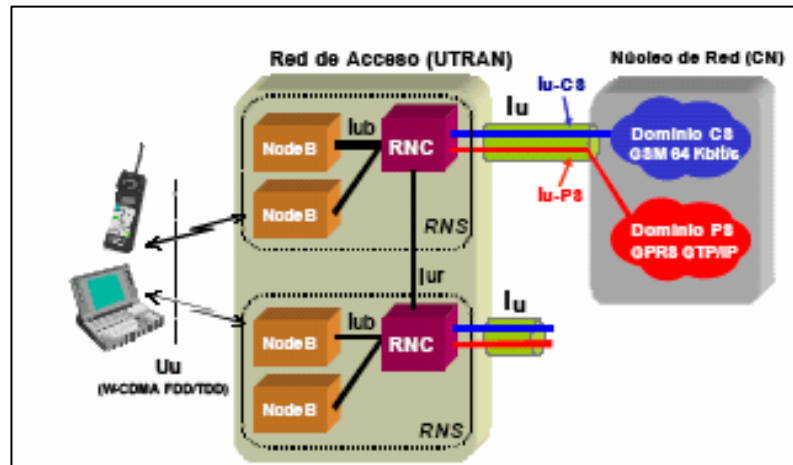


Figura 14: Arquitectura de UTRAN.
Fuente: García, A y otros (2002)

Componentes FDD y TDD

La interfaz radio UMTS se estructura sobre la base de dos componentes: el componente FDD (*Frequency Division Duplex*) y el componente TDD (*Time Division Duplex*).

En el caso de FDD el acceso múltiple se realiza por división en código y en frecuencia, utilizando dos portadoras distintas: una para el enlace ascendente y otra para el descendente. En el modo TDD el acceso múltiple se hace por división en código y en tiempo: existe una única portadora e intervalos temporales de transmisión, que se reparten entre distintos usuarios y, a su vez, entre los dos sentidos de transmisión (ascendente y descendente). El número de intervalos temporales asignados a cada uno de los sentidos del enlace es configurable.

En el entorno de operación de UMTS, el modo TDD se considera más adecuado para proporcionar servicios de datos en entornos microcelulares o de interiores, y no tanto para entornos macrocelulares, por distintas razones:

- Debido a la necesidad de disponer de sincronización entre las estaciones base.
- Debido a los problemas originados por las interferencias no controlables.

En efecto, el hecho de que coincida el enlace ascendente en una estación con el descendente de otra vecina puede producir interferencias, no solo de estación base a móvil y de móvil a estación base (como sucede en los sistemas TDD), sino también entre estaciones base y entre móviles asignados a distintas estaciones base. (ver Fig. 15)

B. Protocolos UTRAN

Los protocolos de UTRAN se estructuran en dos capas: la capa de red radio (RNL, Radio Network Layer) y la capa de red de transporte (TNL, Transport Network Layer). Esta descomposición tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema UMTS (encuadradas dentro de RNL), de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada (ubicadas dentro de TNL).

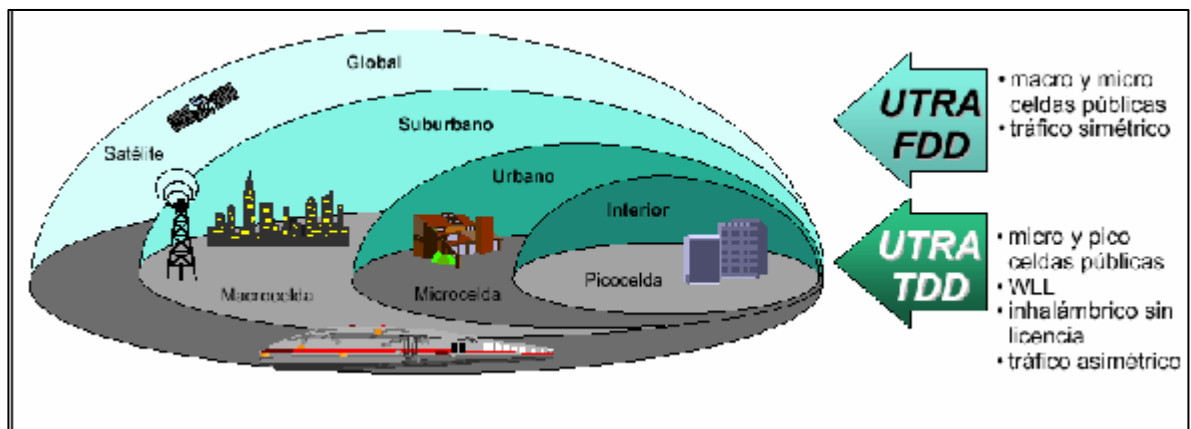


Figura 15 . Modos del Sistema UMTS.
Fuente: Vera (2003)

La capa TNL se articula en torno al uso de ATM. La información que se transporta sobre ATM es básicamente de dos tipos:

- Información móvil-red: Se trata de la información, señalización o tráfico de usuario, que intercambian entre sí los móviles y el nodo de entrada al núcleo de red. Este nodo será un MSC (Mobile Switching Center) en caso de una

comunicación con el dominio CS, o un SGSN (Serving GPRS Support Node) en caso del dominio PS.

- Señalización UTRAN: Se trata de información intercambiada entre nodos-Bs y RNCs (protocolo NBAP, Node-B Application Part), entre RNCs y Núcleo de Red (protocolo RANAP, Radio Access Network Protocol) y entre RNCs (RNSAP, Radio Network Subsystem Application Part).

En la figura 16 se muestran con detalle los protocolos involucrados en el plano de usuario de los interfaces Iub, Iu-CS e Iu-PS. Los protocolos de adaptación ATM utilizados en cada caso son AAL2 para Iub e Iu-CS (también para Iur, aunque no se muestre en la figura) y AAL5 para Iu-PS.

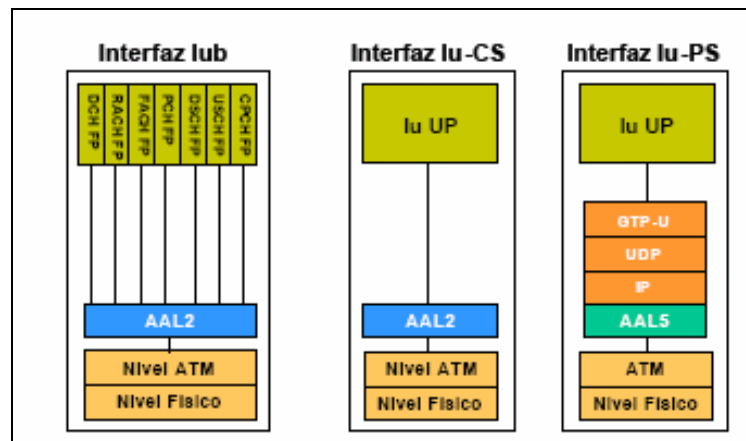


Fig. 16. Protocolos UTRAN del plano de usuario.
Fuente: García, A y otros (2002)

Desde la perspectiva del plano de usuario, el interfaz Iub puede considerarse como una prolongación del interfaz radio. De hecho, si se observa con detenimiento la figura 17 se puede observar que los protocolos radio (RRC/RLC/MAC) terminan en el RNC. El transporte de las tramas radio (MAC) entre un nodo-B y su correspondiente RNC se basa en la utilización del protocolo AAL2, de modo que cada canal radio emplea una miniconexión AAL2.

El protocolo AAL2, definido en la recomendación Q.363.2 del ITU-T, permite la multiplexión eficiente de varios flujos de datos (hasta 248 ‘miniconexiones’) sobre un mismo circuito virtual ATM.

El funcionamiento del protocolo AAL2 se ilustra en la figura 17. En un primer paso, cada flujo de datos se convierte en un flujo de paquetes CPS (Common Part Sublayer), genéricamente denominados minicélulas AAL2, con una cabecera de tres octetos y una carga útil de 1 a 45 (ó 64) octetos (el tamaño que más convenga en cada caso). Los flujos de minicélulas resultantes son multiplexados (entrelazados) a continuación formando bloques de 47 octetos. Añadiendo a cada bloque un octeto adicional (un puntero que facilita la recuperación ante pérdidas en recepción), se forman los segmentos de 48 octetos (CPS PDUs) con los que se rellena la carga útil de las células ATM de la conexión.

Sobre el interfaz Iu, el protocolo AAL utilizado depende de si se trata de una comunicación modo circuito (Iu-CS), en cuyo caso se usa AAL2, o una comunicación modo paquete (Iu-PS), en cuyo caso se usa AAL5. En el caso del interfaz Iu-CS, el empleo de AAL2 constituye la mejor opción para el transporte eficiente de flujos de datos modo circuito (paquetes de voz, datos modo circuito, fax). En el caso de Iu-PS, la solución adoptada consiste en el empleo de un túnel IP (protocolo GTP, GPRS Tunneling Protocol) por sesión de datos, recurriéndose al protocolo AAL habitual para el transporte de IP, esto es, el protocolo AAL5.

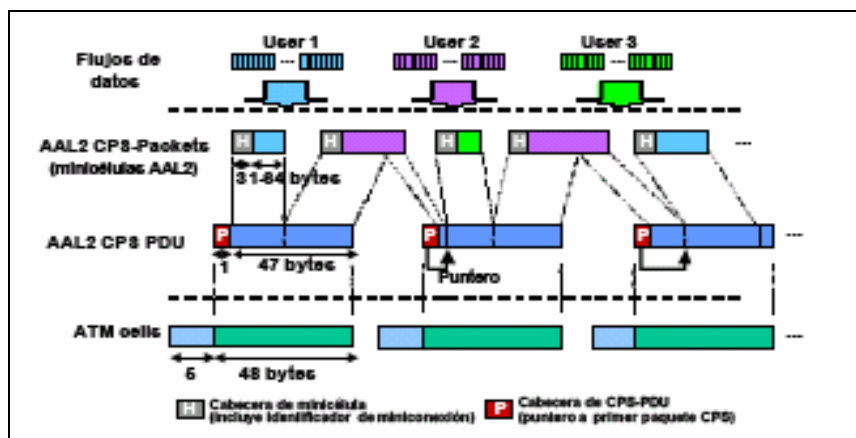


Fig. 17. Protocolo de adaptación ATM tipo 2 (AAL2).
Fuente: García, A y otros (2002)

C. Calidad de servicio en UMTS

El soporte de QoS en UMTS se basa en la arquitectura jerárquica definida en la especificación TS 23.107 , representada en la figura 18. La calidad de servicio extremo a extremo se sustenta en la calidad que proporcionan los servicios portadores subyacentes: el servicio portador local, el servicio portador UMTS y el servicio portador externo. Esta primera descomposición tiene como objeto no limitar innecesariamente los equipos terminales a emplear (ej. un PC) y las posibles redes destino (ej. Internet) con las que comunicarse. Es por este motivo que la especificación deja fuera del ámbito de la calidad de servicio de UMTS a los servicios portadores local y externo, centrándose exclusivamente en la normalización del servicio portador UMTS.

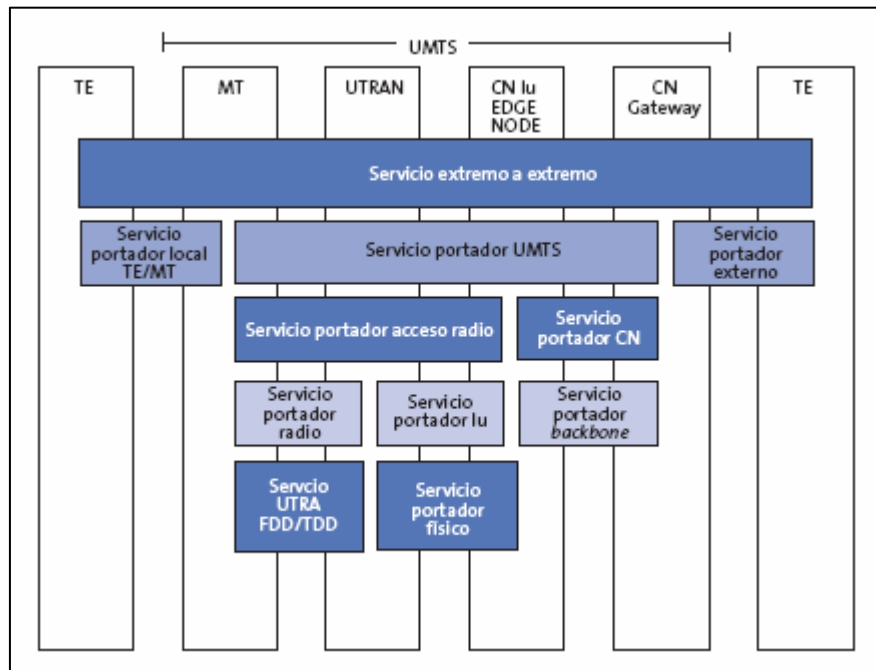


Fig. 18: Arquitectura de calidad de servicio UMTS
Fuente: García, A y otros (2002)

En una segunda descomposición, el servicio portador UMTS se sustenta en la QoS que le proporciona el servicio portador de acceso radio (RAB) y el servicio portador del núcleo de red. El primero abarca el trayecto comprendido entre la terminación móvil (el terminal radio del usuario) y el nodo de acceso al núcleo de red

(un MSC o un SGSN, según el caso), pasando a través del interfaz radio (Uu), la red de acceso radio (UTRAN), y el interfaz Iu. El concepto de RAB es determinante en la provisión de servicios UMTS con distintos perfiles de calidad de servicio, puesto que implica la utilización de recursos sobre el interfaz radio y la red de acceso, precisamente donde se presentan las mayores limitaciones de ancho de banda.

El servicio portador del núcleo de red, por su parte, abarca el trayecto comprendido entre el nodo de acceso (MSC o SGSN) hasta el nodo pasarela (GMSC o GGSN) hacia la red destino de interés (ej. RTC o Internet). La QoS en este trayecto se apoya en la que proporciona el correspondiente backbone (de circuitos o de paquetes).

Desde el punto de vista de los requisitos de QoS, y atendiendo fundamentalmente al criterio de su tolerancia al retardo, en UMTS se han definido cuatro clases de tráfico:

1. Conversacional: Dentro de esta clase se encuadran la comunicaciones de audio y vídeo

en tiempo real entre personas. Este tipo de comunicaciones se caracteriza por exigir un retardo extremo a extremo muy reducido, con objeto de que los usuarios no pierdan la sensación de interactividad. Ejemplos de aplicaciones conversacionales son la telefonía, la videotelefonía o la videoconferencia.

2. Streaming (afuente): En esta categoría se incluyen las aplicaciones que permiten a los usuarios la descarga de contenidos multimedia (audio y video clips) para su reproducción on-line, con una sensación que, sin serlo, se aproxima a la de tiempo real. El hecho de que la transferencia de información sea unidireccional permite retrasar el instante de inicio de la reproducción posibilitando el empleo de “buffers” relativamente grandes en el extremo receptor para absorber las fluctuaciones de retardo. Ello permite relajar significativamente los requisitos de retardo con respecto a los servicios conversacionales.

3. Interactivo: Esta clase de tráfico engloba las aplicaciones de acceso remoto a información en la modalidad online, donde el usuario (o una máquina) envía peticiones hacia el equipo remoto esperando que éste le devuelva las respuestas en un tiempo razonablemente reducido. Ejemplos de aplicaciones bajo esta categoría son la navegación web, las consultas a bases de datos o el acceso remoto a ordenadores (telnet).

4. Background (diferible): Esta última clase da cabida a un número considerable de aplicaciones de datos en las que el usuario no exige una respuesta inmediata por parte de la red, admitiendo retardos que oscilan desde unos pocos segundos hasta incluso varios minutos. Ejemplo de tales aplicaciones son el correo electrónico o la descarga de ficheros, por citar algunas.

La formalización del concepto de calidad de servicio en UMTS recurre a la clásica solución consistente en la definición del correspondiente conjunto de parámetros o atributos. Así, en la especificación TS 23.107 se define una docena de atributos de calidad de servicio, así como el rango de valores que éstos pueden tomar. Como se observa en la tabla 1, no todos los atributos son aplicables a las cuatro clases de tráfico definidas.

Tabla 1. Fuente: Álvarez, M.(2003)

<i>Atributos de QoS de servicios portadores</i>				
	Conversational	Streaming	Interactive	Background
Tasa de bit máxima	X	X	X	X
Entrega ordenada	X	X	X	X
Tamaño máximo SDU	X	X	X	X
Información de formato de SDU	X	X		
Ratio de SDUs erróneas	X	X	X	X
Ratio de error de bit residual	X	X	X	X
Entrega de SDUs erróneas	X	X	X	X
Retardo de transferencia	X	X		
Tasa de bit garantizada	X	X		
Prioridad de tráfico			X	
Prioridad de asignación/retención	X	X	X	X

El Cálculo del radio celular y el problema de la distribución de carga

Según Portilla (2004) El cálculo del radio celular en sistemas móviles celulares se sustenta principalmente en dos factores:

- Cálculo de la capacidad
- Cálculo de la Cobertura

La capacidad en sistemas CDMA viene dictada por la cantidad de interferencia permitida en la célula, a continuación (ver figura 19) se presenta la ecuación básica para los requerimientos de calidad del servicio i para la conexión k :

Enlace ascendente

$$\frac{W}{v_{i,k} \cdot R_{i,k}} \cdot \left(\frac{p_{i,k}}{I_{Total} - p_{i,k}} \right) \geq \left(\frac{Eb}{No} \right)_{i,k} \quad \begin{array}{l} k = 1 \dots K_i \\ i = 1 \dots S \end{array}$$

Fig. 19. Ecuación 1. Requerimientos de QoS i para la conexión k
Fuente: Portilla (2004)

Donde

- K_i : Número total de conexiones del servicio i
- S : Número de servicios considerados en el escenario de trabajo.
- W : Tasa de chip, 3.84 Mchps.
- i,k : Factor de actividad de la conexión k del servicio i .
- $R_{i,k}$: Velocidad binaria de la conexión k del servicio i .
- $p_{i,k}$: Potencia de la señal de la conexión k del servicio i .
- I_{Total} : Interferencia total presente en el sistema.
- $(Eb/No)_{i,k}$: Requerimiento mínimo de energía de bit sobre ruido precisada en recepción para la conexión k del servicio i .

Desarrollando la ecuación 1 y colocándose en el límite de los requerimientos de calidad de servicio se obtiene la siguiente expresión (Ver Fig. 20):

$$p_{i,k} = \frac{1}{1 + \frac{W}{v_{i,k} \cdot R_{i,k} \cdot \left(\frac{Eb}{No}\right)_{i,k}}} \cdot I_{Total} \quad \begin{matrix} k = 1 \dots K_i \\ i = 1 \dots S \end{matrix}$$

Fig. 20. Ecuación 2. Limite de los Requerimientos de QoS para la conexión k del servicio i
Fuente: Portilla (2004)

De donde se obtiene la expresión del factor de carga correspondiente a la conexión k del servicio i (ver Figura 21).

$$p_{i,k} = L_{i,k} \cdot I_{Total}$$

$$L_{i,k} = \frac{1}{1 + \frac{W}{v_{i,k} \cdot R_{i,k} \cdot \left(\frac{Eb}{No}\right)_{i,k}}}$$

Fig. 21. Ecuación 3. Factor de Carga correspondiente a la conexión k del servicio i.
Fuente: Portilla (2004)

Sumando todas las conexiones k = 1...K de todos los servicios i = 1...S se obtiene el factor de carga total en el enlace ascendente (ver Figura 22)

$$L_{Ti} = \sum_{k=1}^K L_{i,k}$$

$$\eta_{UL} = \sum_{i=1}^S L_{Ti}$$

Fig. 22. Ecuación 4. Factor de carga total en el enlace ascendente.
Fuente: Portilla (2004)

Finalmente, se debe considerar la interferencia procedente de las células vecinas I_{oth} .

Idealmente se expresa en función del valor de la interferencia en la propia célula mediante el factor de interferencia intercelular en el enlace ascendente, f_{UL} según la siguiente expresión (ver figura 23):

$$I_{oth} = f_{UL} \cdot I_{own}$$

Fig. 23. Ecuación 5. Factor de Interferencia celular en el enlace ascendente.
Fuente: Portilla (2004)

Quedando por lo tanto la expresión de la carga total en el enlace ascendente de la siguiente manera (ver figura 24):

$$\eta_{UL} = (1 + f_{UL}) \cdot \sum_{i=1}^S L_{Ti}$$

Fig. 24. Ecuación 6. Carga Total en el enlace ascendente.
Fuente: Portilla (2004)

El valor de la interferencia intercelular expuesto en las ecuaciones anteriores incluye el efecto de la sectorización del Nodo B. La relación entre el factor de interferencia intercelular, con y sin sectorización, se muestra en la ecuación 7 (ver figura 25)

$$f_{UL_Sector} = f_{UL_OMNI} \cdot \frac{N_{Sectores}}{\zeta}$$

Fig. 25. Ecuación 7. Relación entre el factor de interferencia intercelular, con y sin sectorización
Fuente: Portilla (2004)

Donde $N_{sectores}$ es el número de sectores del Nodo B, y ζ la ganancia por sectorización.

El factor de elevación de fondo de ruido Noise Floor Rise (NFR), expresa el exceso de interferencia en el sistema cuando está cargado, es decir, cuando hay conexiones de usuarios, respecto a cuando está vacío (ver figura 26).

$$NFR = \frac{I}{N} = \frac{1}{1 - \eta_{UL}}$$

Fig. 26. Ecuación 8. Factor de Elevación de Fondo de Ruido
Fuente: Portilla (2004)

Se puede observar claramente que el valor máximo de η_{UL} es la unidad. Cuando toma este valor, la ecuación 8 tiene un polo, y el sistema se vuelve inestable. Para evitar esta situación se fijan límites máximos entre el 50% y el 75% total de carga.

La elección del valor de este límite es crítica puesto que influye directamente en la capacidad y la cobertura. El NFR expresado en decibelios corresponde al valor del margen de interferencia MI que se aplica al realizar el balance de enlace (RadioLinkBudget). Por lo tanto un valor bajo, limitará la capacidad del sistema y un valor alto puede limitar la cobertura (ver figura 27).

$$MI = 10 \cdot \text{Log}(NFR)$$

Fig. 27. Ecuación 9. Margen de Interferencia.
Fuente: Portilla (2004)

Otras Tecnologías Para La Movilidad

Redes de área personal inalámbricas

Se trata de redes que permiten la interconexión de dispositivos en el área que rodea a la persona o al dispositivo, con un alcance máximo que se estima en torno a los diez metros. Se soportan tasas binarias variables, que comprenden desde decenas de kilobit por segundo hasta centenares de megabit por segundo (WPAN de nueva generación). La potencia de transmisión que emplean es muy baja (típicamente 1 mW), aunque actualmente también se contempla la utilización de dispositivos de mayor potencia. Operan en bandas de espectro que no precisan licencia, toda vez que su coordinación resultaría prácticamente inviable. Los principales estándares actuales para este tipo de redes son Bluetooth, HomeRF (abandonado) y Zigbee.

Redes Bluetooth

Es el tipo de red de área personal más extendido. Tiene su origen en una iniciativa que en 1994 lanza Ericsson para estudiar un sistema de comunicación inalámbrica entre teléfonos y sus accesorios. Sus principales características son:

- Opera en la banda de 2,4 GHz con una tasa binaria de 720 kbit/s.
- Utiliza salto en frecuencia (Frequency Hopping, FH), que divide el espectro disponible en 79 canales. Los transceptores saltan de un canal a otro siguiendo una secuencia pseudoaleatoria determinada por el nodo maestro con una tasa de 1.600 saltos por segundo.
- Utiliza modulación GFSK (modulación FM con un filtrado gaussiano).
- Dispone de duplexación en el tiempo TDD.
- Soporta hasta ocho dispositivos en una picorred (un maestro y siete esclavos). Los dispositivos de una picorred están sincronizados en tiempo y en frecuencia. El maestro es el dispositivo que inicia la conexión y marca la sincronización, mientras que los esclavos son los dispositivos con los que se conecta el maestro. Una vez establecida la conexión, se pueden intercambiar los roles maestro-esclavo.

- Las picorredes pueden combinarse para formar lo que se denominan “scatternets”.
- La potencia de transmisión está comprendida entre 0 dBm (dispositivos de clase 3) y 20 dBm (dispositivos de clase 1).
- El control de potencia es obligatorio para los dispositivos de clase 1, y opcional para el resto.

En estos momentos hay millones de dispositivos que incorporan Bluetooth para soportar la conectividad inalámbrica, desde teléfonos ratones y teclados inalámbricos, PDAs, auriculares, entre otros.

Redes Zigbee

El estándar Zigbee proporciona servicios similares a los de Bluetooth, pero orientados a la interconexión de dispositivos autónomos, como puedan ser sistemas de medida o de control. Por ello, ha predominado en su diseño el bajo consumo de energía y la capacidad para formar redes de mayor tamaño que en Bluetooth, a costa, eso sí, de soportar tasas binarias menores. Zigbee es el nombre adoptado por una alianza comercial para promocionar la adopción del estándar IEEE 802.15.4 (de forma similar a como actúa la WiFi Alliance respecto de los estándares 802.11x).

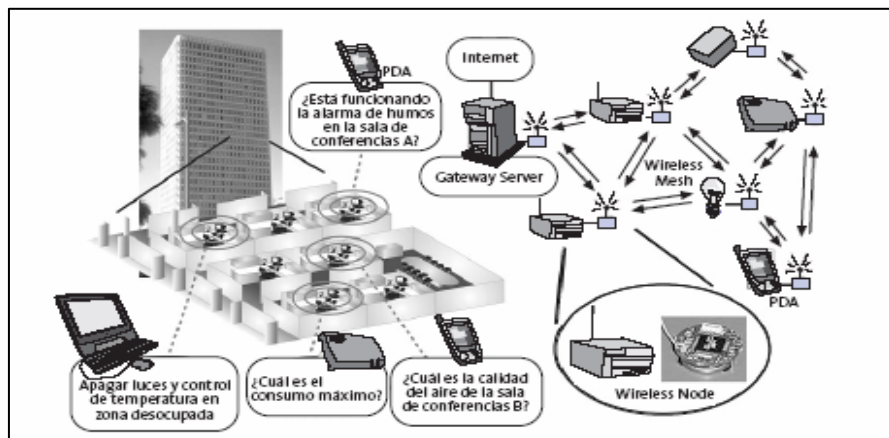


Fig. 28. Escenario de Aplicación de Zigbee
Fuente: Telefónica Móvil (2002)

Redes de área local inalámbricas

Las redes locales inalámbricas basadas en la tecnología IEEE 802.11 están experimentando una rápida popularización y un crecimiento espectacular. Inicialmente esta tecnología se concibió para eliminar cableado en el interior de los edificios (hogares, oficinas, etc.), pero pronto algunos usuarios observaron que había determinados puntos en las ciudades, edificios, etc., donde se podía acceder a una conexión (en ocasiones de forma clandestina, sin autorización del dueño del acceso).

Paralelamente se vieron las grandes expectativas de los nuevos negocios que posibilita esta tecnología. Desde la presencia directa en este campo de los ISP y operadores tradicionales a la aparición de nuevas entidades como los WISPr (*Wireless ISP roaming*), que ofrecen acceso inalámbrico en distintos lugares interconectados mediante las redes de los operadores tradicionales.

Se acuñó así el concepto de “*hot spot*” como lugar que ofrece acceso a Internet y a otros servicios de datos a clientes eventuales utilizando dispositivos inalámbricos.

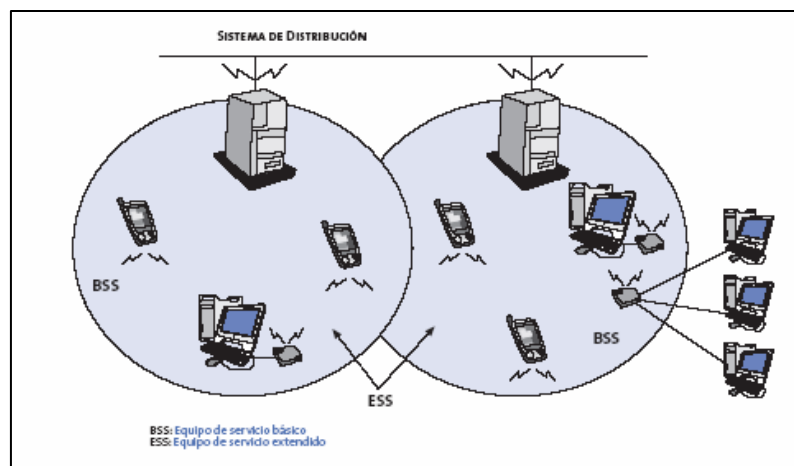


Fig. 29. Topología de una red IEEE 802.11
Fuente: Telefónica Móvil (2002)

Redes IEEE 802.11

Una red inalámbrica 802.11 está basada en una arquitectura celular en la que el sistema se divide en células llamadas BSS (*Basic Service Set*). Cada célula está controlada por una estación base llamada AP (*Access Point*).

Un sistema puede constar de una o varias células; en el caso pluricelular los diferentes AP se conectan entre sí mediante un backbone llamado DS (*Distribution System*), típicamente Ethernet, aunque en algunos casos también puede ser inalámbrico. (ver figura 29)

Todo este conjunto de células interconectadas se ve como una única red desde los protocolos de las capas superiores, y se llama ESS (*Extended Service Set*). Cada ESS tiene un identificador conocido como SSID, que debe ser el mismo en todos los AP del ESS.

El protocolo 802.11 puede utilizarse para soportar la conexión inalámbrica de puntos de acceso, de forma que el sistema de distribución se vuelve inalámbrico. Esta opción recibe el nombre de WDS (*Wireless Distribution System*). Los AP que soportan WDS pueden actuar con dos funciones: bridge inalámbrico o repetidor (ver la Figura 30).

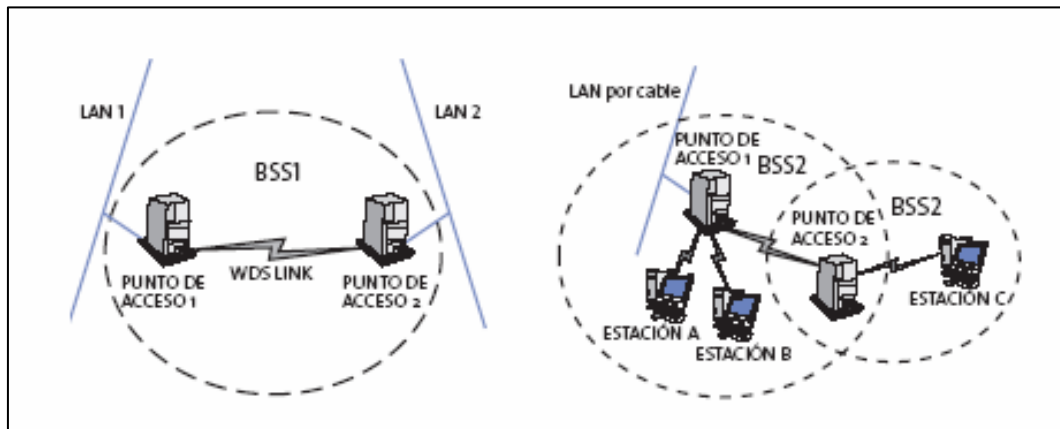


Fig. 30. Modos de funcionamiento de APs con WDS
Fuente: Telefónica Móvil (2002)

Capas IEEE 802.11

El protocolo 802.11 define la capa física y la capa MAC, suponiendo que por encima hay una capa LLC 802.2 (ver la Figura 31).

Hay distintas posibilidades para la capa física dependiendo del tipo de red (a, b, g, h), e incluso distintas opciones dentro del mismo tipo. Actualmente el tipo más común es el 802.11b, cuyas características de la capa física son:

- La banda de frecuencia de 2,4 GHz.
- El DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*).
- La codificación CCK (para las velocidades de 5,5 y 11 Mbit/s).

La capa MAC, además de la funcionalidad típica de estas capas, realiza funciones que normalmente se implementan en capas superiores: fragmentación, retransmisión de paquetes, y asentimientos (ACKs). Esto es así debido a las características de los enlaces radio, con errores altos, que aconsejan un tamaño pequeño de los paquetes, pero debiéndose preservar desde el punto de vista de las capas superiores los paquetes de 1.518 bytes típicos de Ethernet.

El método de acceso es CSMA/CA (*Carrier Sense Múltiple Access with Collision Avoidance*), similar al popular CSMA/CD pero que no detecta colisiones, dado que:

- Se evita la necesidad de emitir y escuchar al mismo tiempo, ya que
- Encarece mucho los productos radio.
- Existe el problema de “*hidden station*”, en el que dos estaciones, que no
- Se escuchan entre ellas, colisionan al acceder al AP que escucha a las dos.
- Para su resolución se prevé el mecanismo denominado RTS/CTS.

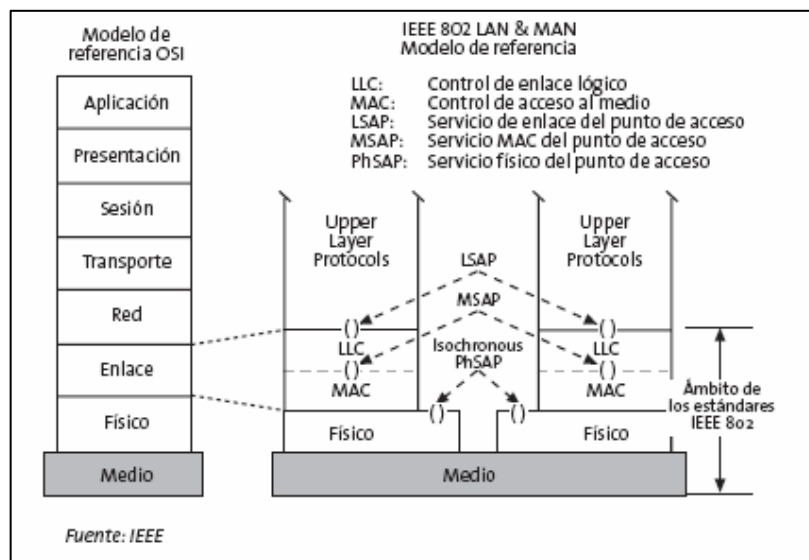


Fig. 31. Pila de protocolos de las redes IEEE 802
Fuente: Telefónica Móvil (2002)

El estudio de la teoría antes expuesta permite comprender el funcionamiento y arquitectura de las redes inalámbricas y de los sistemas de telefonía móvil, tomando en cuenta sus principales características y reforzando los conceptos de hand-over, cobertura y QoS, los cuales son conceptos fundamentales y de gran relevancia para el desarrollo de este proyecto.

Del mismo modo, este basamento teórico proporciona información detallada del estándar CDMA2000 en el cual se basa la herramienta a desarrollar, lo cual permitirá determinar las variables que deben tomarse en cuenta al momento de su diseño.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

Naturaleza del Estudio

De acuerdo al manual para la presentación del trabajo conducente al grado académico de Maestría de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (2003), la presente investigación esta enmarcada dentro de la modalidad de estudio de proyectos, apoyada en la investigación monográfica documental.

De acuerdo al problema planteado en la investigación, esta se ubica como un estudio de proyectos, ya que se presenta una herramienta de simulación, la cual tiene como objetivo proporcionar a la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado un recurso didáctico para la asignatura de Redes Inalámbricas de los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones.

El estudio se apoyó en el tipo de investigación monográfica documental, debido a que en primer lugar se realizó un estudio descriptivo de la situación actual, donde se realiza un análisis de la realidad que se estudia, con el propósito de describirla, interpretarla y destacar los elementos que conforman el problema de estudio.

Posteriormente, se realizó una investigación bibliográfica y documental, sobre la situación actual del tipo de problema y las técnicas existentes para así proponer una alternativa de solución.

Como señala Bavaresco (1994), la investigación documental es aquella que permite detectar, obtener, consultar bibliografía y otros materiales que puedan ser útiles para los propósitos del estudio.

Por tal razón, este estudio se apoyó en la revisión bibliográfica, mediante la consulta de fuentes de datos tales como textos bibliográficos, páginas Web, manuales, proyectos de investigación, entre otros.

Fases del Estudio

Fase de Diagnóstico

En esta fase de diagnóstico se describe la situación actual del entorno donde se presenta el problema, de manera que sirva como fuente de información para el análisis del problema, y posteriormente para el diseño y ejecución de la propuesta.

Población

Para realizar el levantamiento de información inicial, es necesario definir cual es la población que esta involucrada en el problema de estudio. La población es considerada como un grupo uniforme de elementos que presentan características similares, referentes al problema de estudio. De igual manera se toma la población como el conjunto de posibles participantes a los cuales se les desean generalizar los resultados del estudio, según afirma Salkind (1999).

De acuerdo a este concepto, la población para este estudio esta conformada por todos los estudiantes que cursan la asignatura de Redes Inalámbricas en los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones, y por todos los docentes que dictan dicha cátedra.

Muestra

Según Tamayo (1998), la muestra se define como una porción que se toma para realizar un estudio, el cual se considera representativo de la población. Cuando no es posible medir cada uno de los individuos de una población, se toma una muestra representativa de la misma.

En este caso, la muestra está integrada por un subconjunto de la población conformado por la sección que cursa la asignatura de Redes Inalámbricas, conformada por veinte(20) alumnos y el docente que dicta dicha materia.

Procedimiento

En el siguiente aparte se listan los pasos de la presente investigación:

1. Elaborar los instrumentos de medición.
2. Determinar la validez de los instrumentos.
3. Aplicar los instrumentos de medición.
4. Analizar los datos recopilados por los instrumentos de medición
5. Presentar las conclusiones del diagnóstico.
6. Presentar las recomendaciones del diagnóstico.
7. Efectuar el análisis de factibilidad.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Al realizar un trabajo investigativo, es necesario el manejo de datos e información que sirvan de base para realizar el estudio y diagnóstico del problema, y para darle solución. Para la recolección de estos datos existen una variedad de técnicas definidas, que pueden emplearse para el logro del objetivo del estudio. Para realizar este estudio se seleccionaron las siguientes técnicas para la recolección de datos:

Cuestionario

El primer instrumento utilizado es un cuestionario (Ver Anexo B), conformado por 15 ítems cerrados dicotómicos, los cuales son aquellos que sólo se contestan con si o no y se aplicaron a los estudiantes de la sección de la Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, con la finalidad de conocer la opinión de cada uno de los participantes acerca del uso de una herramienta gráfica como recurso didáctico en la asignatura de redes inalámbricas e indagar sobre la comprensión de los sistemas de telefonía móvil.

Entrevista Estructurada

Mediante esta técnica es posible reunir información directamente con las personas involucradas en el proceso. Salkind (1999), señala que dentro de una organización, la entrevista es la técnica más significativa y productiva de que dispone el analista para recabar datos.

El segundo instrumento utilizado fue la entrevista estructurada, a través de la cual se consultó al profesor de la asignatura Redes Inalámbricas acerca de su experiencia al dictar esta cátedra. Esta entrevista (ver anexo D) consta de ocho (8) preguntas abiertas.

Análisis de las Fuentes Documentales

Mediante el análisis de diversas fuentes documentales, se realizó la búsqueda y lectura de material bibliográfico, documentos especializados y sitios web relacionados con el área, así como sobre antecedentes e información relacionada al problema.

Validez de los Instrumentos

Para verificar si los instrumentos miden lo que se pretende se procede a determinar la validez del contenido y de criterio. Según Hernández y otros (2003), la validez de contenido se refiere “al grado en que un instrumento refleja un dominio específico del contenido de lo que se mide y el criterio establece la validez de un instrumento de medición comparándolo con algún criterio externo” (p.169).

Para efectos de esta investigación se empleó la validez de contenido a Juicio de Expertos aplicados a un (01) especialista en el área de Redes y uno (01) en metodología. De allí que se diseñó la matriz de validación para los instrumentos de recolección de datos, cuyo contenido se observa en el Anexo E.

Se desprende de éstos que los ítems se aceptan por cuanto existe la claridad y congruencia necesaria que permitirá respuestas profundas, precisas y concretas por parte del entrevistado.

Técnica de Análisis de los Datos

Para realizar el análisis y la interpretación de los resultados, se hizo necesaria la aplicación del instrumento seleccionado para la recolección de los datos, tanto a los estudiantes de la sección de la Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, como al profesor de la asignatura de redes inalámbricas, con la finalidad de recopilar la información que permitiera determinar las necesidades de emplear actualmente en las asignaturas sobre redes inalámbricas de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) una aplicación que permita simular cómo varía la cobertura y calidad de servicio de la red en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración para un Sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000.

Una vez concluida la recopilación de los datos se procedió a la tabulación de los resultados y al análisis de los mismos, a través de la distribución de frecuencias y de la representación gráfica.

Análisis de los Resultados

Análisis Cuestionario Aplicado a Estudiantes

Cuadro 1.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le gustaría comprender en detalle el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil.

¿Le gustaría comprender en detalle el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil?	fr.	%
Si	20	100
No	0	0
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

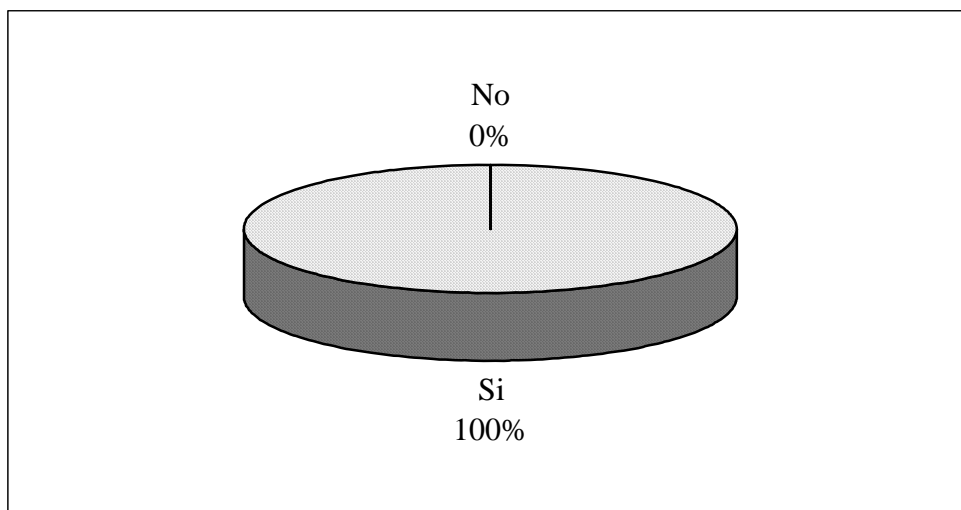


Gráfico1. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le gustaría comprender en detalle el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil.

Fuente: Franchi, F (2006)

Según opinión de los estudiantes entrevistados acerca de si le gustaría comprender en detalle el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil, un 100 % manifestó que sí. Con ello se aprecia que existe la necesidad y el deseo de aprender acerca del área en estudio.

Cuadro 2.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen los elementos que conforman un sistema de telefonía móvil.

¿Conoce los elementos que conforman un sistema de telefonía móvil?	fr.	%
Si	8	40
No	12	60
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

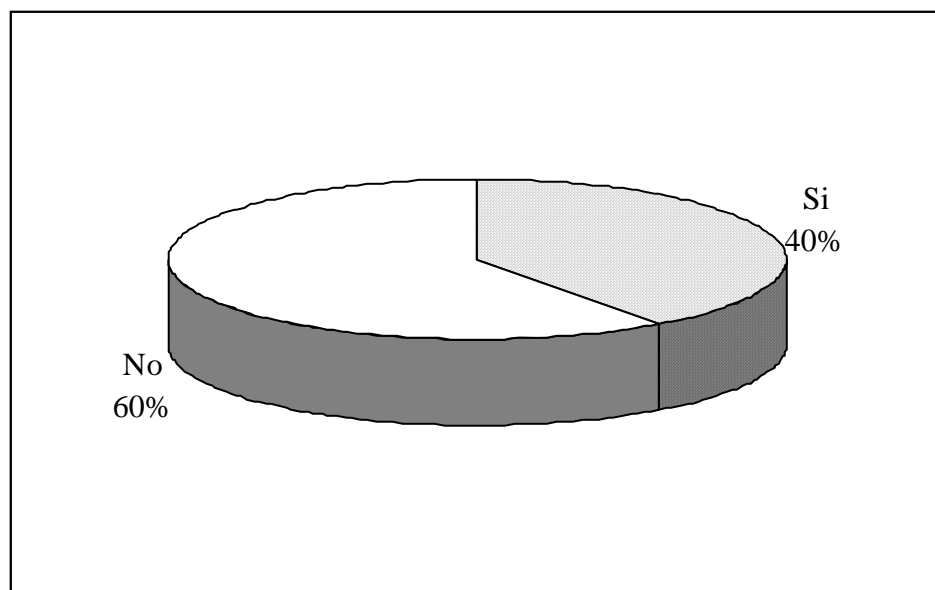


Gráfico2. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conoce los elementos que conforman un sistema de telefonía móvil.
Fuente: Franchi, F (2006)

Los resultados indican que el 40% de los estudiantes conocen los elementos que conforman un sistema de telefonía móvil, mientras que el 60% respondió que no los conoce, lo que indica que la mayoría de los estudiantes no saben cuales son los componentes de una red de telefonía celular.

Cuadro 3.
Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen el término hand-over.

¿Conoce el término hand-over?	fr.	%
Si	4	20
No	16	80
Total	20	100

Fuente: Franchi, F.(2006)

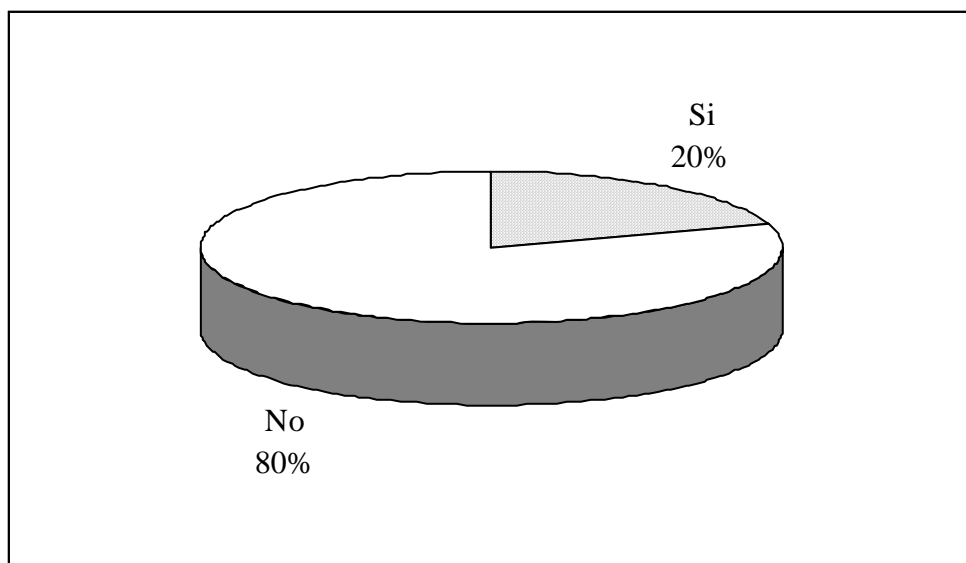


Gráfico3. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen el término hand-over.

Fuente: Franchi, F (2006)

En el gráfico 3 se aprecia que el solo el 20% de los encuestados está claro acerca de lo que es el hand-over, mientras que la mayoría (80%) no conoce el término. Lo que indica que un grupo considerable de estudiantes necesita dominar el concepto de hand-over.

Cuadro 4.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben las razones por las cuales se realiza el hand-over.

¿Sabe las razones por las cuales se realiza el hand-over?	fr.	%
Si	3	15
No	17	85
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

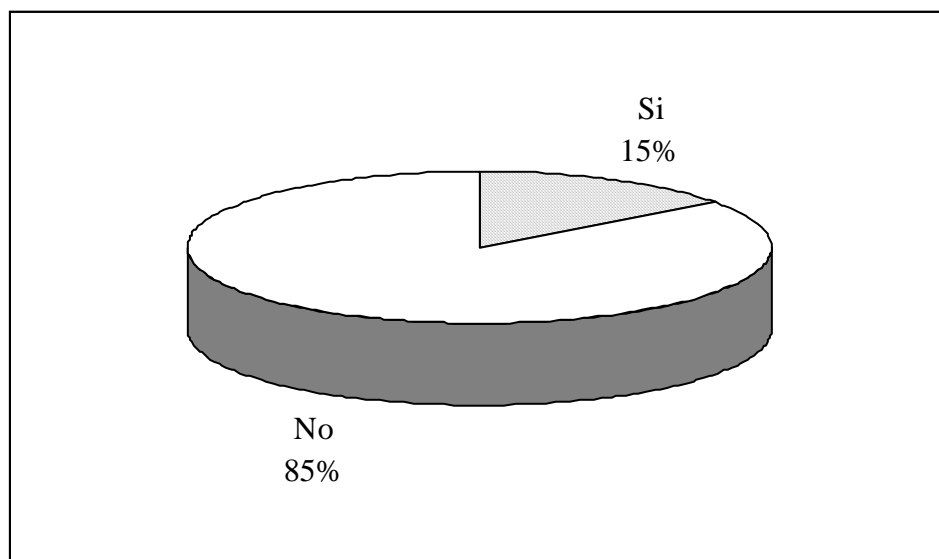


Gráfico 4. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben las razones por las cuales se realiza el hand-over.

Fuente: Franchi, F (2006)

Se puede observar que un alto número de estudiantes no tiene conocimiento de las razones por las cuales se realiza el hand-over, pues el 85% manifestó que no las conoce. Lo que demuestra que es importante reforzar el proceso de enseñanza aprendizaje de este tópico.

Cuadro 5.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si comprenden con claridad el proceso que se lleva a cabo cuando ocurre el hand-over.

¿Comprende con claridad el proceso que se lleva a cabo cuando ocurre el hand-over?	fr.	%
Si	1	5
No	19	95
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

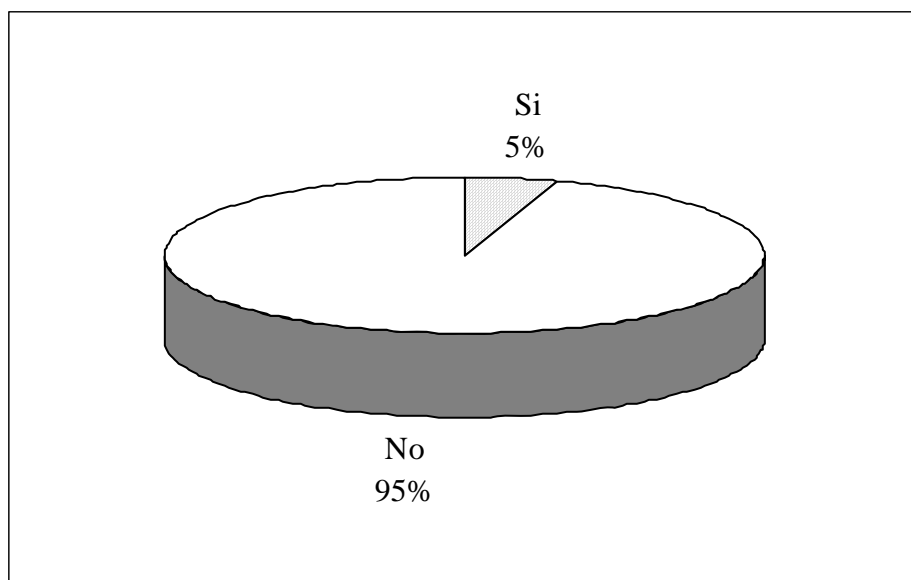


Gráfico 5. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si comprenden con claridad el proceso que se lleva a cabo cuando ocurre el hand-over.

Fuente: Franchi, F (2006)

Los resultados indican que el 95% de los encuestados no comprenden con claridad el proceso de hand-over, mientras que sólo el 5% manifestó que si lo comprendía. Con ello se aprecia que existe la necesidad de aprender acerca de este tópico.

Cuadro 6.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si pueden describir cómo funciona internamente una red de telefonía móvil basada en Cdma2000.

¿Puede describir cómo funciona internamente una red de telefonía móvil basada en Cdma2000?	fr.	%
Si	0	0
No	20	100
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

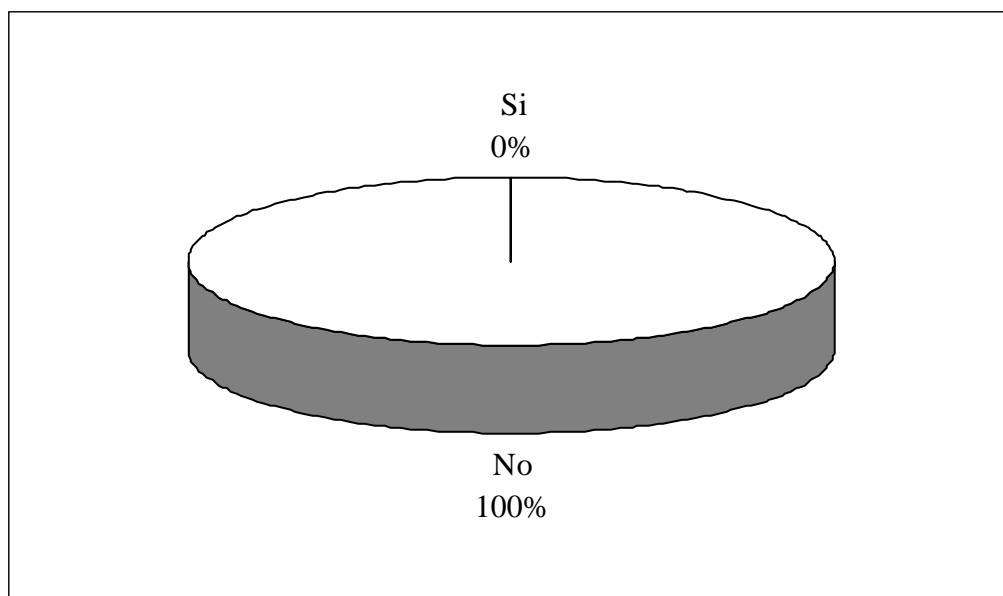


Gráfico 6. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si pueden describir cómo funciona internamente una red de telefonía móvil basado en Cdma2000.

Fuente: Franchi, F (2006)

En el gráfico 6 se observa que el 100% de los encuestados manifestó que no puede describir cómo funciona internamente una red de telefonía móvil basada en Cdma2000. esto indica que la mayoría de los estudiantes no tienen claro el funcionamiento interno de un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000.

Cuadro 7.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen las características del estándar Cdma2000.

Las características del estándar Cdma2000,¿son conocidas por usted?	fr.	%
Si	3	15
No	17	85
Total	20	100

Fuente: Franchi, F (2006)

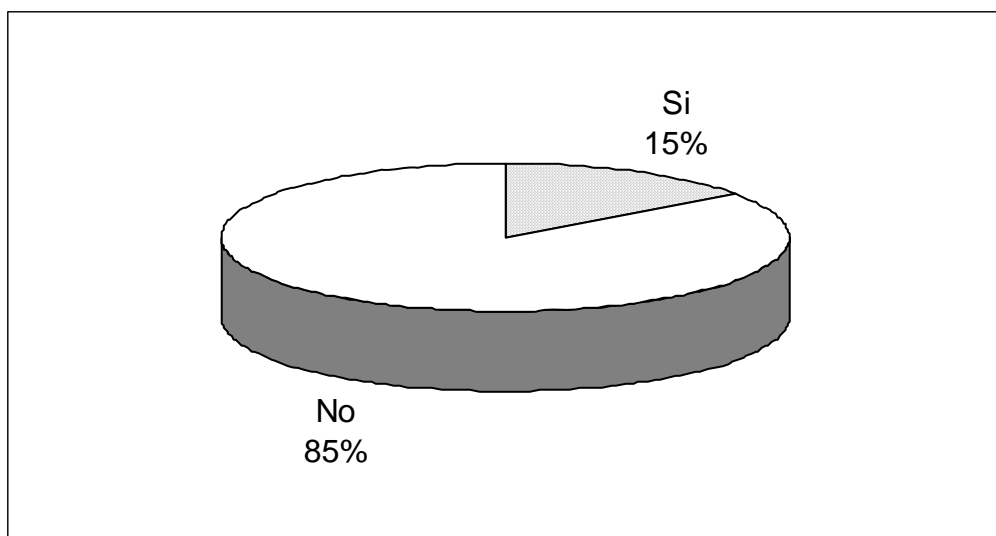


Gráfico 7. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen las características del estándar Cdma2000.

Fuente: Franchi, F (2006)

Se puede observar que la mayoría de los encuestados no tiene conocimiento acerca de las características del estándar Cdma2000, pues el 85% manifestó que no las conoce. Lo que demuestra que es importante reforzar el proceso de enseñanza aprendizaje de este tópico.

Cuadro 8.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben cuáles son los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil.

¿Sabe cuáles son los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil?	fr.	%
Si	5	25
No	15	75
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

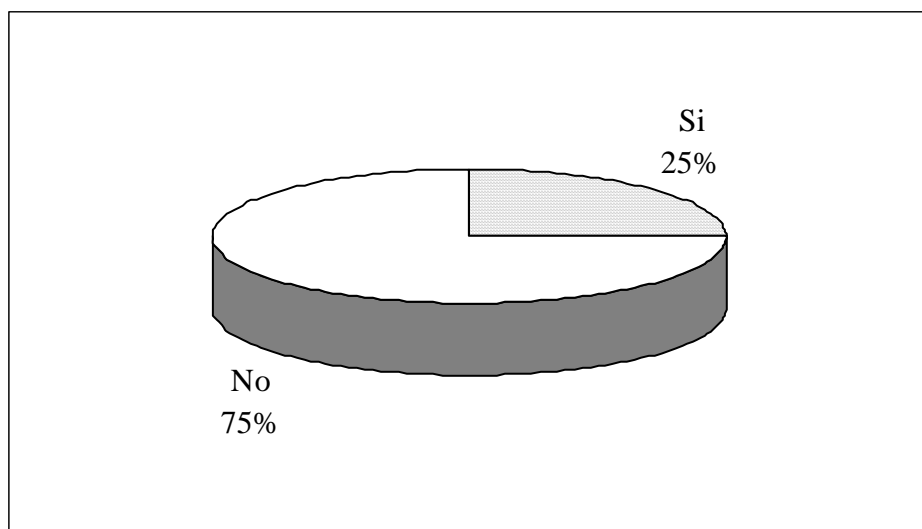


Gráfico 8. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben cuáles son los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil.

Fuente: Franchi, F (2006)

El gráfico 8 muestra que sólo el 25% de los participantes manifestó conocer cuáles son los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil, mientras que el 75% restante dijo no conocerlos. Lo cual indica que un grupo considerable de estudiantes necesita dominar los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil.

Cuadro 9.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen que factores influyen en la cobertura de un sistema de telefonía móvil.

¿Conoce qué factores influyen en la cobertura de un sistema de telefonía móvil?	fr.	%
Si	3	15
No	17	85
Total	20	100

Fuente: Franchi, F.(2006)

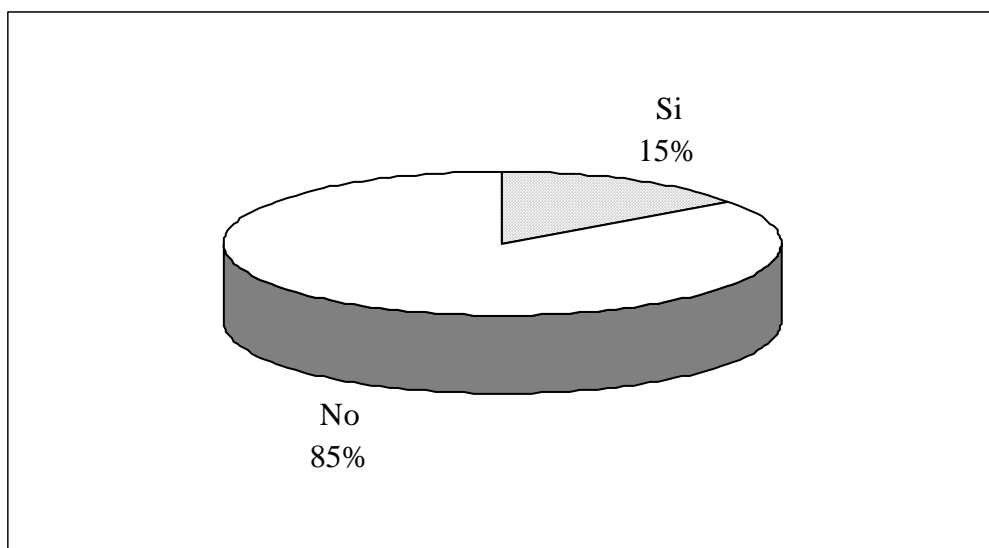


Gráfico 9. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen que factores influyen en la cobertura de un sistema de telefonía móvil.
Fuente: Franchi, F (2006)

Los resultados indican que el 85% de los estudiantes no tiene conocimiento de los factores que influyen en la cobertura de un sistema de telefonía móvil, mientras que sólo el 15% dijo conocerlos. Lo que demuestra la importancia de reforzar la enseñanza de este tema.

Cuadro 10.
Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen los modos de acceso utilizados en Cdma2000.

¿Conoce los modos de acceso utilizados en Cdma2000?	fr.	%
Si	2	10
No	18	90
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

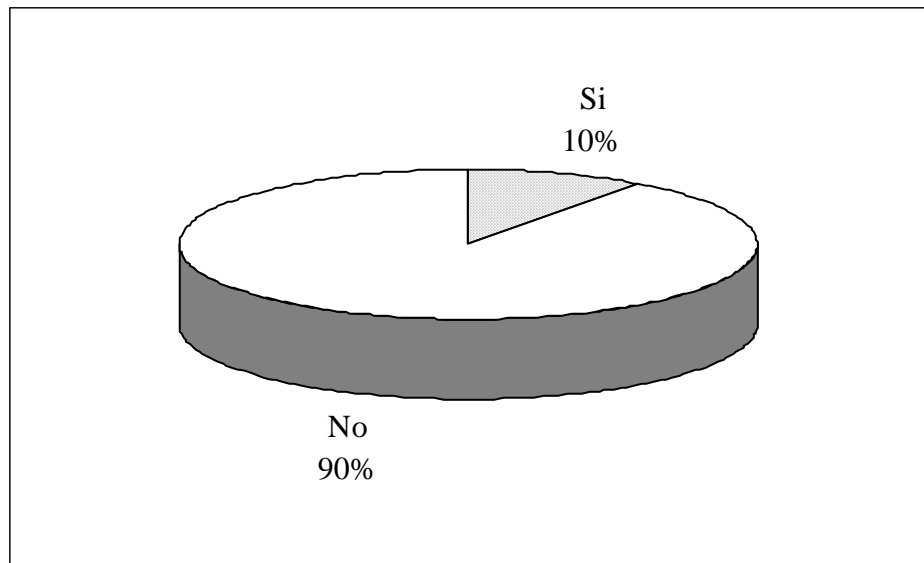


Gráfico 10. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si conocen los modos de acceso utilizados en Cdma2000.

Fuente: Franchi, F (2006)

El gráfico 10 refleja que un 10% de los encuestados afirma conocer los modos de acceso utilizados en Cdma2000, mientras que el 90% restante respondió que no los conoce. Lo que indica que los modos de acceso utilizados en Cdma2000 son poco conocidos por los estudiantes.

Cuadro 11.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben cómo calcular la capacidad de un Sistema de Telefonía Móvil.

¿Sabe cómo calcular la capacidad de un sistema de telefonía móvil?	fr.	%
Si	0	0
No	20	100
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

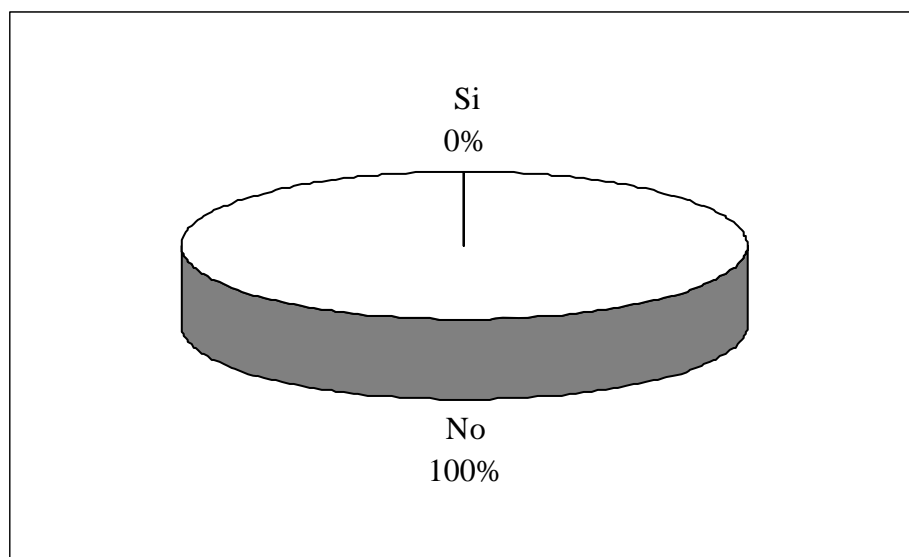


Gráfico 11. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben cómo calcular la capacidad de un sistema de telefonía móvil.

Fuente: Franchi, F (2006)

Cómo se observa en el gráfico 11, el 100% de los encuestados manifestó que no sabe cómo calcular la capacidad de un sistema de telefonía móvil. Con ello se aprecia la necesidad de aprender acerca de este tópico.

Cuadro 12.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si estudian la telefonía móvil sólo de manera teórica.

¿Estudia la telefonía móvil solo de manera teórica?	fr.	%
Si	20	100
No	0	0
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

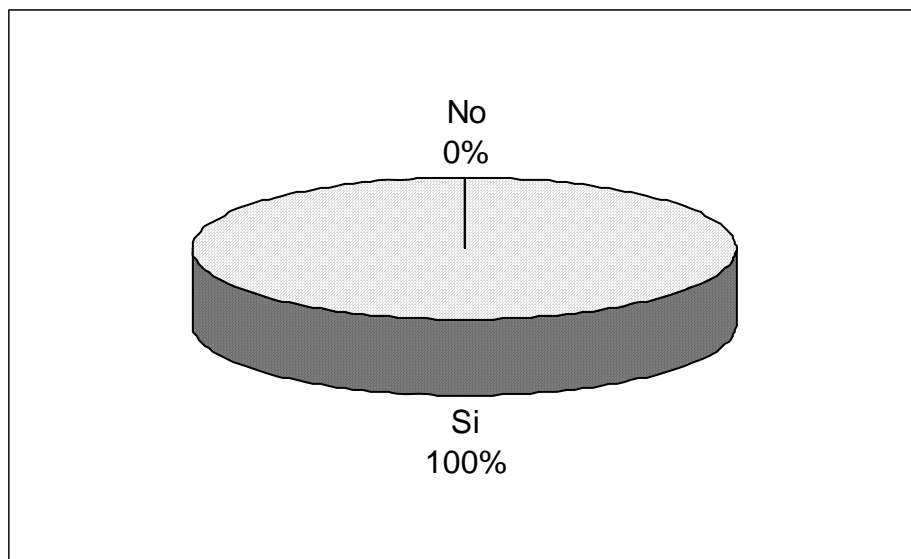


Gráfico 12. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si saben cómo calcular la capacidad de un sistema de telefonía móvil.

Fuente: Franchi, F (2006)

Los resultados indican que el 100% de los participantes afirmó que el estudio de la telefonía móvil se hace sólo de manera teórica. Lo cual da a entender que el aprendizaje de esta tópicos se basa sólo en fundamentos teóricos.

Cuadro 13.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si durante las clases relativas a la telefonía móvil ha realizado alguna actividad práctica donde participe directamente.

Durante las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, ¿ha realizado alguna actividad práctica donde usted participe directamente?	fr.	%
Si	0	0
No	20	100
Total	20	100

Fuente: Franchi, F (2006)

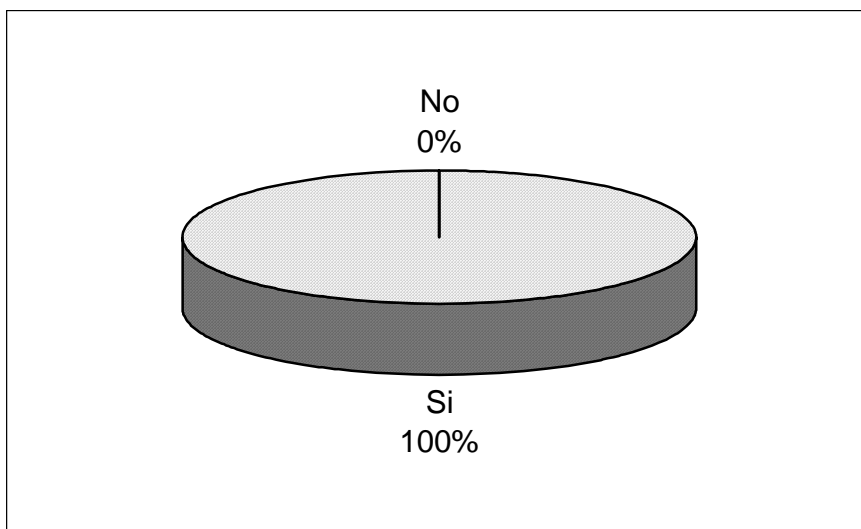


Gráfico 13. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si durante las clases relativas a la telefonía móvil ha realizado alguna actividad práctica donde participe directamente.
Fuente: Franchi, F (2006)

En el gráfico 13 se observa claramente que durante las clases relativas a la telefonía móvil el 100% de los estudiantes manifestó no haber realizado alguna actividad práctica donde participe directamente. Lo cual indica que al impartir el tópico de la telefonía móvil hay ausencia de actividades prácticas.

Cuadro 14.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le agradaría utilizar en las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en el estándar Cdma2000.

¿Le agradaría utilizar en las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en el estándar Cdma2000?	fr.	%
Si	20	100
No	0	0
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

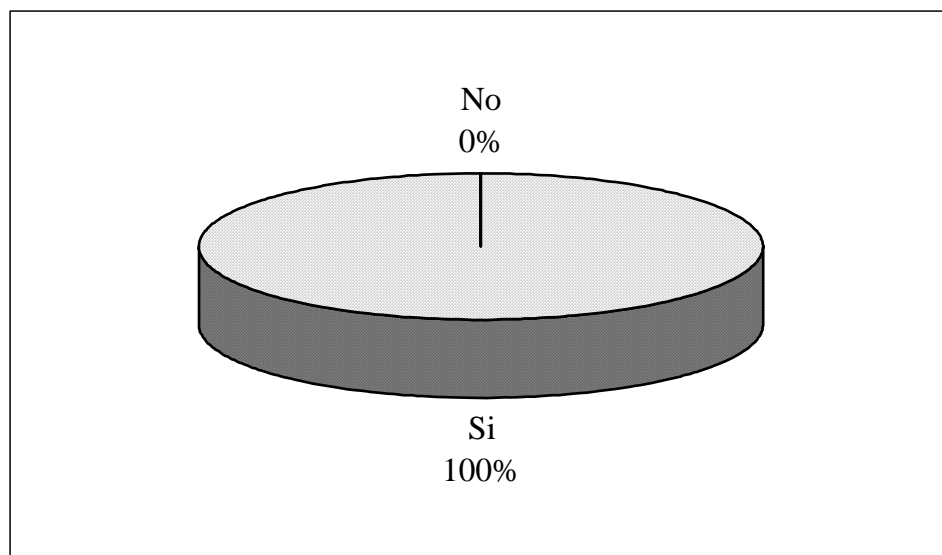


Gráfico 14. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si le agradaría utilizar en las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en el estándar Cdma2000.

Fuente: Franchi, F (2006)

Según opinión de los estudiantes entrevistados acerca de si le agradaría utilizar en las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en el estándar Cdma2000, un 100 % manifestó que sí. Esto demuestra que el uso de un recurso didáctico aumenta el interés de los estudiantes en el aprendizaje de la asignatura.

Cuadro15.

Frecuencias y porcentajes según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si considera que el uso de una aplicación que le permita observar cómo varía la cobertura y capacidad del sistema en función de las estaciones base y su configuración para un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000 mejoraría su comprensión acerca de los sistemas de telefonía móvil.

¿Considera que el uso de una aplicación que le permita observar cómo varía la cobertura y capacidad del sistema en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración para un sistema de telefonía móvil basado Cdma2000 mejoraría su comprensión acerca de los sistemas de telefonía móvil?	fr.	%
Si	20	100
No	0	0
Total	20	100

Fuente: Franchi, F. (2006)

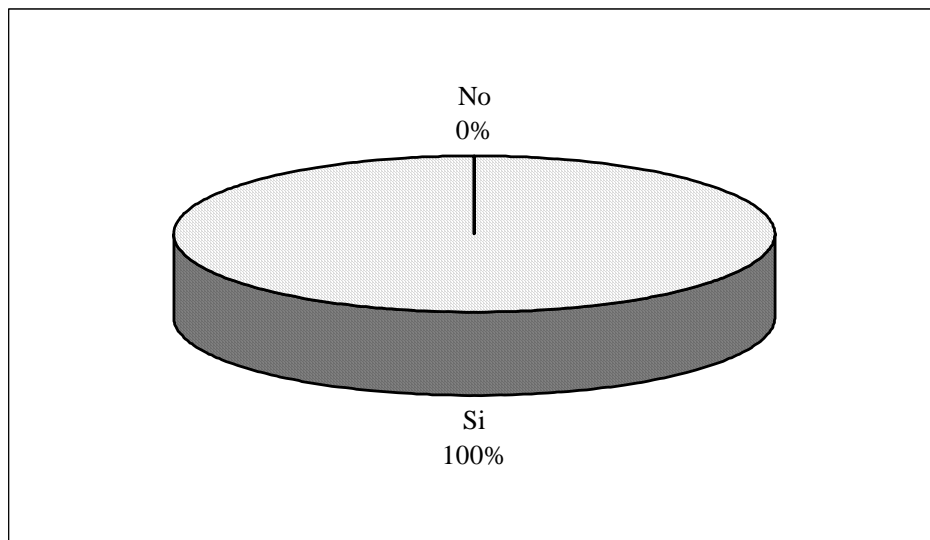


Gráfico 15. Resultados según categoría de respuesta de estudiantes acerca de si considera que el uso de una aplicación que le permita observar cómo varía la cobertura y capacidad del sistema en función de las estaciones base y su configuración para un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000 mejoraría su comprensión acerca de los sistemas de telefonía móvil.

Fuente: Franchi, F (2006)

En el gráfico 15 se observa que el 100% de los estudiantes opina que el uso de una aplicación que le permita observar cómo varía la cobertura y capacidad del sistema en

función de las estaciones base y su configuración para un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000 mejoraría su comprensión acerca de los sistemas de telefonía móvil.

Conclusiones y Recomendaciones del Diagnóstico

A través de las consultas realizadas en las entrevistas se detectó la necesidad de un recurso didáctico que permita a los estudiantes de la asignatura de Redes Inalámbricas en los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones, comprender claramente el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000. Además de esto, las entrevistas a expertos y el análisis de las fuentes documentales proporcionaron la información necesaria para entender el funcionamiento de los sistemas de telefonía móvil basados en el estándar CDMA2000, lo cual permitió llevar a cabo el desarrollo de este proyecto.

Después de realizar el diagnóstico de la situación se puede concluir que el estudio de un sistema de telefonía celular basado en CDMA2000 es considerablemente complejo, por lo cual existe la necesidad de implementar una herramienta que permita enseñar de manera clara y sencilla a los alumnos que cursan la asignatura de Redes Inalámbricas en los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones, como varía la cobertura y calidad de servicio de la red en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración, y cómo influyen estos parámetros en la prestación de servicios de voz, video y datos a los operadores y usuarios de la red móvil

Por lo tanto se recomienda el diseño de una herramienta gráfica que permita simular el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000.

Fase de Factibilidad

Factibilidad Técnica

La factibilidad técnica de un proyecto, determina si se puede desarrollar e implementar el diseño preliminar empleando la tecnología existente.

Este proyecto es factible técnicamente debido a que los dispositivos necesarios para el manejo del software son accesibles para el usuario, ya que pueden ser adquiridos fácilmente y están disponibles en cualquier empresa del área.

Los requerimientos mínimos del hardware y software se muestran en los cuadros 1 y 2 respectivamente.

Cuadro 16

Requerimientos mínimos de hardware. Año 2005.

Procesador	Pentium IV 2.8 Ghz de Velocidad
Memoria	512 Mb de Memoria RAM
Disco Duro	40 Gb
Monitor	SVGA de 14"
Teclado y Mouse	Genéricos

Fuente: Franchi, F. (2005)

Cuadro 17

Requerimientos mínimos de Software. Año 2005.

Sistema Operativo	Windows 98SE o Superior
Lenguaje de programación	Visual Basic 6.0
Manejador de Base de Datos	Microsoft Access.
Herramientas de Diseño	Photoshop./ Macromedia Flash

Fuente: Franchi, F. (2005)

Todos los requerimientos tanto de software como de hardware se encuentran disponibles en el mercado nacional, y son sustituibles y escalables, por ello, el soporte tecnológico es suficiente para poder canalizar la implementación del sistema.

Factibilidad Operativa

El proyecto se considera factible operativamente, debido a que la aplicación una vez instalada, se puede operar o manejar sin mayores dificultades, ya que dispone de un entorno gráfico amigable y de sencilla comprensión para el usuario.

La herramienta está diseñada para personas que posean conocimientos básicos de redes y telecomunicaciones, y que hayan leído previamente el manual del usuario para conocer los alcances y limitaciones del software, así como el manejo de su interfaz.

Los requerimientos mínimos de Hardware y Software para el correcto funcionamiento del sistema son los siguientes:

- Sistema Operativo Windows 98 SE o superior.
- Procesador Pentium III 600 MHz o superior.
- Mínimo 128 MB de Memoria RAM
- Monitor con Alta Resolución, Preferiblemente SVGA, mínimo de 14 pulgadas.
- Mouse y Teclado.
- 10 MB Libres de Disco Duro para la Instalación del Sistema.

Factibilidad Económica

En cuanto a la factibilidad económica, se debe verificar la disponibilidad de todos los recursos necesarios para la elaboración del proyecto los cuales se han estimado que deben ser los que se muestran en los cuadros 3, 4 y 5 respectivamente.

Los costos presentados en los cuadros esta sujetos a cambios, ya que dependen del control de cambio de la moneda Americana, y la relación de cambio tomada para Dólar/Bolívar fue el Bolívar a 2150 por cada Dólar.

Cuadro 18.
Recursos de hardware. Año 2006.

Descripción	Precio (Bs)
Mother Board Biostar Pentium 4 SOCKET 775	112.235,16
Procesador Intel P4 506 2.66/S775/1mb /533MHZ/	267.714,56
Memoria CORSAIR DDR 2 256MB/4200/533	59.578,22
Disco Duro Wester Digital IDE 80gb 7200rpm ata 100	128.892,50
Floppy Drive SONY 1.44 3.5 BLACK	15.329,29
Monitor Samsung 17" SVGA " SVG 793S/BLACK	242.950,00
Case KODE Combo P4/BLACK+KB+SP+MOU/500W/USB	104.748,00
Regulador CDP AVR 1000VA, 5 Salidas, Supresor de Picos	23.650,00
Sub- Total	955.097,73
IVA	133.713,68
Total	1.088.811,41

Fuente: Distribuidora TMV C.A (2006)

Cuadro 19
Recursos de Software. Año 2006.

Descripcion	Precio (\$)
Microsoft Windows XP Profesional Software Assurance (uso Académico)	60,00
Microsoft Visual Basic Professional Ed 6.0	485,00
Adobe Photoshop 7.0	400,00
MacroMedia Flash Pro 8.0	549.90
Microsoft Office 2003 Win32 Eng ACAD-6.0 (Uso Académico)	54,70
Total (\$)	1.549,60
Total (Bs)	3.331.640,00

Fuente: <http://www.msn.com> (2006)

Según el Colegio de Ingenieros de Venezuela (2005) el sueldo mínimo de un ingeniero es de 2.120.000,00 bolívares mensuales, por lo que una hora de trabajo tiene un valor de 8.833,33 Bs.

En el siguiente cuadro (cuadro 5) se observa el costo total de desarrollar el software según las horas de programación empleadas.

Cuadro 20
Costo de Desarrollo del Software. Año 2006.

Descripción	Cantidad (Horas)	Costo (Bs)	Costo Total de Desarrollo del Software (Bs)
Horas de Programación	100	8.333,33	833.333,00

Fuente: Franchi, F(2006)

En base a lo antes expuesto, el costo de desarrollar el proyecto se estima en cinco millones doscientos cincuenta y tres mil setecientos ochenta y cuatro con setenta y cuatro bolívares (5.253.784,74 Bs), pero cabe destacar que se dispone de los recursos de hardware y software señalados en los cuadros 3 y 4, lo que reduciría el costo de implementar el proyecto a solo ochocientos treinta y tres mil trescientos treinta y tres bolívares (833.333,00 Bs.). Por lo tanto, el proyecto se considera factible económicamente.

Fase de Diseño

La propuesta presentada tiene como finalidad desarrollar una Herramienta Gráfica que simule el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar Cdma2000, indicando cómo varía la cobertura y la capacidad del sistema en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración. Para ello fue necesario el análisis de los datos recolectados en la fase de diagnóstico y el estudio de factibilidad de la investigación. Por medio de las conclusiones obtenidas en estas fases se detectó que era necesario el desarrollo de esta herramienta para ser utilizada con propósitos académicos. También se determinó que la propuesta era factible desde el punto de vista técnico, operativo y económico.

Partiendo de lo expuesto anteriormente se presenta el desarrollo de la propuesta.

Objetivos del diseño:

1. Realizar el cronograma de actividades que se van a ejecutar.

2. Recopilar toda la información relacionada con el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000, con el fin de comprender plenamente el problema planteado.
3. Determinar los requerimientos del sistema a través del análisis de los datos recopilados, identificando las elementos, procesos y variables que están presentes en un sistema de telefonía móvil.
4. Determinar las fórmulas a utilizar para calcular la capacidad y la cobertura de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000 de acuerdo al tipo de zona geográfica y a los servicios requeridos por los usuarios.
5. Diseñar la base de datos que se utilizará para almacenar la información relacionada con la simulación.
6. Diseñar el modelo, tomando en cuenta lo elementos, procesos y variables involucrados en el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000.
7. Desarrollar cada uno de los módulos que conforman la herramienta.
8. Evaluar la herramienta, validando los resultados de la simulación.
9. Diseñar un módulo de ayuda que servirá para que los usuarios que manejen el sistema aclaren sus dudas en lo que se refiera a la manipulación y máximo aprovechamiento del sistema.
10. Desarrollar el manual del usuario.

Entre las herramientas empleadas, para la implementación de la aplicación, se tienen:

- Microsoft Visual Basic 6.0: para el desarrollo de la herramienta.
- Microsoft Access 2000: para el manejo de las bases de datos.
- Adobe Photoshop. y Macromedia Flash MX: herramientas de diseño.

CAPITULO IV

PROPUESTA DEL ESTUDIO

Herramienta gráfica que simula el comportamiento de un Sistema de Telefonía Móvil basado en el estándar CDMA2000 (Code Division Multiple Access -2000)

JUSTIFICACIÓN

Este estudio propone una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en el estándar Cdma2000, indicando como varía la cobertura, capacidad y calidad de servicio de la red en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración. Para esto se eligió la tecnología Cdma2000, ya que es el estándar de telefonía móvil que está incursionando actualmente en el mercado.

Esta aplicación proporciona a la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado un recurso didáctico innovador y a bajo costo que les permitirá a los alumnos de la asignaturas de Redes Inalámbricas de los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones crear escenarios de simulación donde podrán manipular las variables que influyen en la cobertura y capacidad de un sistema de Telefonía Móvil basado en el estándar CDMA2000. Por lo tanto, el empleo de esta herramienta de simulación les permitirá a los estudiantes comprender de una manera práctica el funcionamiento de los sistemas de telefonía celular basados en CDMA2000.

OBJETIVOS

Objetivo General

Simular el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000.

Objetivos Específicos

- Simular el hand- over a través de un escenario representativo de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA
- Proporcionar al usuario una interfaz gráfica para la creación de un escenario de simulación de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000.
- Calcular la capacidad y cobertura del sistema para un escenario de simulación dado.

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

La herramienta que se propone en este estudio tiene como objetivo principal simular el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000 tomando en consideración los diversos elementos involucrados en este tipo de sistema, tales como número de usuarios y estaciones base, distancia entre las antenas, servicios requeridos (voz, datos, video) , lo cual permite estudiar como influyen estos parámetros en la cobertura y capacidad del sistema.

La aplicación desarrollada consiste en una herramienta de entorno gráfico que permite crear un escenario de simulación variando los parámetros antes mencionados y así evaluar la capacidad del sistema.

Para realizar los estudios de capacidad, cobertura y simular el hand-over fue fundamental el estudio de los tipos de célula, y la aplicación de modelos de propagación, control de potencia, modelos de movilidad de los usuarios y de un algoritmo de decisión para los traspasos o hand-over.

El software está desarrollado en la plataforma de Microsoft Visual Basic 6.0, y el manejador de base de datos fue Microsoft Access 2000, los cuales fueron elegidos por su compatibilidad dentro de las plataformas MS Windows.

Para lograr los objetivos planteados, el software se compone de seis (6) módulos principales, los cuales se describen a continuación:

1. Módulo de Archivos:

Mediante este módulo se pueden incluir, modificar o eliminar datos de los archivos Zonas y Servicios, los cuales contienen la información del tipo de Zona Geográfica y los Servicios prestados por el sistema de telefonía móvil. En la figura 32 se muestra un ejemplo del módulo de archivos.



Fig. 32. Interfaz gráfica del módulo de archivos que permite incluir los servicios.
Fuente: Franchi, F.(2006)

2. Módulo de Simulación:

Este módulo permite crear los escenarios de simulación y obtener la cobertura y capacidad del sistema para una serie de parámetros dados.

Para llevar a cabo su objetivo, este módulo está dividido en los siguientes sub-módulos: Simular Hand- over , Crear Escenario, Ver Escenario y Guardar Escenario.

2.1. Sub-Módulo Simular Hand – Over:

Consiste en simular el hand- over a través de un escenario representativo de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA, con parámetros previamente establecidos y, que en este caso, tienen la limitación de que no pueden ser configurados por el usuario.

Como escenario representativo se han utilizado 23 células urbanas con un radio de 750 metros repartidas uniformemente en un territorio de 36 Km² (6Km x 6Km). La figura muestra un diagrama con la ubicación de las estaciones base. La célula marcada con el número 7 es la célula central, utilizada para el cálculo de todas las estadísticas. Puede observarse que el sistema consiste en dos coronas interferentes alrededor de la célula central, más unas estaciones base en los extremos para completar la cobertura (Ver Figura 33).

El modelo de propagación utilizado es el correspondiente al de las especificaciones descritas en el documento TR 25.942 2.1.3 (Release 1999) del 3GPP. Según Portilla (2004) las pérdidas medias vienen dadas por la fórmula:

$$L = 40 (1 - 4 \cdot 10^{-3} D_{hb}) \log_{10}(R) - 18 \log_{10}(D_{hb}) + 21 \log_{10}(f) + 80 \text{ dB}$$

Donde

- R es la distancia entre la estación base y el móvil, medida en metros
- f es la frecuencia portadora en Mhz.

- D_{hb} es la altura de la antena de la estación base, medida en metros, sobre la altura media de los edificios.

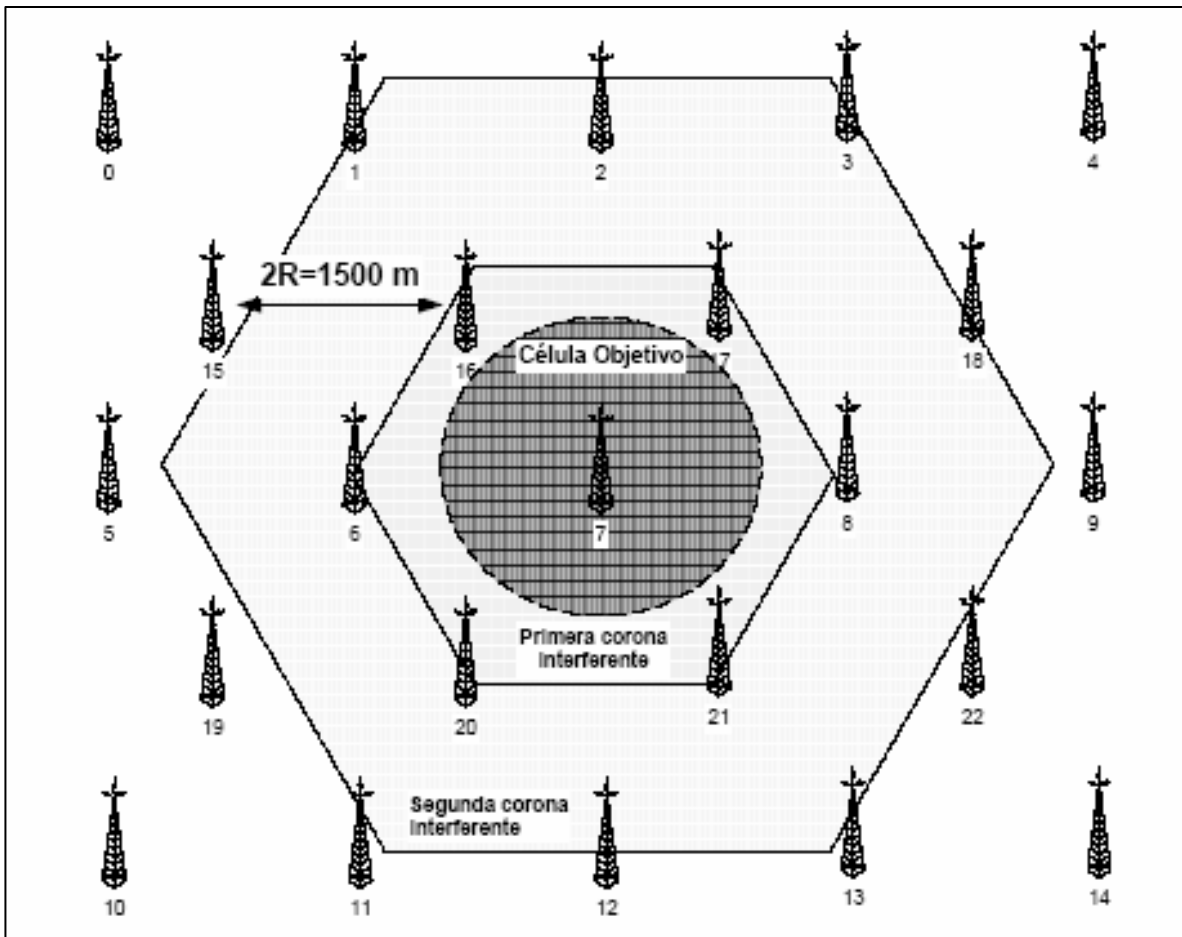


Fig 33. Entorno celular de simulación
Fuente: Gonzaga (2001)

A continuación se muestran los parámetros que se han utilizado en esta simulación:

Parámetros generales:

- Número de usuarios móviles en el sistema: 50
- Tiempo de transmisión de un paquete: 10 ms
- Número de células: 23
- Radio de las Células: 750m

- Frecuencia Portadora: 1920 Mhz.
- Figura de ruido de los equipos receptores: 5 dB.

Parámetros del control de potencia:

- Mecanismo de control de potencia para la transmisión de paquetes: Control de potencia en lazo cerrado ideal.
- Eb/N0 objetivo para la transmisión de los paquetes de datos: 3,1 dB.
- Ganancia de codificación: 7 dB.

Parámetros del mecanismo de traspaso (handover):

- Rango de potencia para efectuar los handovers: 4 dB.
- Tiempo entre actualizaciones del active set: 100 ms
- Número máximo de bases en el active set: 7.

Parámetros de las estaciones base:

- Altura de las antenas: 30 m
- Ganancia de las antenas: 11dB.
- Tipo de Antenas: Omnidireccionales.
- Potencia máxima de transmisión: 43 dBm.

Parámetros de los móviles:

- Altura de la antena: 1,5 cm.
- Ganancia antena: 0dB
- Potencia máxima de transmisión: 33 Dbm
- Distancia mínima móvil – base: 15 m
- Velocidad de movimiento: 5,5 m/s
- Tiempo entre verificaciones de cambio de dirección: 70ms
- Probabilidad de cambio de dirección: 0,4
- Rango de variación del ángulo cuando se cambia la dirección: -45° a 45°

En la siguiente figura (fig 34) se muestra el funcionamiento del módulo de simulación del hand-over en un momento dado.



Fig. 34. Ejemplo de Simulación del Hand-over
Fuente: Franchi, F.(2006)

2.2. Sub-modulo Crear Escenario

Es aquí, donde el usuario puede crear un escenario de simulación indicando el valor de los siguientes parámetros:

- **Tipo de Zona Geográfica:** Está relacionada con el tipo de celda que puede ser: Macrocelda (radio mayor a 600 m), Microcelda (radio entre 120m y 600 m) o Picocelda (radio menor a 120m).
- **Servicios:** permite elegir si soporta servicio de Voz, Datos o ambos.

- **Número de células:** permite elegir la cantidad de celdas presentes en la simulación.
- **Número de usuarios móviles:** cantidad de usuarios en el sistema y por estación base.

Además de las variables mencionadas anteriormente, se asume que las antenas son omnidireccionales.

El escenario de simulación cuenta con los siguientes valores por defecto según las especificaciones del 3GPP(Release 99):

- **Velocidad de Chip:** 3,84 Mchips.
- **Frecuencia de la portadora para la transmisión FDD:** 5Mhz.
- **Banda del enlace ascendente:** 1950 Mhz.
- **Potencia máxima de emisión de los terminales móviles (dBm):** 33dBm
- **Potencia mínima de emisión de los terminales móviles (dBm):** -44dBm
- **Máxima velocidad de transmisión de datos:** 2048 kbps
- **Requerimientos para el servicio de voz:** 8kps
- **Requerimiento para el servicio de datos:** 144kbps y 384kbps.

Una vez definidos todos los parámetros el programa calcula la capacidad y la cobertura del sistema de manera separada para el enlace ascendente (transmisión móvil – estación base) basándose en las ecuaciones para el cálculo de la capacidad y la cobertura mencionadas en las bases teóricas.

A continuación se muestra un escenario de simulación creado por el usuario antes del calculo de la capacidad del sistema (ver Fig. 35) y después del calcular el factor de carga de la red móvil (ver Fig. 36).

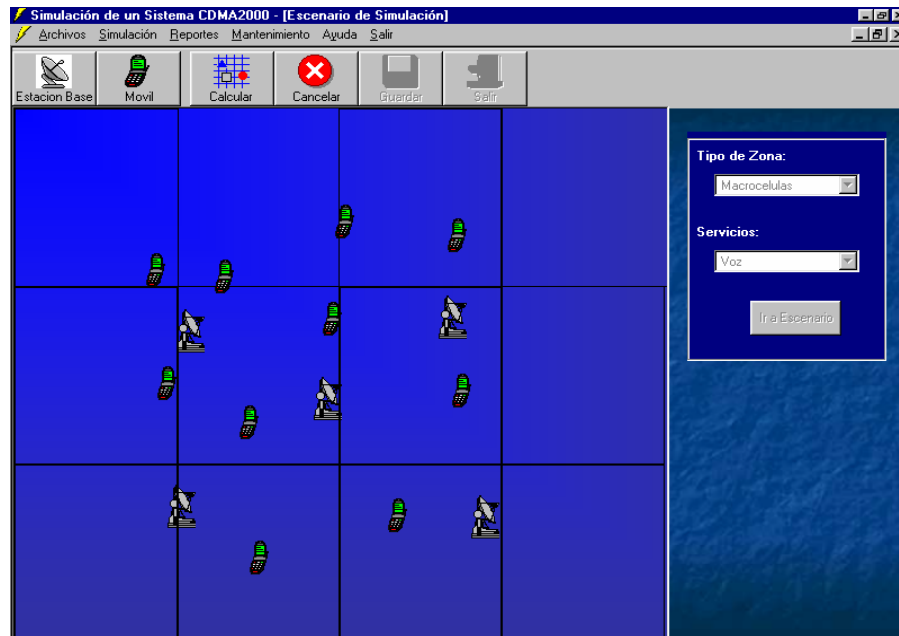


Fig. 35. Ejemplo de un escenario de simulación creado por el usuario.
Fuente: Franchi, F.(2006)

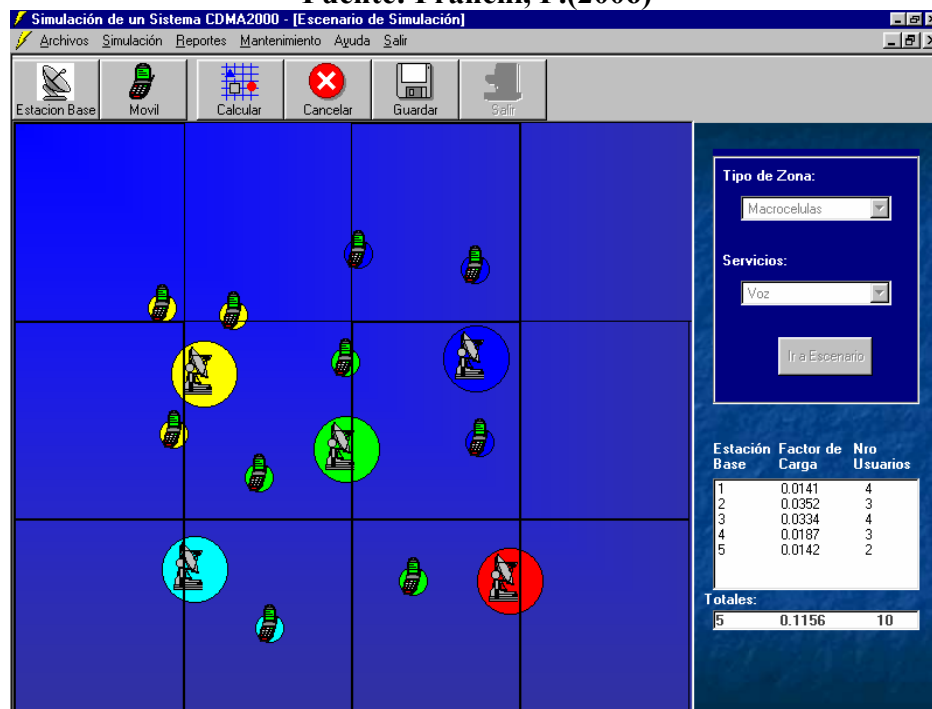


Fig. 36. Ejemplo de un escenario de simulación creado por el usuario y cálculo del factor de carga del sistema
Fuente: Franchi, F.(2006)

2.3. Sub-módulo Ver Escenario

La función de este sub-módulo es proporcionar al usuario la opción de ver un escenario de simulación creado y guardado anteriormente.

En la figura 37 se muestra la ventana donde el usuario podrá seleccionar el escenario que desea ver.



Codigo	Estandar	Servicio	Zona	Usuario	Fecha
1	CDMA2000	Voz	Macrocelula	Francis	06/05/20
2	CDMA2000	Datos	Picoceldas	Francis	06/05/20
3	CDMA2000	Voz y Datos	Microceldas	Francis	06/05/20
4	CDMA2000	Voz	Macrocelula	Francis	06/05/20

**Fig, 37. Ventana donde el usuario selecciona el escenario que desea ver.
Fuente: Franchi, F.(2006)**

2.4. Sub-módulo Guardar Escenario

Permite guardar un escenario de simulación para ser consultado posteriormente a través del sub-módulo “Ver Escenario”.

3. Módulo de Reportes :

Muestra de manera resumida los resultados de los cálculos realizados por el software durante la simulación, como son las especificaciones de tipo de zona, servicio, numero de células y número de usuarios móviles con el fin de proporcionarle al usuario la información necesaria para evaluar las diferencias presentes en los diversos escenarios de simulación.

Para el diseño de los reportes se utilizó Crystal Reports 9.2, ya que permite crear formatos relacionados con la base de datos para visualización, exportación o impresión. Además proporciona la ventaja de que al utilizarlo se pueden importar los datos a un programa de hojas de cálculo como Excel y así poder realizar gráficos comparativos.

En la figura 38 se muestra un reporte generado por el sistema.

Escenario Nro:	Estándar	Servicio	Zona	Fecha de Creación
1	CDMA2000	Voz	Macrocelulas 600 m	05/05/2008

Estación Base	Nro de Usuarios	Factor de Carga	Carga
1	5	0.07	
2	2	0.02	
3	3	0.07	
Totales:	3	10	0.17

Escenario Nro:	Estándar	Servicio	Zona	Fecha de Creación
2	CDMA2000	Voz	Macrocelulas 600 m	05/05/2008

Estación Base	Nro de Usuarios	Factor de Carga	Carga
1	2	0.02	
2	1	0.02	
Totales:	2	3	0.04

Total Escenarios:	2
--------------------------	----------

**Fig. 38. Ejemplo de un reporte generado por el sistema.
Fuente: Franchi, F.(2006)**

4. Módulo de Mantenimiento:

Permite realizar las tareas de mantenimiento y configuración del sistema, se divide en dos (2) sub-módulos:

4.1. Sub-módulo Actualizar Usuarios:

En este sub-módulo el administrador del sistema puede incluir, modificar, asignar ó quitar restricción a los usuarios de los módulos. Además, cada usuario tiene la opción de cambiar su contraseña de acceso al programa.

A continuación (ver fig. 39) se muestra la interfaz gráfica del sub-módulo actualizar usuarios:

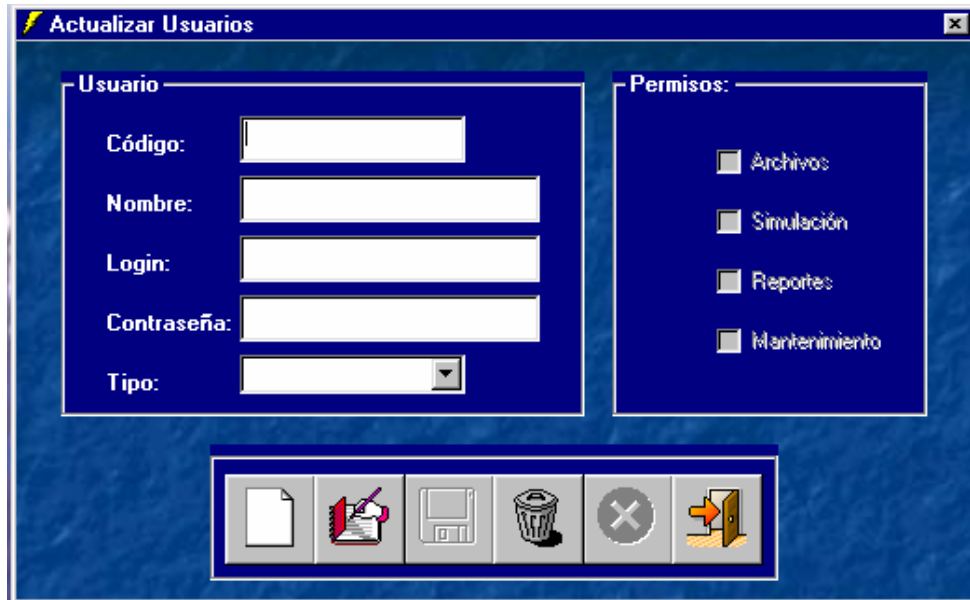


Fig. 39. Interfaz gráfica del sub-módulo actualizar usuarios.

Fuente: Franchi, F.(2006)

4.2. Sub-módulo Configurar Parámetros:

Cada Escenario de simulación tiene definidos una serie de parámetros siendo algunos de ellos configurables o modificables por el usuario. En este módulo se pueden cambiar los valores del tipo de zona geográfica y el tipo de servicio a modelar, así como también las medidas de velocidad de chip, Frecuencia de la portadora, banda del enlace ascendente, potencias máxima y mínima de emisión de los terminales móviles y la máxima velocidad de transmisión de datos.

En este caso, solo el administrador puede realizar estos cambios, tomando en cuenta que existe un estándar que establece el rango de valores a utilizar para los sistemas CDMA

En el siguiente cuadro (ver cuadro 21) se indican los rangos de valores a utilizar para un sistema de telefonía móvil basado en el estándar Cdma2000.

Cuadro 21.
Parámetros principales de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar Cdma2000.

Descripción del Parámetro	Rangos establecidos
Velocidad de Chip	3,84Mchips – 4,096Mchips
Frecuencia de la portadora	1920Mhz – 1950 Mhz
Banda del enlace ascendente	1,25 - 2,50 - 3,75 - 5 Mhz
Potencia máxima del trasmisor	21, 24,27, 30, 33 dBm
Potencia mínima del transmisor	Hasta -44 dBm
Velocidad de Transmisión	12,2 – 16 – 64 – 144 –384 y 2048 kbps

Fuente: Preciado,L. (2000)

La figura 40 muestra la interfaz gráfica del sub-módulo configurar parámetros.

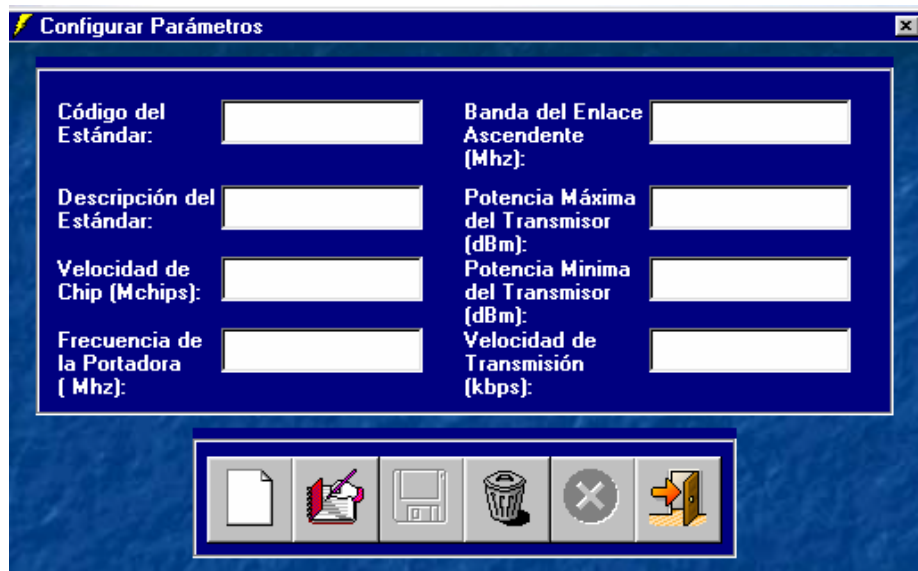


Fig. 40. Interfaz gráfica del sub-módulo configurar parámetros.
Fuente: Franchi, F.(2006)

5. Módulo de Ayuda:

Como su nombre lo indica, está diseñado con el objetivo de proporcionar al usuario la información necesaria para manipular el sistema y familiarizarse con los procedimientos necesarios para realizar la simulación.

En la figura 41 se observa un ejemplo del módulo de ayuda.

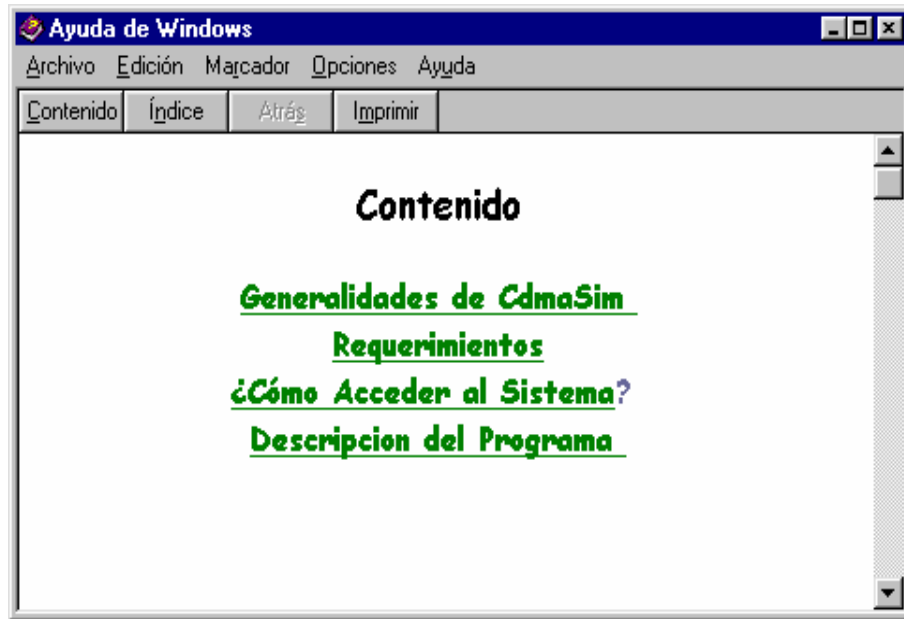


Fig. 41. Ejemplo del módulo de ayuda.

Fuente: Franchi, F.(2006)

6. Modulo Salir:

Corresponde a la opción de cerrar por completo el sistema o salir de la aplicación.

Estructura del Sistema

El software está compuesto por seis (6) módulos principales: Archivos, Simulación, Reportes, Mantenimiento, Ayuda y Salir. En la figura 42 se muestra la carta estructurada del sistema y en la figura 43 se puede observar el diagrama de flujo que representa el sistema.

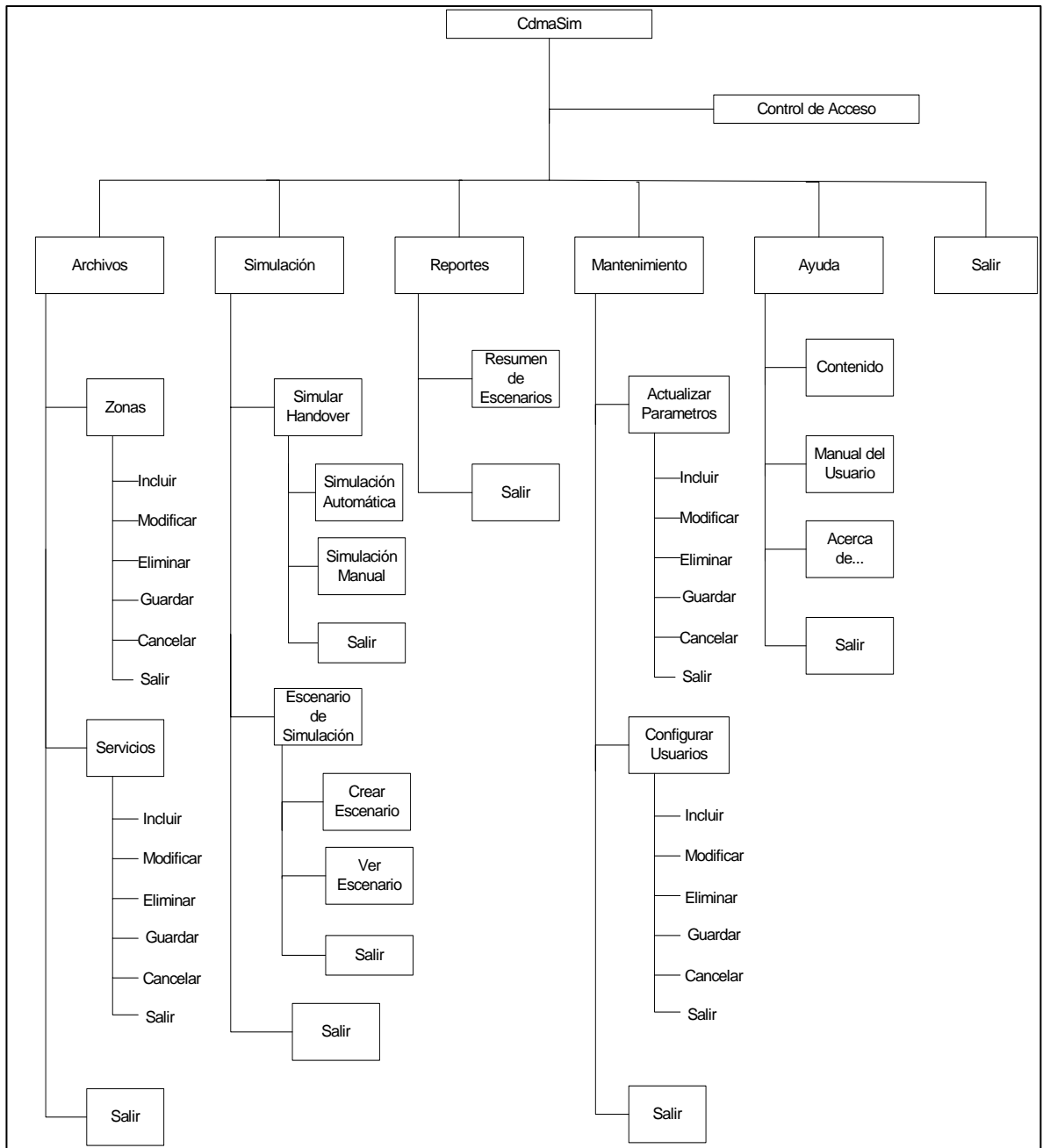


Fig. 42. Carta Estructurada del Sistema
Fuente: Franchi, F.(2006)

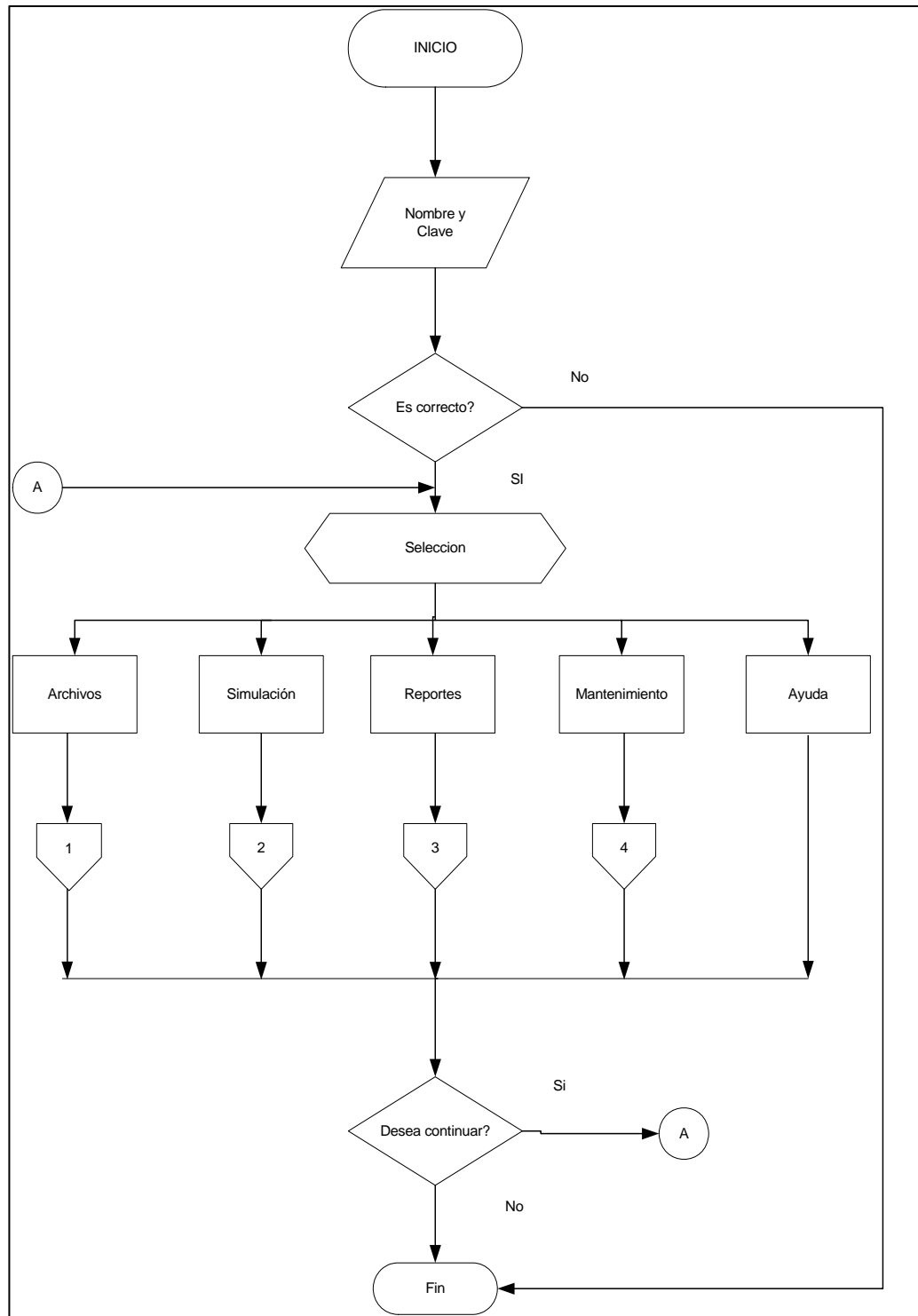


Fig. 43. Diagrama de Flujo del Sistema
Fuente: Franchi (2006)

A continuación (ver fig.44) se muestra el diagrama de flujo para el módulo de archivos:

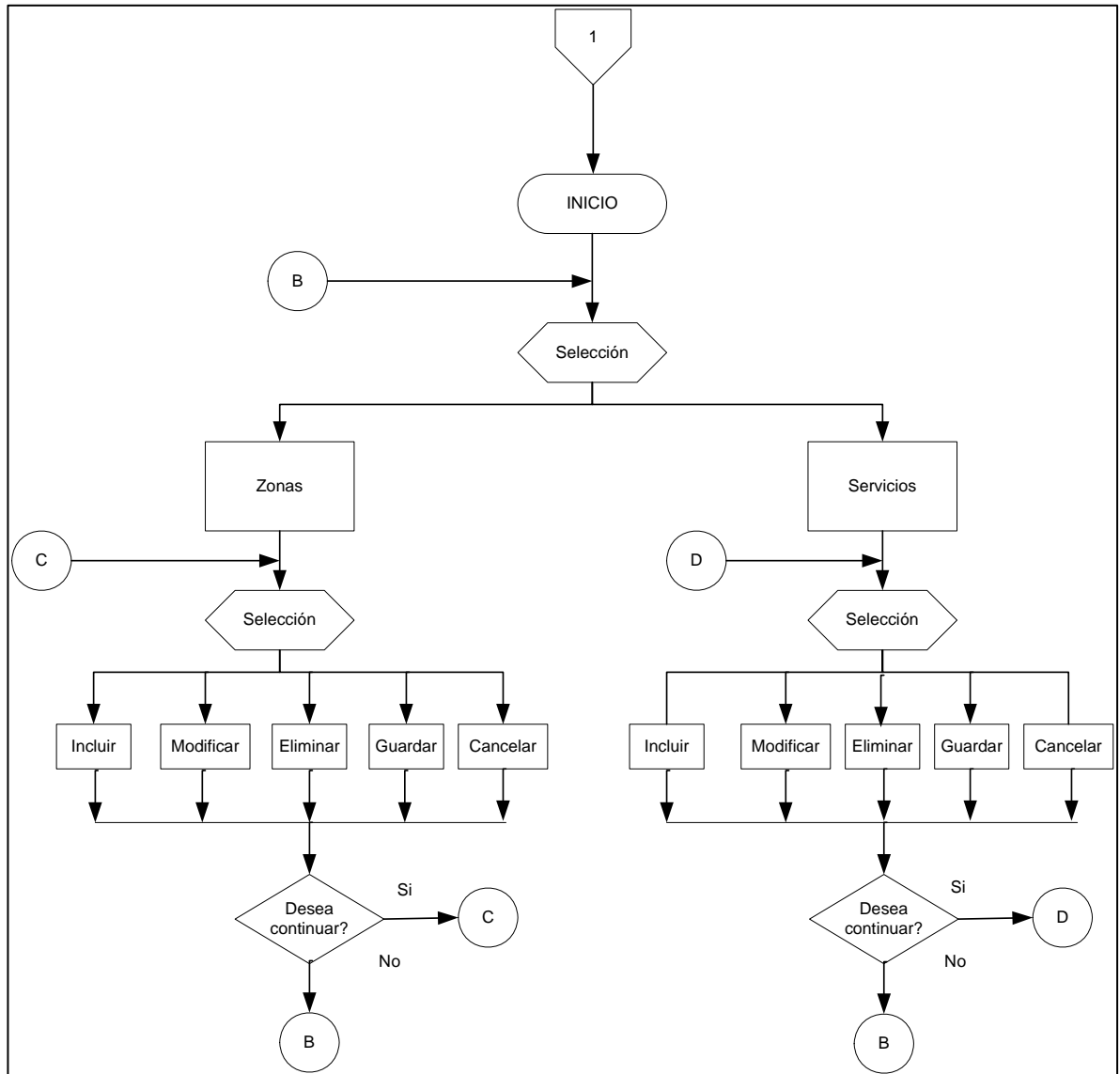


Fig. 44. Diagrama de Flujo del Módulo archivos.
Fuente: Franchi (2006)

La figura 45 muestra el diagrama de flujo para el módulo de simulación:

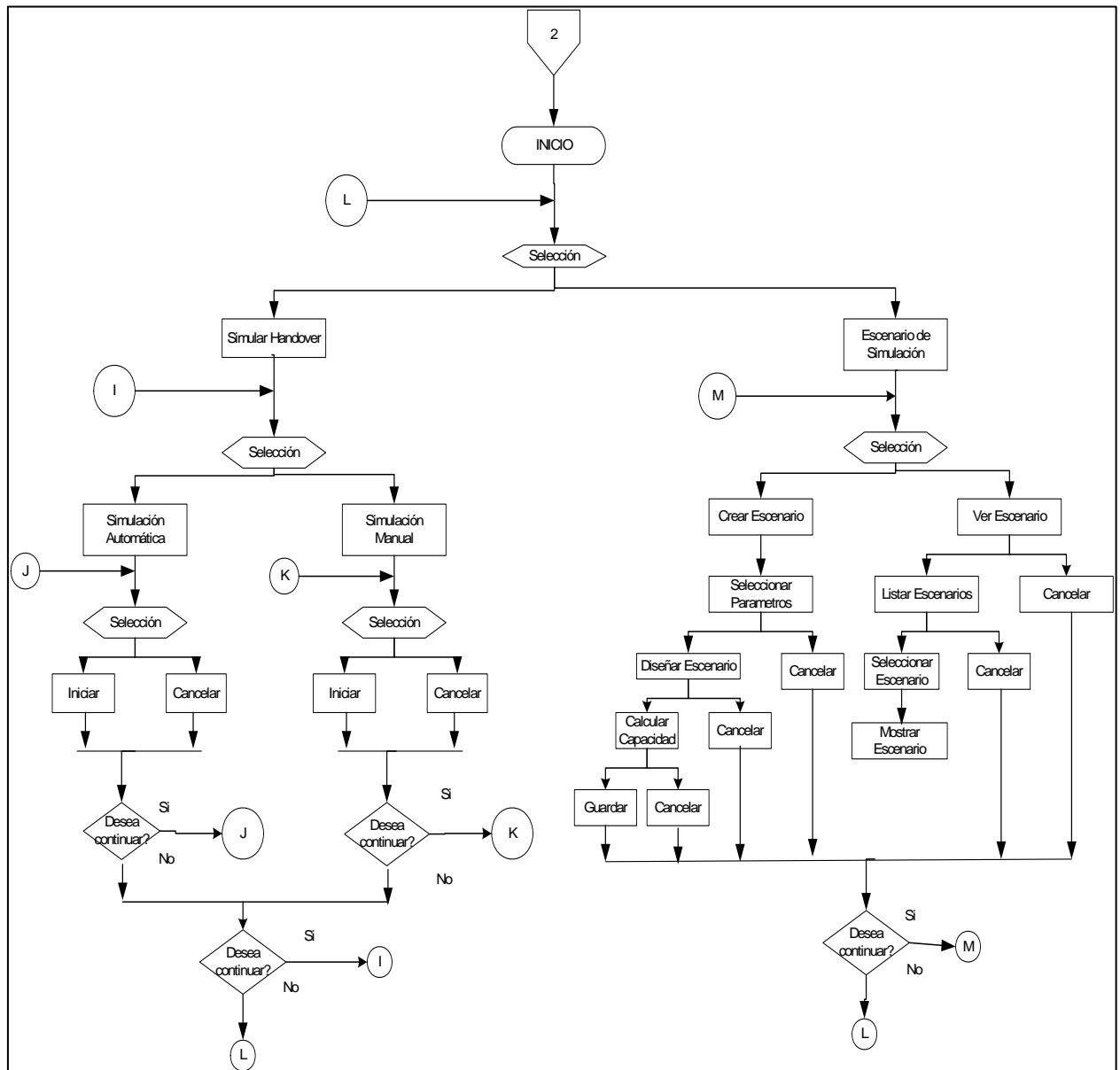


Fig. 45. Diagrama de Flujo para el módulo de simulación
Fuente: Franchi (2006)

La siguiente figura (ver figura 46) muestra el diagrama de flujo para el módulo reportes.

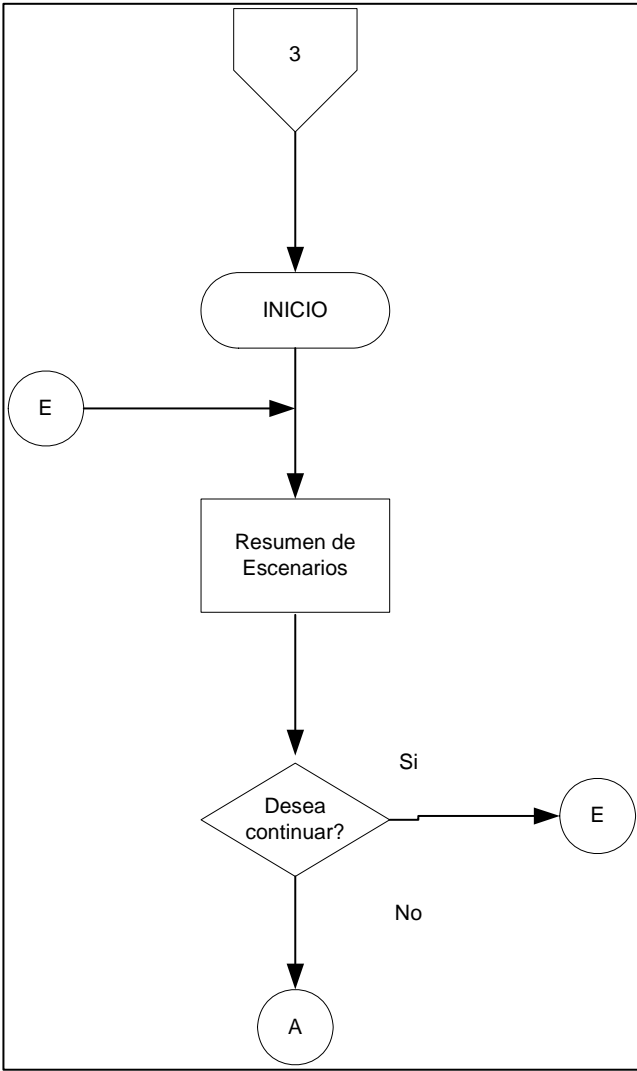


Fig. 46. Diagrama de Flujo para el Módulo Reportes
Fuente: Franchi (2006)

A continuación se muestra (ver figura 47) el diagrama de flujo para el módulo de mantenimiento:

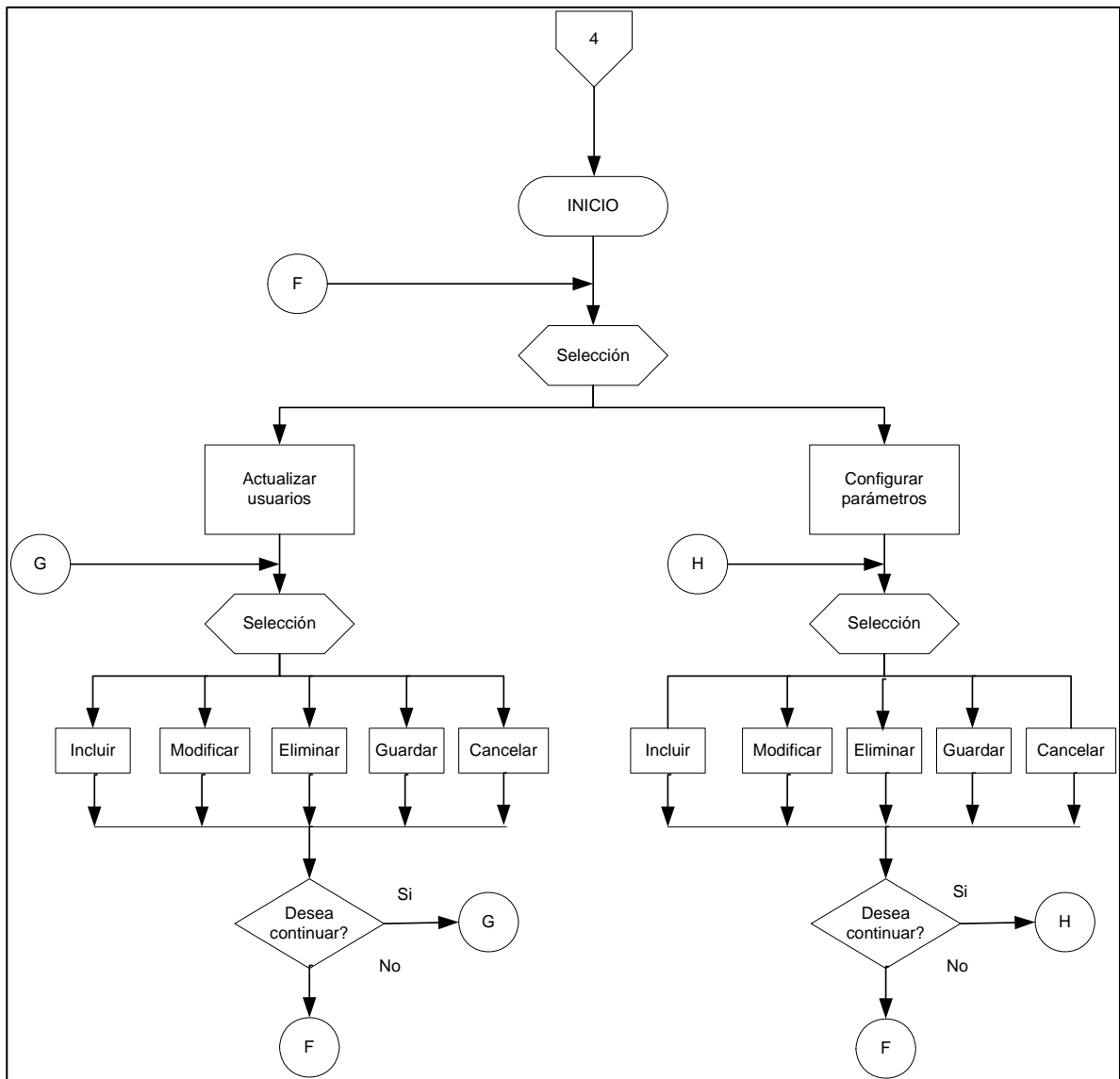


Fig. 47. Diagrama de Flujo para el módulo de Mantenimiento.
Fuente: Franchi (2006)

Descripción de la Base de Datos

La Base de Datos del Sistema está diseñada en MsAccess 2000 y está conformada por las siguientes tablas:

Cuadro 22
Tabla Mst Escen. Año 2006.

Mst_Escen				
Campo	Clave	Tipo	Longitud (Bytes)	Descripción
Cod_Esc	Si	Texto	4	Campo clave o identificador, se utiliza para identificar un escenario de simulación
Cod_Zon	No	Texto	4	Corresponde al código de la zona geográfica utilizada en ese escenario de simulación.
Cod_Ser	No	Texto	4	Corresponde al código del servicio considerado en ese escenario de simulación.
Cod_Est	No	Texto	4	Corresponde al código del estándar que indica los parámetros utilizados en ese escenario de simulación.
Esc_Cap	No	Numérico	4	Capacidad del Sistema calculada para ese escenario de simulación
Esc_Cob	No	Numérico	4	Cobertura del Sistema calculada para ese escenario de simulación
Fec_Esc	No	Fecha	10	Fecha de la última modificación.
Cod_Usu	No	Texto	4	Identificador del usuario que creó este escenario de simulación.

Fuente: Franchi, F. (2006)

Cuadro 23
Tabla Mst Zonas. Año 2006.

Mst_Zonas				
Campo	Clave	Tipo	Longitud (Bytes)	Descripción
Cod_Zon	Si	Texto	4	Campo clave o identificador, se utiliza para identificar una zona geográfica
Des_Zon	No	Texto	20	Descripción de la Zona Geográfica
Dia_Zon	No	Numérico	4	Diámetro correspondiente a la zona geográfica

Fuente: Franchi, F. (2006)

Cuadro 24
Tabla Tbl_Escen. Año 2006.

Tbl_Escen				
Campo	Clave	Tipo	Longitud (Bytes)	Descripción
Cod_Esc	Si	Texto	4	Campo clave o identificador, se utiliza para identificar un escenario de simulación
Nro_EB	Si	Texto	4	Identificador de la estación base utilizada en ese escenario de simulación.
Pos_X	No	Numérico	4	Corresponde a la ubicación horizontal de la estación base
Pos_Y	No	Numérico	4	Corresponde a la ubicación vertical de la estación base
Nro_Usu	No	Numérico	4	Número de usuarios asignados a esa estación base.
EB_Cap	No	Numérico	4	Capacidad de la estación base.
EB_Cob	No	Numérico	4	Cobertura correspondiente a esa estación base.

Fuente: Franchi, F. (2006)

Cuadro 25
Tabla Mst_Estan. Año 2006.

Mst_Estan				
Campo	Clave	Tipo	Longitud (Bytes)	Descripción
Cod_Est	Si	Texto	4	Campo clave o identificador, se utiliza para identificar un estándar
Des_Est	No	Texto	20	Descripción del Estándar
Vel_Chi	No	Numérico	4	Velocidad de Chip correspondiente al estándar.
Fre_Por	No	Numérico	4	Frecuencia de la portadora correspondiente al estándar
Ban_Enl	No	Numérico	4	Banda del enlace de la portadora
Pot_Max	No	Numérico	4	Potencia Máxima del terminal móvil
Pot_Min	No	Numérico	4	Potencia Mínima del terminal móvil.
Vel_Tra	No	Númerico	4	Velocidad máxima de transmisión

Fuente: Franchi, F. (2006)

Cuadro 26
Tabla Mst_Servi. Año 2006.

Mst_Servi				
Campo	Clave	Tipo	Longitud (Bytes)	Descripción
Cod_Ser	Si	Texto	4	Campo clave o identificador, se utiliza para identificar un tipo de servicio
Des_Ser	No	Texto	20	Descripción del Servicio
Req_Ser	No	Numérico	4	Requerimiento en kbps correspondiente al servicio.

Fuente: Franchi, F. (2006)

Cuadro 27
Tabla Mst_Usu. Año 2006.

Mst_Usu				
Campo	Clave	Tipo	Longitud (Bytes)	Descripción
Cod_Usu	Si	Texto	4	Campo clave o identificador, se utiliza para identificar un usuario a través de un número.
Nom_Usu	No	Texto	30	Corresponde al Nombre del usuario
Log_Usu	No	Texto	20	Corresponde al Nombre con el cual el usuario accede al sistema.
Cla_Usu	No	Texto	10	Corresponde a la clave con el cual el usuario accede al sistema.
Tip_Usu	No	Texto	10	Hace referencia si es un usuario o un administrador
Per_Sim	No	Bolean	1	Indica si el usuario tiene acceso al modulo simulación o no
Per_Rep	No	Bolean	1	Indica si el usuario tiene acceso al modulo reportes o no
Per_Man	No	Bolean	1	Indica si el usuario tiene acceso al modulo mantenimiento o no
Per_Arc	No	Bolean	1	Indica si el usuario tiene acceso al modulo Archivos o no

Fuente: Franchi, F. (2006)

En la Figura 48 podemos observar la estructura de la Base de Datos:

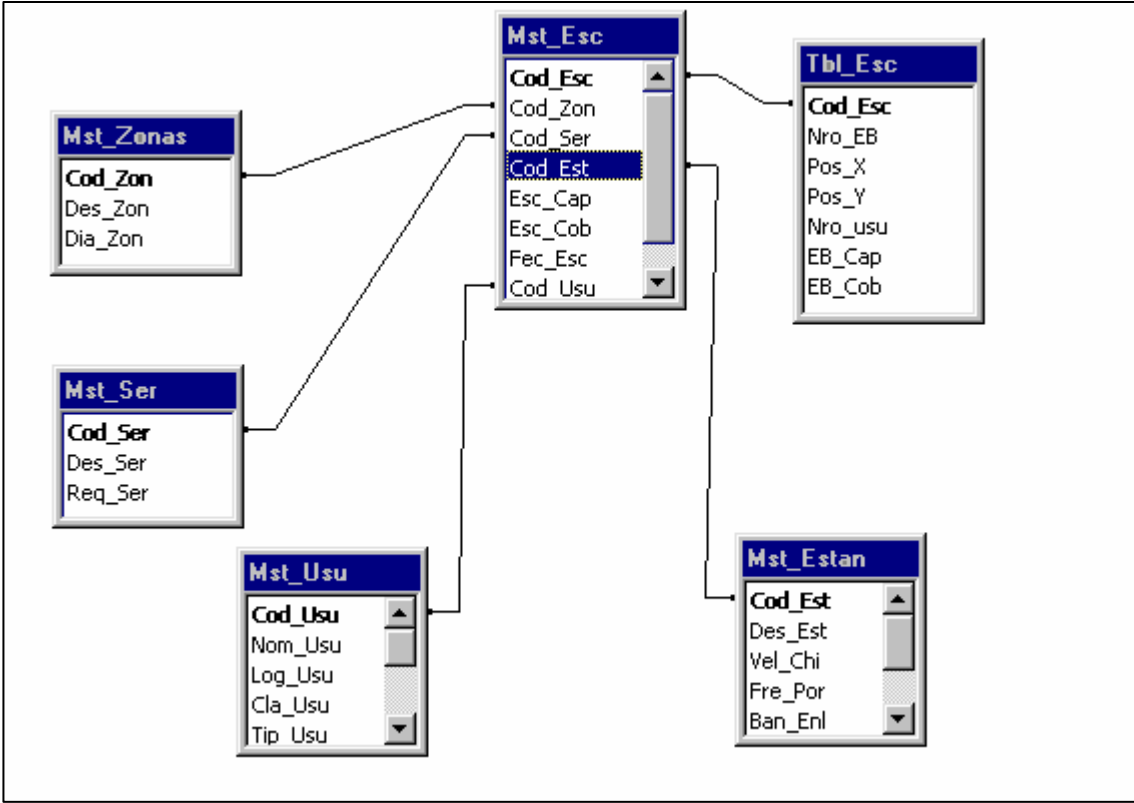


Fig. 48. Estructura de la Base de Datos
Fuente: Franchi, F (2006)

CAPITULO V

CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto se considera un aporte valioso, en primer lugar porque su realización proporciona a la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado un recurso didáctico de gran utilidad para el proceso de enseñanza aprendizaje en la asignatura de Redes Inalámbricas de los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones. Y en segundo lugar, porque su desarrollo permitió el estudio y análisis del comportamiento de los sistemas de telefonía móvil basados en el estándar CDMA y por ende, profundizar en el conocimiento de este tema por demás interesante e innovador.

Mediante el presente estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los sistemas basados en el estándar CDMA2000 poseen una serie de ventajas que incluyen: mayor capacidad, mejor calidad de voz, disminución del número de llamadas interrumpidas en traspasos y la posibilidad de compartir la banda con otros sistemas.
- En estos sistemas, existe una fuerte interrelación entre la capacidad y la cobertura. Esta situación se debe a que la capacidad de estos sistemas se encuentra limitada por interferencia, que a su vez limita la cobertura.
- En este tipo de sistemas es necesario realizar el control de potencia debido al efecto cerca- lejos, por el cual, si todos los usuarios utilizarán la misma potencia, las señales de los emisores más cercanos llegarían a la estación base con más potencia que la de los lejanos, quedando estas últimas enmascaradas.
- Debido a que el radio celular no está limitado por geometría o propagación, sino fundamentalmente por capacidad, al aumentar la carga disminuye el

radio celular y viceversa. Por lo tanto, el número de usuarios y estaciones base en el sistema influyen en la capacidad del mismo.

- En la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” existe la necesidad de un recurso didáctico que permita a los estudiantes de la asignatura de Redes Inalámbricas en los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones, comprender claramente el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000.
- El software desarrollado proporciona una herramienta práctica que ofrece por medio de la simulación una abstracción del comportamiento de estos sistemas. Esta aplicación podrá ser utilizada con fines didácticos en las clases de la asignatura de Redes Inalámbricas contemplada en los programas de Maestría en Ciencias de la Computación, mención Redes de Computadoras, y la Especialización en Tecnología de la Información y Comunicaciones para ayudar a los participantes a comprender claramente el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil basado en el estándar CDMA2000.

RECOMENDACIONES

Con la intención de mejorar y dar una mayor funcionalidad al presente trabajo se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Implementar el módulo para el cálculo de la capacidad y cobertura correspondiente al enlace descendente.
2. Optimizar el módulo de simulación de hand-over para que trabaje con parámetros variables en cuanto al número y tamaño de las células y cantidad de usuarios
3. Considerar el factor de carga de cada una de las estaciones base en el algoritmo de hand-over utilizado para el cálculo del active set.
4. Tomar en cuenta para la simulación las condiciones geográficas en la transmisión de la señal.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta, D. 1999. Introducción a las Comunicaciones Móviles. URL: <http://www.internet-solutions.com.co/deacosta/commov/autor.html>. (Consulta: Diciembre 2005).
- Atdi comunicaciones. 2006. Página web. URL: <http://www.atdi.es>. Consulta (Marzo 2006).
- Ballestero, M. 2002. Evolución de la Telefonía móvil en el mercado de las Telecomunicaciones. URL: http://www.n-conomia.com/informes_documentos/ALERTA_NE_08-2002.PDF. Consulta (Noviembre 2005).
- Bavaresco, A. 1994. Las Técnicas de la Investigación: Manual para la elaboración de tesis, monografías, informes. South-Western Pub., Co., Cincinnati, U.S.A.
- Bettstetter, C. 1999. GSM Phase 2+. General Packet Radio Service GPRS: Architecture, Protocols and Air Interface. URL: <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>. Consulta (Noviembre 2005).
- Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV). 2005. Tabulador de Sueldos y Salarios. URL: <http://www.civ.org.ve>. (Consulta: Marzo 2006)
- Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). 2005. Estadísticas de Telecomunicaciones. Principales resultados al III trimestre del 2005. URL: <http://www.conatel.gov.ve>. (Consulta: Diciembre 2005).
- Dyson, P. 1996. Diccionario de Redes. Mc Graw Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Fonseca, H. 2003. Software de Simulación que determina la línea de vista entre dos antenas direccionales para la ciudad de Barquisimeto, Estado Lara. Trabajo de Grado. Universidad Fermín Toro (UFT). Cabudare, Lara.
- Frech, A. 2000. Perspectiva de las Comunicaciones Móviles. URL: <http://www.tid.es/html/publicaciones.html>. (Consulta: Noviembre 2005).

- García, A. Y otros. 2001. Diseño de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio. URL: <http://greco.dit.upm.es/~abgarcia/publications/2002CITA.pdf>. (Consulta: Octubre 2005).
- Gómez y Otros. 2002. Comunicación Inalámbrica. URL: <http://www.monografias.com/trabajos16/comunicacioninalambrica/comunicacion-inalambrica.shtml>. (Consulta: Noviembre 2005).
- Hernández y Otros. 2003. Metodología de la Investigación. McGraw- Hill. México D.F.
- Herrera, F. 2001. Panorámica Actual de la estandarización de los sistemas celulares de tercera generación. URL: http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_5.pdf. (Consulta: Noviembre 2005)
- International Engineering Consortium (IEC). 2000. Billing in a 3G environment. URL: <http://www.iec.org>. (Consulta: Diciembre 2005).
- Lorca, F y Barandalla. 2002. Nuevas técnicas para la planificación y dimensionamiento de la red radio. URL: http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_7.pdf. (Consulta: Noviembre 2005)
- Moreno, J. Y otros. 2002. Simulador de Enlaces para el Sistema UMTS en modo FDD. Proyecto de Investigación para Telefónica Móviles de España. Madrid URL: <http://www.telefonica.es/> (Consulta: Noviembre 2005)
- Portilla, J.2004. Contribución al Diseño de Redes Móviles de 3ra Generación con Tecnología CDMA. Cantabria. España
- Preciado, L.2000. Simulación de Sistemas de Comunicaciones Personales de Tercera Generación basados en CDMA. Trabajo de Grado. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Madrid, España.
- Revista Red. CDMA (Acceso Múltiple por división de Código). URL: http://www.itlp.edu.mx/publica/revistas/revista_isc/actual/cdma.htm. (Consulta: Diciembre 2005)

- Salkind, N. 1999. Métodos de Investigación. Tercera edición. Ediciones Prentice May. México
- Spinthal Norman, A. 1996. Psicología de la Educación. McGraw Hill. Madrid, España.
- Tamayo, Mario. 1998. El Proceso de la Investigación Científica.
- Telefónica Móvil. 2002. Evolución de las comunicaciones hacia la movilidad. URL:
http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_2.pdf. (Consulta: Diciembre 2005)
- Telefónica Móvil. 2002. Descripción de los sistemas actuales. *http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/movilidad/capitulo_3.pdf*. (Consulta: Enero 2006).
- Union Internacional de Telecomunicaciones (UIT). 2004. URL: *http://www.itu.int/home/index-es.html*. (Consulta: Enero 2006).
- Union Internacional de Telecomunicaciones (UIT). 2004. URL: *http://www.itu.int/osg/spu/publications/portableinternet/ExecSummFinal2.pdf* (Consulta: Enero 2006)
- Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” (UCLA). 2003. Manual para la presentación de Trabajo de Grado conducente al grado académico de Especialización, Maestría, Doctorado. Dirección de Postgrado, UCLA. Barquisimeto.
- Vejarano, G. 2003. Simulación de la capa física para sistemas de comunicaciones móviles Cdma2000 1x (Estándar Tia/Eia/Is-2000.2-C). Trabajo de Grado. Universidad del Valle, Calí, Colombia.
- Vera, A. 2003. Sistemas Celulares de Tercera Generación. URL: *http://www.monografias.com/trabajos15/telefonía-celular/telefonía-celular.shtml*. (Consulta: Diciembre 2005)

ANEXOS

ANEXO A
CURRÍCULUM VITAE DEL AUTOR

Curriculum Vitae del Autor

Francis Delis Franchi Paredes

*Cursante del Postgrado en Ciencias de la Computación Mención Redes de Computadoras de la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado”. Nació en Barquisimeto, Edo. Lara, el 22 de Mayo de 1974. Realizo estudios de Educación Primaria en la Escuela “Ezequiel Bujanda” en Cabudare, Venezuela., durante el periodo 1981-1986. Continuo estudios de Educación Secundaria en el Liceo “Jacinto Lara” en Cabudare, Venezuela, por el periodo 1986-1991 donde obtiene el titulo de **Bachiller en Ciencias**. Posteriormente inicia su carrera universitaria en la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” en Barquisimeto, Venezuela., por el periodo 1992-1998. Allí obtiene el titulo de **Ingeniero en Informática**. Ha realizado diversos cursos: Capacitación Pedagógica para Profesionales no Docentes. Año 2003, Inglés Conversacional. Año 2003, Web Master. Año 2002. Flash 5.0 Año: 2001. Técnico Especialista en Redes Novell y Windows NT. Año 1999. Practicing Object-Oriented Analysis and Design (VMS-IBM) VMT Methodology-IBM. Año1997, entre otros. Posee experiencia Laboral en diferentes áreas entre las cuales están: **Administrador de Red y Soporte a Usuario**. Farmacia Larense C.A. Barquisimeto - Edo. Lara. Julio 2005 – Actual, **Docente de las Asignaturas Telecomunicaciones, Sistemas Operativos e Informática I**. Instituto Universitario de Tecnología Rodolfo Loero Arismendi – IUTIRLA. Agosto 2004 – Actual , **Docente de las Asignaturas Estructuras de Datos I y II**, Universidad “Fermín Toro”. Cabudare - Edo. Lara. Abril 2000 – Julio 2004, **Administrador de Base de Datos**. UCER- Lara. Julio 2000 – Octubre2000 y **Asistente de Informática**. Inversiones Rodríguez Jardim C.A – INROJARCA. Octubre 1999 – Abril 2000.*

ANEXO B
CUESTIONARIO

CUESTIONARIO

A fin de conocer las necesidades educacionales de los alumnos de los programas de postgrado, se desea conocer su opinión en cuanto a las estrategias didácticas utilizadas en la asignatura de Redes Inalámbricas impartida en el Postgrado de Ciencias de la Computación, mencionando Redes de Computadoras e indagar acerca de los conocimientos adquiridos en la materia en estudio.

Se le agradece contestar cada una de las interrogantes presentadas, respondiendo sólo SI o NO, según sea el caso.

Gracias por su tiempo

1. ¿Le gustaría comprender en detalle el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil?

SI [] NO []

2. ¿Conoce los elementos que conforman un sistema de telefonía móvil?

SI [] NO []

3. ¿Conoce el termino hand-over?

SI [] NO []

4. ¿Sabe las razones por las cuales se realiza el hand-over?

SI [] NO []

5. ¿Comprende con claridad el proceso que se lleva a cabo cuando ocurre el hand-over?

SI [] NO []

6. ¿Puede describir cómo funciona internamente una red de telefonía móvil basada en Cdma2000?

SI [] NO []

7. Las características del estándar Cdma2000, ¿son conocidas para usted?

SI [] NO []

8. ¿Sabe cuales son los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil?

SI [] NO []

9. ¿Conoce que factores influyen en la cobertura de un sistema de telefonía móvil?

SI [] NO []

10. ¿Conoce los modos de acceso utilizados en Cdma2000?

SI [] NO []

11. ¿Sabe cómo calcular la capacidad de un Sistema de Telefonía Móvil?

SI [] NO []

12. ¿Estudia la Telefonía Móvil solo en forma teórica?

SI [] NO []

13. Durante las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, ¿ha realizado alguna actividad práctica donde usted participe directamente?

SI [] NO []

14. ¿Le gustaría utilizar en las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en el estándar Cdma2000?

SI [] NO []

15. ¿Considera que el uso de una aplicación que le permita observar cómo varía la cobertura y capacidad del sistema en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración para un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000 mejoraría su comprensión acerca de los sistemas de telefonía móvil?

SI []

NO []

ANEXO C
RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

RESULTADOS DEL CUESTIONARIO

ITEM1:

¿Le gustaría comprender en detalle el funcionamiento de un sistema de telefonía móvil?

Si	No	Total
20	0	20
100%	0%	100%

ITEM2:

¿Conoce los elementos que conforman un sistema de telefonía móvil?

Si	No	Total
8	12	20
40%	60%	100%

ITEM3:

¿Conoce el termino hand-over?

Si	No	Total
4	16	20
20%	80%	100%

ITEM4:

¿Sabe las razones por las cuales se realiza el hand-over?

Si	No	Total
3	17	20
15%	85%	100%

ITEM5:

¿Comprende con claridad el proceso que se lleva a cabo cuando ocurre el hand-over?

Si	No	Total
1	19	20
5%	95%	100%

ITEM6:

¿Puede describir cómo funciona internamente una red de telefonía móvil basada en Cdma2000?

Si	No	Total
0	20	20
0%	100%	100%

ITEM7:

Las características del estándar Cdma2000, ¿son conocidas para usted?

Si	No	Total
3	17	20
15%	85%	100%

ITEM8:

¿Sabe cuales son los tipos de entorno celular que se manejan en un sistema de telefonía móvil?

Si	No	Total
5	15	20
25%	75%	100%

ITEM9:

¿Conoce que factores influyen en la cobertura de un sistema de telefonía móvil?

Si	No	Total
3	17	20
15%	85%	100%

ITEM10:

¿Conoce los modos de acceso utilizados en Cdma2000?

Si	No	Total
2	18	20
10%	90%	100%

ITEM11:

¿Sabe cómo calcular la capacidad de un Sistema de Telefonía Móvil?

Si	No	Total
0	20	20
0%	100%	100%

ITEM12:

¿Estudia la Telefonía Móvil solo en forma teórica?

Si	No	Total
20	0	20
100%	0%	100%

ITEM13:

Durante las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, ¿ha realizado alguna actividad práctica donde usted participe directamente?

Si	No	Total
0	20	20
0%	100%	100%

ITEM14:

¿Le agradaría utilizar en las clases de la asignatura relativas a la telefonía móvil, una herramienta gráfica que simule el comportamiento de una red de telefonía móvil basada en el estándar Cdma2000?

Si	No	Total
20	0	20
100%	0%	100%

ITEM15:

¿Considera que el uso de una aplicación que le permita observar cómo varía la cobertura y capacidad del sistema en función de las ubicaciones de las estaciones base y su configuración para un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000 mejoraría su comprensión acerca de los sistemas de telefonía móvil?

Si	No	Total
20	0	20
100%	0%	100%

ANEXO D
ENTREVISTA ESTRUCTURADA

ENTREVISTA ESTRUCTURADA

Instrucciones: a continuación se le presentan un conjunto de interrogantes que tienen como fin obtener información sobre el proceso de enseñanza aprendizaje de la asignatura Redes Inalámbricas . Se le agradece contestar en forma clara y precisa cada una de las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el estándar más utilizado actualmente en el mercado de la telefonía móvil en Venezuela?

2. Según su experiencia como docente de la asignatura de Redes Inalámbricas, ¿Cómo considera el rendimiento de los alumnos en el tópico de la telefonía móvil?

3. ¿Qué tipo de estrategia didáctica utiliza al impartir en clases el tema de la telefonía móvil?

4. ¿Conoce la existencia de software de simulación aplicados a redes de telefonía móvil?

Si [] No []

Si la respuesta es si, continuar con la pregunta 5, sino pasar a la pregunta 6.

5. ¿Ha utilizado este software en sus clases?

Si [] No []

¿Por qué?

6. ¿Considera que el uso de una herramienta gráfica que permita simular el comportamiento de un sistema de telefonía móvil mejoraría el proceso de enseñanza aprendizaje?

Si [] No []

¿Por qué?

7. De existir la disponibilidad de una herramienta gráfica que simule el comportamiento de un sistema de telefonía móvil, ¿Usted la utilizaría como un recurso didáctico en sus clases?

Si [] No []

8. ¿Cuáles son los beneficios que se obtendrían en el proceso de enseñanza aprendizaje al usar una herramienta gráfica que permita simular el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000?

ANEXO E

RESULTADOS DE LA ENTREVISTA ESTRUCTURADA

RESULTADOS DE LA ENTREVISTA ESTRUCTURADA

ITEM1: ¿Cuál es el estándar más utilizado actualmente en el mercado de la telefonía móvil en Venezuela?

CDMA Y GSM

ITEM2: Según su experiencia como docente de la asignatura de Redes Inalámbricas, ¿Cómo considera el rendimiento de los alumnos en el tópico de la telefonía móvil?

Regular, considero que podría ser mejor.

ITEM3: ¿Qué tipo de estrategia didáctica utiliza al impartir en clases el tema de la telefonía móvil?

Expositiva y estudio de casos.

ITEM4: ¿Conoce la existencia de software de simulación aplicados a redes de telefonía móvil?

Si [x] No []

Si la respuesta es si, continuar con la pregunta 5, sino pasar a la pregunta 6.

ITEM5: ¿Ha utilizado este software en sus clases?

Si [] No [x]

¿Por qué?

No disponemos de ese tipo de software actualmente en la universidad.

ITEM6: ¿Considera que el uso de una herramienta gráfica que permita simular el comportamiento de un sistema de telefonía móvil mejoraría el proceso de enseñanza aprendizaje?

Si [x] No []

¿Por qué?

Permitiría observar gráficamente el comportamiento de un sistema de telefonía móvil y el estudiante participaría activamente en el proceso de enseñanza aprendizaje. Además, siempre se recomienda utilizar diferentes estrategias didácticas en la enseñanza.

ITEM7: De existir la disponibilidad de una herramienta gráfica que simule el comportamiento de un sistema de telefonía móvil, ¿Usted la utilizaría como un recurso didáctico en sus clases?

Si [x] No []

ITEM8: ¿Cuáles son los beneficios que se obtendrían en el proceso de enseñanza aprendizaje al usar una herramienta gráfica que permita simular el comportamiento de un sistema de telefonía móvil basado en Cdma2000?

Mayor comprensión por parte de los alumnos, lo que se traduce en mejor rendimiento.

ANEXO F

HOJA DE VALIDACION DE JUICIO DE EXPERTOS

HOJA DE VALIDACION DE JUICIO DE EXPERTOS

INSTRUCCIONES:

Marque con una equis (X) según su apreciación de correspondencia utilizando la siguiente escala:

(A) = Aceptado; (B) = Modificar; (C) = Eliminar

en función de su claridad, congruencia y pertinencia en base a los indicadores, dimensiones y objetivos que se pretenden medir en la investigación.

		Recomendación			
		(A) = Aceptado	(B) = Modificar	(C) = Eliminar	
Anexo	Item				OBSERVACIONES
Cuestionario estudiantés	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
Entrevista Estructurada	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				

Firma: _____ Fecha: _____

ANEXO G

LISTA DE PRECIOS DE VISUAL SOLUTIONS

Visual Solutions Commercial Price List • World • January 2006

VisSim 6.0 Base Products, Suites, and Add-Ons

Base Products	License	Maintenance	Upgrade ¹
Professional VisSim	\$3,000	\$600	\$900
VisSim PE <i>100 block limit; no embed or userFunction block</i>	\$600	\$120	\$180
Suites			
VisSim/Comm Suite <i>Includes Pro VisSim and VisSim/Comm</i>	\$6,000	\$1,200	\$1,800
VisSim/Comm PE Suite <i>Includes VisSim PE and VisSim/Comm PE</i>	\$1,200	\$240	\$360
VisSim/Embedded Controls <i>Includes Pro VisSim, VisSim/C-Code, user-specified target support, VisSim/Fixed-Point</i>	\$12,000	\$2,400	\$3,600
VisSim/TI C2000 Rapid Prototyper <i>Includes VisSim PE, VisSim/C-Code, user-specified target support, VisSim/Fixed-Point</i>	\$4,200	\$840	\$1,260
Add-on Products			
VisSim/Analyze	\$600	\$120	\$180
VisSim/Analyze PE <i>Add-on to VisSim PE; Seven-state limit</i>	\$360	\$80	\$110
VisSim/C-Code <i>Without target support*</i>	\$6,000	\$1,200	\$1,800
VisSim/Comm <i>Add-on to Pro VisSim</i>	\$3,000	\$600	\$900
VisSim/Comm C-Code <i>Without target support*</i>	\$1,200	\$240	\$360
VisSim/Comm PE <i>Add-on to VisSim PE</i>	\$600	\$120	\$180
VisSim/Comm Red River Drivers	\$600	\$120	\$180
VisSim/Comm Turbo Codes	\$900	\$180	\$270
VisSim/Comm Wireless LAN	\$1,800	\$360	\$540
VisSim/Fixed-Point	\$600	\$120	\$180
VisSim/Knobs and Gauges	\$1,200	\$240	\$360
VisSim/Knobs and Gauges PE <i>Add-on to VisSim PE</i>	\$600	\$120	\$180
VisSim/Model-Wizard	\$600	\$120	\$180
VisSim/Motion	\$600	\$120	\$180
VisSim/Neural-Net	\$600	\$120	\$180
VisSim/OPC	\$600	\$120	\$180
VisSim/OptimizePRO	\$600	\$120	\$180
VisSim/Real-TimePRO	\$600	\$120	\$180
* Target Support			
VisSim/C-Code	\$2,400	\$480	\$720
Innovative Integrations: m67, m44, PC32, SBC32			
Softbaugh: All MSP430 ES and LCD boards			
Spectrum Digital: eZdsp F2808, F2812, LF2407; EVM LF2407, F243; DSK 5416, 6711, 6713			
Native PC Host (Standalone .exe, auto DLL, simObject)			
VisSim/Comm C-Code	\$1,200	\$240	\$360
Spectrum Digital: eZdsp F2812			
Native PC Host (Standalone .exe, auto DLL, simObject)			

All Visual Solutions products include:

- 45 days technical support
- Extensive online help
- Full documentation in PDF format
- 60 day money-back guarantee

Product Licensing Options

Individual License: An individual license allows products to be installed and operated on a single designated computer. Program use is restricted to a single person at any given time. Remote access is permitted; however, this does not expand the license beyond a single person at a given time.

Floating Network License: Floating network licenses allow products to be licensed per concurrent user on computers connected to a server running a single license manager. The product is not locked to a specific computer; instead, it allows a specified number of concurrent users to run the products on any computer on the network. Pricing is determined by the number of seats (that is, concurrent users) as follows: 1.5*(number-of-seats * individual-license).

Hardware Protection Keys: These keys provide another means to protect your software. Only when a hardware protection key is attached to your computer will your software run. Hardware protection keys cost \$45 (USA) for parallel port or USB.

Maintenance

Maintenance is a one-year, renewable service that provides product updates, technical support, and license re-activation. In order to purchase Maintenance for an add-on product, you must have Maintenance on the base product.

Product Updates: If you are enrolled in the Maintenance program, you are entitled to the bug fix updates of the products for which you are licensed, as well as any version upgrades that occur during the term of the Maintenance period.

Technical Support: Telephone access to a technical support engineer is part of the Maintenance program. Telephone support is available Monday through Friday (excluding holidays) 9 am – 6 pm EST. You can also use e-mail or fax to obtain technical support. If you are not enrolled in the Maintenance program, you can receive telephone support at a cost of \$40 (USA) per incident.

License Re-Activation: License re-activation is part of the Maintenance program. Typically, license re-activation is necessary if your hard disk crashes or if your VisSim files are improperly transferred to a new machine. If you are not enrolled in the Maintenance program, you can receive license re-activation at a cost of \$50 (USA) per incident.

Supported Platforms

Windows 9x, 2000, Me, NT 4.0+, and XP.

Terms

- Prices are FOB Plant in US dollars.
- Standard terms are advance payment via bankwire, VISA, Discover, MasterCard, American Express.
- Shipments are via air carrier (DHL, UPS, FedEx) or UPS Ground, at the buyer's expense, no excess value insured.

1. This upgrade price is valid only when upgrading from the previous version of the software. To upgrade older versions, the cost is 45% of a new License.

The prices listed in this document are subject to change without notice.



Visual Solutions
INCORPORATED

487 Groton Road, Westford, MA 01886

Tel: (978) 392-0100
Fax: (978) 692-3102
Email: sales@vissol.com
Web: www.vissim.com