



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SERVICIOS DE BANDA ANCHA PARA
TELECOMUNICACIONES MOVILES DE TERCERA
GENERACION

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
P R E S E N T A N :
AMAURY HECTOR PEREA MATSUMURA
Y
JOSE ANGEL MENDOZA RUIZ

DIRECTOR DE TESIS: ING. GUSTAVO ADOLFO OLIVOS ROJAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F.

2004





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi madre Kazumi, porque con unas simples líneas sería imposible expresarle cuán agradecido estoy con ella y por hacerme ver que el amor se demuestra ciertamente más con hechos que con palabras. Darme la vida podría ser inclusive lo menos que has tenido que hacer por mí. Te adoro ma'.

A mi padre Armando, por entender mi forma de ser y nunca dejar de apoyarme y respetar mis decisiones. Créeme que aprecio enormemente eso. Te quiero pa'.

A mi hermano Amílcar, porque a pesar de ser tan diferentes has sabido aguantarme de una manera que en ocasiones hasta a mí me sorprende. No te cambiaría por nadie bro.

A mis tías, primos, a mi familia toda, por constituir los cimientos sólidos y firmes necesarios sobre los cuales puedo sentirme seguro y confiado de poder seguir construyendo mi futuro. No duden en sentirse partícipes insustituibles de todo este proceso.

A mi compañero de tesis Angel Mendoza, por no claudicar ni dejarme claudicar ante este gran reto y por contribuir con su inigualable sentido del humor a hacer de los últimos semestres de la carrera una experiencia sumamente grata. Las desveladas, malpasadas, malcomidas y en general todos los sacrificios valieron la pena inge, ¡lo logramos!

Al Ing. Gustavo Olivos, por su dedicación y consejos invaluable no sólo para la culminación del presente trabajo sino para nuestro futuro desarrollo profesional.

A la Ing. Ivonne Estrada, porque más allá coordinar y organizar nuestro trabajo dentro del laboratorio UNAM-QUALCOMM, cariñosamente nos ofreció su amistad.

A mis amigos y amigas que de alguna u otra forma han contribuido, tanto directa como indirectamente, para completar esta meta. Gracias por compartir tanto y tan desinteresadamente.

Realmente, con toda mi gratitud, ¡va por mí y por ustedes!

Amaury

Doy gracias a todos los que hicieron posible este sueño.

A Dios, por brindarme la vida, en la cual me ha ayudado demasiado.

A mi madre, por ser el ángel que con su cariño me ha enseñado a afrontar las adversidades.

A mi padre, por apoyarme siempre en mis proyectos y por su fortaleza espiritual que me sirve de ejemplo día a día.

A mi familia, por toda su ayuda espiritual, moral y económica que siempre me han brindado.

A Alma Rosa, por su espíritu de superación y perfección que desde un inicio compartió conmigo.

A Maricela, por sus valiosos consejos en los momentos difíciles de mi vida.

A Alberto, por su gran ejemplo de disciplina que siempre infunde.

A Marco Antonio, por ser mi mejor amigo y por compartir tantos momentos felices desde nuestra infancia, por apoyarme en todas mis etapas académicas y por su ejemplo de servicio.

A mis cuñados, cuñadas y sobrinos, por ayudarme en los momentos en que los necesité.

A mi abuelo Tomás, por su espíritu insaciable de trabajo y deseos de vivir que son mi ejemplo de vida.

A mi abuela Soledad, por ser tan cariñosa y detallista conmigo, por su ejemplo de trabajo y servicio.

A mi abuela Leonor, por ser mi símbolo de fortaleza y confianza.

A todos mis amigos, por que me han permitido compartir a su lado momentos de alegría y tristeza.

A Amaury, por ser un gran amigo con el que afronté tantos capítulos difíciles de la carrera y por aportar tanto a mi vida académica.

Al Ing. Gustavo Adolfo Olivos Rojas, por cambiarme la manera de ver mi vida profesional.

A la Ing. Ivonne Estrada Garduño y a todos los elementos del proyecto UNAM-Qualcomm, por su gran apoyo en la realización de esta tesis.

José Angel Mendoza Ruiz.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*



Índice

Objetivos	1
Introducción	3
Panorama de los servicios de telecomunicaciones móviles	4
Estructura de los sistemas de comunicaciones	5
Capítulo I. Conceptos fundamentales en las telecomunicaciones móviles	8
1.1 Espectro electromagnético	9
1.2 Espectro radioeléctrico	11
1.3 Banda celular	12
1.4 Banda PCS	13
1.5 Técnicas digitales de acceso al medio y tecnologías celulares	16
1.5.1 TDMA (Time Division Multiple Access)	16
1.5.2 GSM (Global System for Mobile Communications)	16
1.5.3 GPRS (General Packet Radio Service)	18
1.5.4 EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution)	19
1.5.5 CDMA (Code Division Multiple Access)	22
1.5.6 WCDMA (Wideband CDMA)	23
Capítulo II. Servicios	26
2.1 Definición de banda ancha	27
2.2 Servicios de banda ancha	27
2.2.1 Clasificación de servicios de banda ancha	30
2.2.1.1 Definición de aplicación	30
2.2.1.2 Parámetros de caracterización	34
2.2.1.3 Perspectivas clave para los escenarios de despliegue	36
2.2.1.3.1 Foro UMTS	36
2.2.1.3.2 Escenarios de despliegue (Deployment scenarios)	38
2.2.1.4 Predicciones del proyecto RACE-TITAN	39
2.2.1.5 Propuesta para las comunicaciones móviles de banda ancha	40
2.2.1.6 Utilización y parámetros	41
2.2.1.7 Descripción de otros servicios	44
Capítulo III. Requerimientos	46
3.1 Requerimientos principales de hardware	47
3.1.1 Dispositivo móvil (Handset)	47
3.1.1.1 El procesador	48
3.1.1.2 La memoria	52
3.1.1.2.1 Problemas del SRAM	53
3.1.1.2.2 Otra opción: la memoria DRAM	56
3.1.1.2.3 Desventajas de la memoria DRAM	57
3.1.1.2.4 Soluciones específicas	58

3.1.1.2.4.1 El multi-chip package (MCP) de Samsung	58
3.1.1.2.4.2 La especificación CellularRam	59
3.1.1.2.4.3 Tarjetas removibles de SanDisk	60
3.1.1.2.4.4 El sistema de memoria inalámbrica StrataFlash de Intel	60
3.1.1.3 El display	61
3.1.1.3.1 Pantalla TFT LCD	61
3.1.1.4 La antena	65
3.1.1.4.1 Antenas externas	66
3.1.1.4.2 Antenas internas	67
3.1.1.4.3 Aspectos a considerar en el diseño de antenas internas	68
3.1.1.4.4 Diversidad en antenas para los dispositivos móviles	68
3.1.1.4.5 Soluciones específicas	69
3.1.1.4.5.1 Antena de tres bandas de Antenova	69
3.1.1.4.5.2 Antena de cuatro bandas de Antenova	73
3.2 Requerimientos de software	75
3.2.1 Sistema operativo para el handset	75
3.2.1.1 Costos de licencias e implementación	77
3.2.1.2 Necesidades específicas de los sistemas operativos móviles	78
3.2.1.2.1 Terminales pequeñas y móviles, pero siempre disponibles	78
3.2.1.2.2 Enfoque dirigido al mercado masivo	79
3.2.1.2.3 Manejo de conectividad ocasional	80
3.2.1.2.4 Diversidad en los productos	80
3.2.1.2.5 Plataforma abierta	81
3.2.1.3 Características relacionadas con los servicios de banda ancha en el Symbian OS versión 7.0s	81
3.2.1.3.1 Características principales en el Symbian OS v7.0s	83
3.2.1.3.2 Subsistema de telefonía en el Symbian OS	84
3.2.1.3.3 Características en cdma2000 1x	85
3.2.1.3.4 Características en WCDMA 3GPP R99/R4	85
3.2.1.3.5 Características para el trabajo en red	86
3.2.1.3.6 Servicio de mensajes robustecido o enriquecido (EMS)	86
3.2.1.3.7 Servicio de mensajes multimedia (MMS)	87
3.2.1.3.8 Características multimedia	87
3.3 Requerimientos de la Radio Base en UMTS	89
3.3.1 La Red de Acceso (UTRAN)	89
3.3.1.1 Nodo – B	90
3.3.1.2 RNC	92
3.3.1.3 Características importantes en el diseño de la Red de Acceso	93
3.3.2 El Núcleo de Red (CN)	95
3.3.2.1 MSC / VLR	97
3.3.2.2 GMSC	97
3.3.2.3 SGSN	97
3.3.2.4 GGSN	98
3.3.2.5 AuC y HLR	98
3.3.2.6 EIR	99

Capítulo IV. Tecnologías para la implementación de aplicaciones y servicios	100
4.1 Imágenes fijas	101
4.1.1 JPEG (Joint Photographic Experts Group)	101
4.1.1.1 Sistema básico secuencial	102
4.1.1.1.1 Primer paso	102
4.1.1.1.2 Segundo paso	103
4.1.1.1.3 Tercer paso	104
4.1.1.1.4 Cuarto paso	105
4.1.1.1.5 Quinto paso	106
4.1.1.1.6 Sexto paso	107
4.1.1.2 Codificación de los coeficientes DC	108
4.1.1.3 Codificación de los coeficientes AC	109
4.2 Audio	110
4.2.1 MPEG-1 Layer 3 (MP3)	110
4.2.1.1 Codificador	112
4.2.1.2 Trama	114
4.3 Video	115
4.3.1 MPEG-4	115
4.4 Multimedia	120
4.4.1 MMS	120
4.4.2 Videoconferencia	124
4.4.3 Servicios de streaming de multimedia y video	126
4.4.4 Broadcast y multicast	131
4.5 GPS	131
4.5.1 GPSTone	132
Capítulo V. Ejemplo de desarrollo de aplicación para tercera generación de telefonía móvil (CDMA)	134
5.1 Plataforma (BREW TM): Binary Runtime Environment for Wireless	135
5.1.1 El software cliente de BREW TM (BREW TM Client Software)	135
5.1.2 El sistema de distribución BREW TM	137
5.1.2.1 Proposición de la aplicación (pasos 1a y 1b)	139
5.1.2.2 Negociación virtual (pasos 2 y 3)	139
5.1.2.3 Creación/edición del catálogo (paso 4)	139
5.1.2.4 Activación del catálogo (paso 5)	139
5.1.2.5 Compra de la aplicación vía OTA (pasos 6 y 7)	140
5.1.2.6 Creación de registros de uso y exportación a los sistemas de tarificación (pasos 8 y 9)	141
5.1.3 El True BREW TM Test	141
5.1.4 BREW TM vs. J2ME	142
5.1.4.1 Ventajas de BREW TM	142
5.1.4.2 Ventajas de J2ME	143
5.1.4.3 Desventajas de BREW TM	144
5.1.4.3 Desventajas de J2ME	144
5.2 Manejo de contenido	145

5.2.1 Interfaz	146
5.2.1.1 Diseño en la etapa inicial	146
5.2.1.2 Pantalla principal	147
5.2.1.3 Creación del diseño visual	150
5.2.1.4 Consideraciones internacionales	151
5.2.2 Imágenes y animaciones	152
5.2.3 Audio	154
5.2.4 Video	157
Conclusiones y comentarios	159
Referencias	169
Apéndice	180

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*



Objetivos

La presente Tesis tiene la intención de coleccionar los requerimientos tecnológicos necesarios para implementar servicios de Banda Ancha en redes de Telefonía Celular con Tecnología de Tercera Generación.

Debido a que los autores fueron seleccionados para participar en el proyecto UNAM-Qualcomm 3G iniciado en marzo de 2003 y cuya finalidad es la de desarrollar aplicaciones para la industria de telecomunicaciones inalámbricas, principalmente para proveedores telefónicos, desde la aplicación en el teléfono celular, hasta la puesta en marcha con el proveedor telefónico y los corporativos proveedores de información, se tiene la oportunidad de realizar aplicaciones de Banda Ancha en Telefonía Celular de Tercera Generación, lo cual incluye conocer los requerimientos legales que se necesitan para la implementación y comercialización de los servicios, así como los requerimientos tecnológicos en la infraestructura de red celular para ofrecer dichos productos. Así también se necesitan conocer las características necesarias que los teléfonos celulares deben tener para poder proporcionar servicios de Banda Ancha, de manera que este trabajo pueda servir como una referencia o recomendación para especialistas del ramo que deseen poner en práctica tales soluciones inalámbricas.

Igualmente, lo que se busca es documentar el trabajo técnico y académico desarrollado para la implementación de un producto real para su uso en las redes celulares inalámbricas de 3ª Generación, es decir, desarrollar aplicaciones que manejen el servicio de Banda Ancha en el Laboratorio de Aplicaciones Avanzadas para Telefonía Celular de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Cabe señalar también que el desarrollo de esta tesis es muy ambicioso, ya que los resultados de ésta contribuirán no sólo al contexto mexicano, puesto que abarca el mercado nacional y al mercado latinoamericano internacional, por lo que este proyecto tiene un extenso alcance. Además, la relevancia de esta tesis es muy importante, pues en México no se cuenta con mucha experiencia en este campo, ya que la tecnología es relativamente nueva. Se agrega asimismo el gran impacto positivo para el prestigio de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, específicamente para su Departamento de Telecomunicaciones.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*



Introducción

Panorama de los servicios de telecomunicaciones móviles

En los años recientes, los servicios móviles se han convertido en uno de los segmentos de más rápido crecimiento dentro del sector de las telecomunicaciones. Dicho crecimiento tiene como causa fundamental el gran auge experimentado por la telefonía celular que ofrece a sus millones de usuarios alrededor del mundo la posibilidad de recibir y realizar llamadas mientras se desplazan de un lugar a otro, o dicho en un contexto más general, de estar comunicados en prácticamente cualquier lugar a cualquier hora, llevando así a las comunicaciones inalámbricas establecidas por medio de terminales de bolsillo a traspasar fronteras que tan sólo algunas cuantas décadas atrás hubieran parecido insuperables.

Asimismo, los grandes avances en el área del transporte han hecho que la gente se desplace y viaje con una asiduidad sin precedentes, teniendo como consecuencia la creación de nuevas formas de vida que hacen que en una sociedad como la actual se generen nuevas necesidades como la movilidad en la comunicación, la cual se ha convertido en el elemento clave sobre el cual se apoyan los fuertes índices de crecimiento de la telefonía móvil en general y de la celular en particular.

Dentro de los utensilios que el desarrollo de la electrónica ha producido en los últimos cincuenta años, una rápida clasificación podría englobarlos en dos categorías: los impersonales y los personales. En el primer grupo se incluirían por ejemplo los equipos profesionales (de instrumentación) y ciertos aparatos de consumo como los receptores de TV o los equipos de alta fidelidad. En el segundo podrían considerarse las calculadoras, las agendas electrónicas o asistentes personales digitales (PDA: Personal Digital Assistant) y los teléfonos de bolsillo.

A diferencia de otros dispositivos portátiles, los equipos de bolsillo se han transformado en productos sobre los cuales el usuario se apoya de manera muy especial y personal, puesto que son poseedores de una cierta identidad específica y muy próxima a la de su propietario. Por todo lo anterior, lo que el público espera, y que gradualmente está recibiendo por medio de las nuevas terminales telefónicas móviles, es el acceso a cualquier tipo de información y la obtención de comunicaciones multimedia, es decir, los equipos en cierto modo serán inteligentes y permitirán servicios de toda índole, incluyendo a los de banda ancha que se prometen a partir de la llamada tercera generación, por lo que de esta manera, una persona será capaz de contar con servicios como el establecimiento de una sesión múltiple de videoconferencia o una traducción simultánea en varios idiomas, todo al alcance de su mano y en el lugar donde se encuentre. Así pues, el teléfono celular será un instrumento que permitirá eliminar al espacio como obstáculo al comunicarse.

Finalmente, es importante mencionar que el desarrollo de las telecomunicaciones móviles es más importante de lo que a simple vista pudiera llegar a parecer, ya que su puesta en marcha y posterior utilización tienen una repercusión triple: la técnica, la económica y la industrial, por lo que, por todos los aspectos anteriormente expuestos, se puede decir que los servicios dentro de la telefonía móvil se están estableciendo como una de las tecnologías más interesantes en la actualidad y con un amplio desarrollo profesional, llevando al teléfono personal a convertirse en una herramienta multifuncional con características lúdicas, es decir, consolidándolo, si es que aún no se ha hecho, como un

exponente de una nueva forma de vida indicadora de nuestra evolucionada y futura omnipresencia.

Estructura de los sistemas de comunicaciones

Los sistemas de comunicaciones se hallan donde quiera que se transmita información de un punto a otro. El teléfono, la radio y la televisión son ejemplos cotidianos de sistemas de comunicaciones. Sistemas de comunicaciones más complicados guían aviones, naves espaciales y trenes automáticos; otros proporcionan noticias frescas de todo el mundo, a menudo por medio de satélites; y la lista de ejemplos podría continuar indefinidamente. No es exagerado decir que los sistemas de comunicación actuales no sólo son necesarios para los negocios, la industria, los bancos y la divulgación de información al público, sino también esenciales para el bienestar y la defensa de las naciones.

El término “comunicación” puede significar cualquier cosa desde una conferencia telefónica hasta el uso de gestos adecuados, énfasis y buena dicción en un discurso; desde el operador radio aficionado conversando acerca del tiempo, hasta un indio norteamericano enviando señales de humo. El común denominador de estos ejemplos es que existe información transmitida que es de importancia para el receptor.

Al estudiar las telecomunicaciones, se puede restringir a la transmisión de información siempre y cuando sea a través de distancias relativamente largas. El empleo de señales eléctricas (en el más amplio sentido, debe considerarse a la luz perteneciente a esta clase, dado que está en el espectro electromagnético) ha reemplazado casi completamente a todas las otras formas de transmisión de información a largas distancias. Esto se debe, principalmente, a que las señales eléctricas son relativamente fáciles de controlar (comparadas, por ejemplo, con el fuego para las señales de humo) y viajan con velocidades como la de la luz o cercanas. Para largas distancias, pues, es apropiado el estudio de las comunicaciones a través de señales eléctricas.

Cabe señalar que la comunicación a largas distancias necesita que se efectúen algunas alteraciones u otras operaciones en la señal eléctrica que conducirá la información preparada para ser transmitida. Tras la recepción, se efectúan operaciones inversas para restaurar la información.

En el proceso de transmisión, las señales que portan la información se contaminan con ruido. El ruido es generado por numerosos hechos naturales y artificiales, e introduce errores en la transmisión de información. Desde el punto de vista de la ingeniería, el problema de la comunicación estriba en el diseño de las partes de la transmisión sobre las que puede ejercerse algún control. Un criterio para esto es mantener la transmisión de información tan libre de errores como sea posible.

En la figura I.1, se muestran las unidades básicas comprendidas en un sistema de comunicaciones. No todos los sistemas incluyen todas las operaciones indicadas, aunque sí emplean siempre algún medio de transmisión de alguna clase. El codificador elige la mejor forma de la señal para optimizar su detección en la salida. El decodificador efectúa la operación inversa para toma la mejor decisión, basada en las señales disponibles, de que un

mensaje dado fue efectivamente enviado. El diseño del codificador y el decodificador debe basarse en una detallada descripción matemática de la transmisión de información.

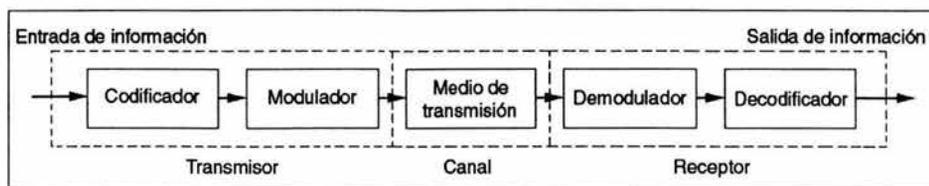


Figura I.1 Sistema de comunicaciones

El modulador produce una señal variable a su salida que es proporcional, de algún modo, a la señal que aparece en sus terminales de entrada. Por ejemplo, un modulador senoidal puede variar la amplitud, la frecuencia o la fase de una señal senoidal en proporción directa al voltaje de entrada. Las funciones del codificador y del modulador son semejantes en que ambos preparan la señal para una más eficiente transmisión. Sin embargo, el proceso de codificación está concebido para optimizar la detección de errores en un mensaje que está siendo transmitido, mientras que el proceso de modulación está diseñado para imprimir la señal de información sobre la onda que se va a transmitir. El demodulador realiza la operación inversa a la del modulador para restaurar la señal en su forma original.

El medio de transmisión es la piedra angular del sistema. Sin él no existiría problema de comunicación. El medio de comunicación puede incluir la ionosfera, la troposfera, el espacio libre o simplemente una línea de transmisión. En todo caso se introducen la atenuación y la distorsión, así como las señales de ruido generadas en los medios y en los equipos de transmisión y recepción.

Las líneas discontinuas de la figura I.1 indican tres subsistemas básicos en un sistema de comunicaciones. El subsistema central restringe el flujo de información y se llama *canal*. El canal incluye los efectos del ruido aditivo, la interferencia, la propagación y la distorsión (es el factor limitante del rendimiento de cualquier sistema de comunicaciones bien construido). El papel del *transmisor* es preparar la información para enviarla en forma tal que pueda superar lo mejor posible las limitaciones impuestas por el canal. El papel del *receptor* es efectuar las operaciones inversas del transmisor para recuperar la información con la menor cantidad de errores posible.

El sistema de comunicaciones de mostrado en la figura I.1 es capaz de transmitir información en un sentido y se llama sistema de transmisión *simplex* (SX). En muchos casos es deseable mantener una comunicación en dos sentidos o, al menos, poder regresar un mensaje a su origen para una posible verificación, una comparación o un control. Una manera de obtener esto es utilizar el mismo canal alternadamente para transmitir en ambas direcciones, como se muestra en la figura I.2. Este método se llama *semi-dúplex* (HDX, half-duplex). Aunque la comunicación fluye en ambas direcciones, en un momento dado el flujo de información es en un solo sentido.

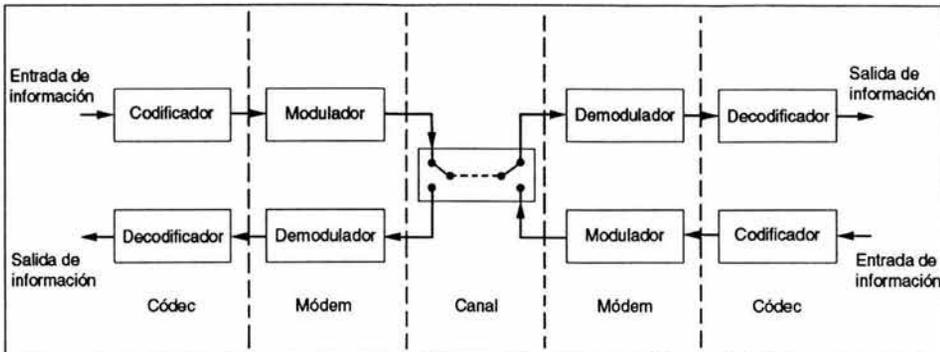


Figura I.2 Sistema de comunicaciones que usa una transmisión semi-dúplex

En la figura I.3 se muestra un tercer tipo, el *dúplex total* (FDX, full-duplex). En éste, se obtiene comunicación simultánea en ambos sentidos. Es importante notar que tanto en la transmisión HDX como en la FDX, los moduladores y demoduladores operan en parejas. Esta combinación de modulador y demodulador se llama *módem* (*modulador-demodulador*) en los sistemas de transmisión de datos. También los codificadores y decodificadores trabajan en pares, surgiendo el término *códec* (*codificador-decodificador*).

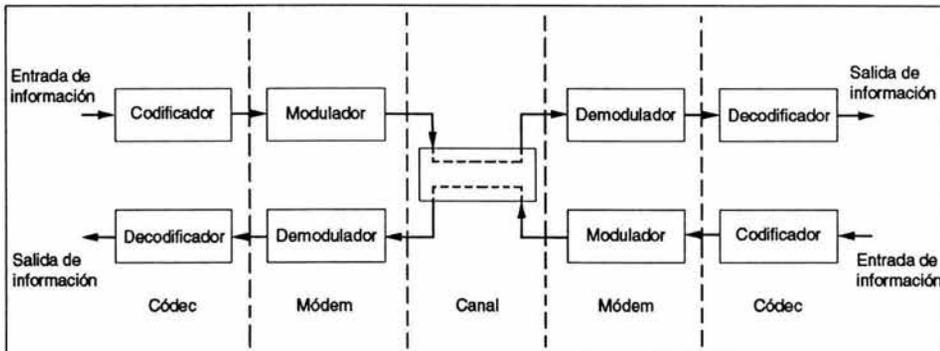


Figura I.3 Sistema de comunicaciones que usa una transmisión dúplex completa.

Como punto final, es importante mencionar que todos los sistemas de comunicaciones pueden juzgarse en términos del ancho de banda, la relación señal a ruido y los factores económicos, por lo que existen varios compromisos entre estos parámetros que se deben de examinar detalladamente para la implementación de dichos sistemas de una manera exitosa.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*

Capítulo



**Conceptos fundamentales
en las telecomunicaciones
móviles**

1.1 Espectro electromagnético

En cualquier tipo de telecomunicaciones se emplea el proceso de enviar de alguna forma energía electromagnética a través de líneas de transmisión, la cual viaja en forma de ondas conocidas como *ondas electromagnéticas* con el objetivo de poder llevar la información desde la fuente donde se origina hasta el destinatario final para el que va dirigida. Debido a esto, resulta de importancia fundamental el caracterizar dichas ondas, o dicho de otra manera, de clasificarlas de acuerdo a las propiedades que éstas presentan.

Por todo lo anterior, se deduce que las ondas electromagnéticas son la manera en la que se propaga la radiación electromagnética, que no es más que una transferencia de energía generada por las oscilaciones de cargas eléctricas en movimiento (corriente eléctrica). Dichas oscilaciones de las cargas en movimiento al tener una cierta frecuencia, producirán, de acuerdo a las leyes de Maxwell, que rigen todo fenómeno electromagnético conocido, un campo magnético variante rodeando a la corriente eléctrica generada, el cual cambiará precisamente su dirección de acuerdo a la manera en la que oscilen las cargas.

No obstante, las leyes de Maxwell establecen también que un campo magnético variable inducirá también un campo eléctrico variante en el tiempo, el cual es fuente del campo magnético mismo, por lo que se producirá un proceso de inducción mutua, lográndose así el fenómeno de radiación (liberación de energía electromagnética dirigida hacia fuera de las cargas) cuya intensidad estará en función de qué tan rápidamente se emanen los campos.

Las oscilaciones se presentan con una cierta frecuencia, por lo cual, las ondas generadas cambiarán las direcciones de sus campos electromagnéticos una cierta cantidad de veces en una unidad de tiempo (generalmente se usa el segundo, obteniéndose de esta forma la unidad conocida como Hertz).

La velocidad con la que cambien estos campos, influirá directamente en ciertas propiedades de las ondas generadas, por lo que una primera clasificación que resulta obvia al analizar estos argumentos es la de emplear su propiedad de frecuencia, con lo que se obtiene algo que en física se conoce como el *espectro electromagnético* (ver tabla 1.1.1). Vale la pena señalar que aunque esta clasificación es generalmente la más común, este espectro se puede obtener equivalentemente al emplear la longitud de onda como propiedad para distinguir las ondas, pero debido a que existe una relación directa entre ésta y la frecuencia¹, las dos clasificaciones se consideran igualmente útiles, toda vez que en la práctica se emplean ambas, prefiriéndose en ocasiones una de la otra de acuerdo a la aplicación o al sistema de telecomunicaciones de que se trate².

¹ $c = \lambda f$, donde c es la velocidad de la onda, λ es la longitud de onda y f es la frecuencia

² En comunicaciones ópticas se prefiere usar la clasificación por longitudes de onda y en radiocomunicaciones se prefiere la clasificación por frecuencia.

Región del espectro	Designación	Margen de frecuencias	Margen de longitudes de onda
Espectro radioeléctrico (Ondas de radio) $10^8 - 10^4$ m $3 - 3 \times 10^{12}$ Hz	Ultra Low Frequencies (ULF)	3 – 30 Hz	$10^8 - 10^7$ m
	Extremely Low Frequencies (ELF)	30 – 300 Hz	$10^7 - 10^6$ m
	Voice Frequencies (VP)	300 Hz – 3 kHz	$10^6 - 10^5$ m
	Very Low Frequencies (VLF)	3 – 30 kHz	$10^5 - 10^4$ m
	Low Frequencies (LF)	30 – 300 kHz	10 – 1 km
	Medium Frequencies (MF)	300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m
	High Frequencies (HF)	3 – 30 MHz	100 – 10 m
	Very High Frequencies (VHF)	30 – 300 MHz	10 – 1 m
	Ultra High Frequencies (UHF)	300 MHz – 3 GHz	1 m – 10 cm
	Super High Frequencies (SHF)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
	Extremely High Frequencies (EHF)	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm
	—	300 – 3000 GHz	1 mm – 0.1 mm
	Microondas	1 – 3000 GHz	300 – 0.1 mm
Infrarrojo $10^4 - 10^6$ m $3 \times 10^{12} - 2 \times 10^{14}$ Hz	Far	3000 – 10000 GHz	100 – 30 μ m
	Middle	10 – 100 THz	30 – 3 μ m
	Near	100 – 400 THz	3 - 0.75 μ m
Visible 5×10^{-7} m 2×10^{14} Hz	Colores	$3.9 \times 10^{14} - 7.7 \times 10^{14}$ Hz	770 – 390 nm
Ultravioleta $10^{-7} - 10^{-8}$ m $10^{15} - 10^{16}$ Hz	UV-A	$7.5 \times 10^{14} - 9.4 \times 10^{14}$ Hz	400 – 320 nm
	UV-B	$9.4 \times 10^{14} - 10^{15}$ Hz	320 – 280 nm
	Vacuum UV	Más de 1.5×10^{15}	Menos de 200 nm
Rayos X $10^{-9} - 10^{-11}$ m $10^{17} - 10^{19}$ Hz	—	$10^{17} - 10^{19}$ Hz	$10^{-9} - 10^{-11}$ m
Rayos Gamma $10^{-11} - 10^{-13}$ m $10^{19} - 10^{21}$ Hz	—	$10^{19} - 10^{21}$ Hz	$10^{-11} - 10^{-13}$ m

Tabla 1.1.1. Espectro electromagnético

1.2 Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico, tal como se puede apreciar en la tabla anterior, es una gama de frecuencias dentro de lo que es el espectro electromagnético. Las radiaciones electromagnéticas que emplean ondas cuyas frecuencias se encuentran en ese rango tienen como característica común el hecho de que se usan para transmitir información mediante antenas en los sistemas de radiocomunicaciones debido a sus propiedades de propagación.

Así como el espectro electromagnético se encuentra dividido, el radioeléctrico también lo está, y el organismo internacional que se dedicó a hacer lo correspondiente con él fue la UIT o ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones o International Telecommunications Union), la cual lo subdivide en 9 bandas empezando con el número 4 y terminando en el 12. La tabla 1.2.1 muestra dicha clasificación.

Número de banda	Designación	Subdivisión métrica Designación métrica para las bandas
4	VLF	Ondas miriamétricas
5	LF	Ondas kilométricas
6	MF	Ondas hectométricas
7	HF	Ondas decamétricas
8	VHF	Ondas métricas
9	UHF	Ondas decimétricas
10	SHF	Ondas centimétricas
11	EHF	Ondas milimétricas
12	—	Ondas decimilimétricas

Tabla 1.2.1. Subdivisión del espectro radioeléctrico según la ITU

Vale la pena destacar que las frecuencias localizadas por debajo de la banda 8 (menores a 30 MHz) tienen la propiedad de ser reflejadas o absorbidas por la ionosfera. Las bandas 8 y 9, así como la parte baja de la 10, constituyen lo que se denomina como *ventana principal de radio*. Las frecuencias dentro de la banda 11 presentan gran absorción debida a gases atmosféricos. Tanto en la banda 11 como en la 12 se tienen fuertes atenuaciones si existen lluvias intensas. De cualquier manera, en estas dos últimas bandas existen pequeñas ventanas entre los picos de absorción, con lo cual es posible trabajar con ellas, aunque en la práctica únicamente se pueden encontrar comercialmente equipos de comunicaciones que trabajan a frecuencias menores de 50 GHz por dificultades en la electrónica de los mismos.

Una de las cuestiones que se hacen visibles al analizar las propiedades descritas en el párrafo anterior, es el hecho de que de acuerdo a las aplicaciones que se deseen implementar conviene el uso de una u otra banda. Así pues, en sistemas de comunicaciones por satélite por ejemplo, no se podrían usar ondas en una banda menor a la 8, ya que la

propiedad de reflexión en la atmósfera impediría que la señal pudiera llegar al transponder³ del satélite para su posterior retransmisión a la Tierra.

1.3 Banda celular

Los sistemas de radiotelefonía celular trabajan en la banda dentro del espectro radioeléctrico que se encuentra alrededor de los 800 MHz⁴, la cual corresponde según la tabla 1.1.1 a frecuencias UHF (Ultra High Frequencies). En México, la banda de 806 – 890 MHz se encuentra destinada en exclusiva de acuerdo al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias publicado por la Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel), para los servicios móviles, contándose asimismo con un acuerdo bilateral entre nuestro país y los Estados Unidos para regular su uso en zonas fronterizas.

La banda celular se dividió a su vez en otras 2 bandas, las cuales se denominaron como banda “A” y banda “B”. Cada una de estas bandas dispone de 333 canales para atender a diversos usuarios simultáneamente y la separación entre el enlace de subida y el de bajada (uplink y downlink) es de 45 MHz.

A continuación se presentan los diferentes servicios a nivel nacional con sus respectivos rangos.

Rango	Servicio
806-821/851-866 MHz	Radiocomunicación móvil especializada de flotillas en rutas carreteras y ciudades
821-824/866-869 MHz	Radiocomunicación para seguridad pública
824-825/869-870 MHz	Ampliación para telefonía celular a concesionarios “A”
825-835/870-880 MHz	Radiotelefonía celular destinada a concesionarios “A”
835-845/880-890 MHz	Radiotelefonía celular destinada a concesionarios “B”
845-846.5/890-891.5 MHz	Ampliación para telefonía celular a concesionarios “A”
846.5-849/891.5-894 MHz	Ampliación para telefonía celular a concesionarios “B”
849-851/894-896 MHz	Telefonía pública a bordo de aeronaves

Tabla 1.3.1. Rangos y servicios nacionales en el rango de 806 – 896 MHz

³ El transponder o transpondedor es la parte del satélite que tiene como función principal la de amplificar la señal que recibe de la estación terrena, cambiar su frecuencia y retransmitirla nuevamente a estaciones terrenas de cobertura amplia. En otras palabras, el transpondedor recoge la señal entrante de la antena receptora y la amplifica por medio de un amplificador de ruido bajo (LNA), el cual incrementa la señal recibida. A la salida del LNA, la señal es pasada a un convertidor de frecuencia que produce la señal con su frecuencia descendente.

⁴ Bandas comprendidas: 824-849/869-894 MHz

Cabe señalar que las especificaciones técnicas de los sistemas de radiotelefonía celular que operan en la banda de 800 MHz se encuentran contenidas en la norma NOM-081-SCT1-1993, publicada el 19 de agosto de 1994.

1.4 Banda PCS

Inicialmente, a finales de la década de los 80's y principios de los 90's, sólo la banda de 800 MHz se tenía destinada para ofrecer los servicios de radiotelefonía celular, pero debido a la gran demanda de servicios de este tipo que se presentó en los años subsecuentes, se hizo necesario definir otras bandas para afrontar dicho crecimiento.

La solución fue la introducción de la banda PCS (Personal Communication System) el cual es un nombre genérico o colectivo que se le da a los servicios digitales de telefonía móvil de América en la banda de frecuencia de 1900 MHz. El estándar de tecnologías de telefonía celular PCS1900 dentro de los Estados Unidos se basó en otro conocido como DCS1800 (Digital Communications System 1800).

En cuanto a la diferencia de servicios ofrecidos, se puede decir que el hecho de definir la banda PCS para emplearse en radiotelefonía celular obedeció primordialmente al crecimiento de la demanda, ya que tanto los servicios digitales celulares implementados en la banda de 800 MHz como los digitales PCS en la banda de 1900 MHz ofrecen prácticamente los mismos recursos y características.

Por otra parte, vale la pena destacar que al adoptarse el empleo de la tecnología digital en la telefonía móvil, se permitió el tratamiento de señales a través de sofisticado procesamiento de audio por medio de equipo de cómputo, por lo que la calidad de la transmisión tuvo mejoras sustanciales al lograr filtrar efectos no deseados como lo pueden ser la estática y los molestos ruidos de fondo. Aunado a lo anterior, la tecnología digital permitió la incorporación de técnicas de acceso al medio simultáneas como lo es TDMA, con el cual más de una llamada se puede realizar al mismo tiempo empleando la misma frecuencia de radio, haciendo un uso más eficiente del espectro, derivando así en el incremento de la capacidad de las redes explotando las bandas de frecuencia ya establecidas.

Clave del concurso #	servicio	banda	Enlace de Subida (uplink) [Mhz]	Enlace de Bajada (downlink) [Mhz]	Ancho de Banda Total	Cobertura
1	PCS	A1	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 1
2	PCS	A2	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 2
3	PCS	A3	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 3
4	PCS	A4	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 4
5	PCS	A5	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 5
6	PCS	A6	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 6
7	PCS	A7	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 7

8	PCS	A8	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 8
9	PCS	A9	1850-1865	1930-1945	30 MHz.	Región 9
10	PCS	B1	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 1
11	PCS	B2	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 2
12	PCS	B3	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 3
13	PCS	B4	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 4
14	PCS	B5	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 5
15	PCS	B6	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 6
16	PCS	B7	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 7
17	PCS	B8	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 8
18	PCS	B9	1870-1885	1950-1965	30 MHz.	Región 9
19	PCS	D1	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 1
20	PCS	D2	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 2
21	PCS	D3	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 3
22	PCS	D4	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 4
23	PCS	D5	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 5
24	PCS	D6	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 6
25	PCS	D7	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 7
26	PCS	D8	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 8
27	PCS	D9	1865-1870	1945-1950	10 MHz.	Región 9
28	PCS	E1	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 1
29	PCS	E2	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 2
30	PCS	E3	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 3
31	PCS	E4	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 4
32	PCS	E5	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 5
33	PCS	E6	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 6
34	PCS	E7	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 7
35	PCS	E8	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 8
36	PCS	E9	1885-1990	1965-1970	10 MHz.	Región 9

Tabla 1.4.1. Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para la prestación del servicio PCS en México.

Las regiones celulares que se observan en la tabla anterior son áreas en las cuales se dividió el país para poder tener un mejor control sobre el uso de la telefonía celular. Se tienen 9 diferentes regiones las cuales se detallan a continuación:

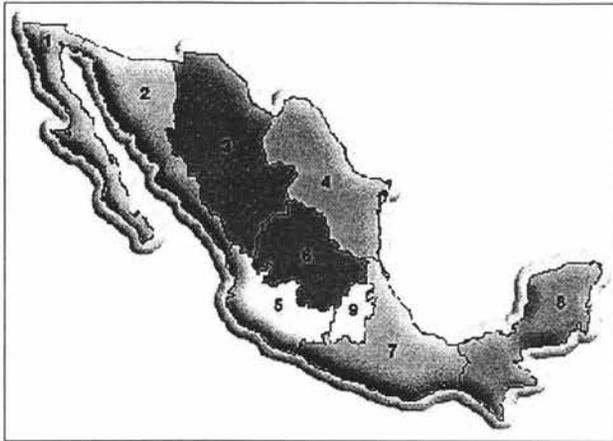


Figura 1.4.1. Regiones para los servicios de telefonía celular en México

- Región 1: Baja California y Baja California Sur y el municipio de San Luis Río Colorado, Sonora.
- Región 2: Sinaloa y Sonora excluyendo el municipio de San Luis Río Colorado, Sonora.
- Región 3: Chihuahua y Durango y los siguientes municipios de Coahuila: Torreón, Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro y Viesca.
- Región 4: Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila, excluyendo los municipios de Torreón, Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro y Viesca.
- Región 5: Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.
- Región 6: Colima, Michoacán, Nayarit y Jalisco excluyendo los siguientes municipios de Jalisco: Huejucar, Santa María de los Angeles, Colotlán, Teocaltiche, Huejuquilla El Alto, Mezquitic, Villa Guerrero, Bolaños, Lagos de Moreno, Villa Hidalgo, Ojuelos de Jalisco y Encarnación de Díaz.
- Región 7: Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas y los siguientes municipios de Jalisco: Huejucar, Santa María de los Angeles, Colotlán, Teocaltiche, Huejuquilla El Alto, Mezquitic, Villa Guerrero, Bolaños, Lagos de Moreno, Villa Hidalgo, Ojuelos de Jalisco y Encarnación de Díaz.
- Región 8: Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Veracruz.
- Región 9: Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo y Morelos.

1.5 Técnicas digitales de acceso al medio y tecnologías celulares

1.5.1 TDMA (Time Division Multiple Access)

TDMA es un estándar de telefonía celular de Segunda Generación, el cual surgió como una actualización del estándar analógico AMPS, formalmente conocido como DAMPS (Digital Advanced Mobile Phone Service). Esta actualización fue posible debido a que emplea señales digitales en lugar de las analógicas que caracterizaban a la Primera Generación.

En una definición muy general, TDMA es una técnica de acceso que permite a un número de usuarios acceder a un canal de frecuencia sin interferir con otros que compartan este canal, debido a que se realiza una división en el tiempo, en la cual, cada usuario tiene un determinado instante para acceder al canal, es decir, a cada usuario se le asigna un Time Slot. El estándar de TDMA (IS-136) fue diseñado para que tres usuarios pudieran compartir un canal de 30 khz.

Para poner un ejemplo, suponiendo que se tiene una transmisión de voz, debido a que la señal de voz es digitalizada, ésta puede ser dividida en paquetes, por lo que se accesa a un canal de 30 kHz por un periodo de tiempo pequeño y después se mueve a otro canal de 30 kHz ocupando el mismo o diferente Time Slot.

Con TDMA podemos tener servicio de voz y datos, así como SMS (Short Message Service). Además, debido a que a cada usuario se le asignan Times Slots, no se produce interferencia entre usuarios que utilicen el mismo canal de transmisión.

Una de las desventajas de TDMA es que le afecta mucho la distorsión por multitrayectorias, ya que si se recibe una señal que ha seguido una trayectoria tal que la señal llegue con un retraso considerable, se tendrá interferencia en la recepción.

TDMA es un método de acceso que es usado por sistemas como GSM, JDC (Japanese Digital Cellular) y NADC (North American Digital Cellular).

1.5.2 GSM (Global System for Mobile Communications)

GSM es un sistema digital de telefonía celular creado por los europeos. GSM utiliza el método de acceso múltiple TDMA (Time Division Multiple Access). GSM opera en bandas de 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz y 1900 MHz en 197 países, teniendo así, el mayor porcentaje de cobertura a nivel mundial.

Principalmente, la red GSM está compuesta por tres sistemas: El sistema de Conmutación SS (Switching System), el sistema de la Estación Base BSS (Base Station System) y el sistema de operación y mantenimiento OSS (Operation and Support System).

El sistema SS se encarga del procesamiento de la llamada y la realización de las funciones relacionadas a cada suscriptor. Cuenta con una base de datos HLR (Home Location Register), que es utilizada para almacenar y administrar la información de las

suscripciones de los usuarios. Por otra parte, cuenta con un centro de conmutación llamado MSC (Mobile Services Switching Center), el cual se encarga de las funciones de conmutación telefónica y de las funciones de señalización. Además se tiene otra base de datos conocida como VLR (Visitor Location Register), la cual contiene información de suscriptores que se encuentran como visitantes en una determinada célula, para proporcionarles el servicio de telefonía, así como un centro de autenticación AuC (Authentication Center), encargado de validar a los usuarios y de proporcionar servicios de encriptación para que éstos tengan una mayor seguridad al realizar sus conexiones o llamadas.

También se cuenta con un registro de identidad del equipo móvil, conocido como EIR (Equipment Identity Register), que se encarga de evitar la realización de llamadas de celulares robados o no autorizados.

El sistema BSS se compone principalmente de dos partes: los controladores de estación BSCs (Base Station Controllers) y las estaciones transmisoras BTSs (Base Transceiver Stations). Los BSCs proporcionan funciones de control entre el MSC y la BTS, así como de sus enlaces físicos, por lo que se encarga de proporcionar el Handover⁵, el control de niveles de potencia de Radio Frecuencia en las BTS, las cuales se encargan de proporcionar la interfaz al celular. La BTS está formada por transmisores y antenas.

El sistema OMC (Operations and Maintenance Center) está conectado a todo el sistema BSC, lo que implica que con el sistema OMC se puede monitorear y controlar todo el sistema, además ayuda a dar mantenimiento a toda la red GSM.

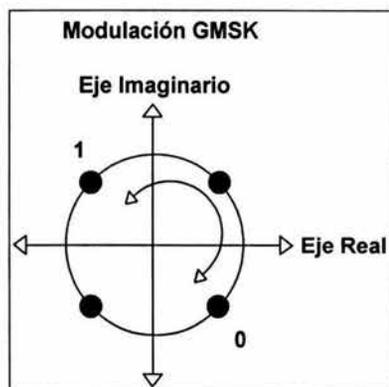


Figura 1.5.1. Modulación GMSK

⁵ El Handover o Handoff se refiere al proceso en el cual un teléfono móvil cambia de una célula a otra con el objetivo de mantener la conexión con la red celular. Las variables que dictan el Handover dependen del tipo de sistema celular. En los sistemas basados en CDMA el factor que limita el Handover es la interferencia, mientras que en otros sistemas como FDMA y TDMA, incluyendo GSM, el factor limitante principal es la calidad de señal disponible en el handset. Otros factores que también intervienen son los referentes a niveles de potencia y a la cantidad de tráfico en la red.

Como características generales se puede mencionar que la distancia dúplex (distancia en frecuencia entre los enlaces forward y reverse) es de 80MHz. La modulación utilizada es GSMK (Gaussian Minimum Shift Keying), la cual pertenece al tipo de modulaciones de fase. La modulación GSMK se puede entender con ayuda de la figura 1.5.1 que muestra componentes reales e imaginarios de la señal transmitida. La transmisión de un bit cero o un bit uno está representada por un cambio de fase. En este caso cada cambio de fase representa la transmisión de un bit.

El sistema GSM puede brindar servicios como SMS, correo de voz, correo de fax, entre otros.

1.5.3 GPRS (General Packet Radio Service)

GPRS es una tecnología que complementa a GSM y a TDMA para así servir como peldaño a la evolución de WCDMA (Wide Code Division Multiple Access). GPRS hace posible que se pueda enviar y recibir datos en un teléfono celular. GPRS utiliza conmutación por paquetes⁶, lo cual hace más eficiente el ancho de banda utilizado, ya que una célula puede atender a más usuarios por ancho de banda. Teóricamente se puede alcanzar una velocidad máxima de 171.2 kbps (si se utilizan los 8 Time Slots para un solo usuario y sin contar con protección contra errores), lo cual es alrededor de diez veces más rápido que la red GSM por conmutación de circuitos⁶ (14.4 kbps en promedio). Sin embargo, las redes celulares no pueden asignar esta velocidad a los usuarios, debido al número de éstos que deben de atender. Generalmente a cada usuario se le asigna de uno a tres Time Slots, por lo que se reduce drásticamente la velocidad de transmisión a tasas del orden de 14 kbps en el enlace reverse (del handset a la radiobase) y de 28 kbps a 64 kbps en el forward (de la radiobase al handset).

Otra ventaja de GPRS es que puede interactuar muy bien con la red de Internet, pues utiliza los mismos protocolos. Cada usuario de GPRS puede ser visto como un host móvil, el cual puede tener su propia dirección IP. GPRS, al igual que GSM utiliza la modulación GMSK⁷, la cual no es óptima.

El sistema GPRS envía los paquetes de información por diferentes trayectorias para alcanzar un destino común, esto abre el riesgo de que algunos paquetes se pierdan o puedan ser dañados en el trayecto, por lo que se tienen que aplicar técnicas de retransmisión, aunque esto no evita que se tenga un gran retardo en las transmisiones. Este retraso hace que GPRS no sea bueno al proporcionar servicios de video, sin embargo, para estos casos

⁶ La *conmutación de circuitos* es un método de conmutación en el que se establece, mantiene y termina un circuito físico dedicado a través de una red de transporte para cada sesión de comunicación. Al igual que los enlaces punto a punto, los circuitos conmutados manejan principalmente dos tipos de transmisiones: de datagramas y de ráfagas de datos. Este tipo de comunicación es bastante utilizada por las compañías de comunicaciones para la interconexión de enlaces, y su forma de operar es muy similar a la de una llamada telefónica normal.

La *conmutación de paquetes* es un método de conmutación en el que los dispositivos de la red comparten un único enlace punto a punto para transferir los paquetes desde el origen hasta el destino a través de la red de transporte. Se utiliza multiplexaje estadístico para permitir que los dispositivos compartan los circuitos.

⁷ Gaussian Minimum Shift Keying.

se puede usar la tecnología HSCSD⁸, la cual está basada en la transmisión de datos por conmutación de circuitos.

HSCSD requiere solo cambios software en la infraestructura del operador, mientras que para evolucionar una red GSM a GPRS se necesitan agregar dos módulos: el GGSN (Gateway GPRS Service Node) y el SGSN (Serving GPRS Service Node). El GGSN funciona como compuerta entre la red GPRS y la Red Pública de Datos. Mientras que el nodo SGSN se encarga de asignar trayectorias a los paquetes de información desde un área hacia todos los usuarios que se encuentren dentro de ella.

Además se tiene que instalar unidades que controlen los paquetes llamadas PCU (Packet Control Units), las cuales generalmente se alojan en las estaciones base. Estas sirven también para localizar a los usuarios de GPRS.

1.5.4 EDGE

EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) es una evolución de GPRS, la cual proporciona a los usuarios la capacidad de enviar y recibir datos, servicios de posicionamiento, conectarse a Internet a una velocidad de 384 kbps, siendo ésta alrededor de tres veces mayor a velocidad que maneja GPRS. Además EDGE provee servicios y beneficios de redes GSM. Debido a que EDGE es una evolución de GSM y GPRS, funciona en las mismas frecuencias que estas últimas, usa la misma estructura de frame y como método de acceso utiliza TDMA. También emplea una portadora con un ancho de banda de 200 kHz. Esto permite que los proveedores de servicios GSM o GPRS puedan evolucionar a EDGE sin cambiar totalmente la estructura y funcionamiento de sus redes.

Para los proveedores de servicio, el uso de EDGE significa un incremento del triple de usuarios de los que pudieran soportar usando tecnología GPRS o aumentar en tres veces su capacidad de transmisión de datos, o simplemente proporcionar una mejor calidad de voz en sus comunicaciones.

Tomando en cuenta sólo la transmisión por paquetes, EDGE es más veloz que GPRS, debido a que utiliza una técnica de modulación distinta y agrega un canal de codificación, el cual puede ser usado para transmitir voz y servicios de datos. Debido a esta razón utiliza otros protocolos para llevar a cabo los enlaces. Sin embargo, EDGE solo introduce cambios físicos en las estaciones base de las redes GPRS, por lo que permite que coexistan las transmisiones por conmutación de paquetes y por circuitos.

En la tabla 1.5.1 se pueden observar las diferencias existentes entre las tecnologías GPRS y EDGE.

⁸ HSCSD (High Speed Circuit Switched Data). HSCSD es una especificación de la Fase 2+ de GSM, homologada por el ETSI (European Standard Institute) en febrero de 1997 y comercializada a partir de 1999. Se trata de un servicio multi-slot de transmisión de datos a alta velocidad mediante circuitos conmutados. El HSCSD, junto con el esquema de codificación mejorado de 14.4 Kbps, permite velocidades de transmisión de datos de hasta 57.6 Kbps, combinando varios slots de 9.6 Kbps o 14.4 Kbps (hasta 4 canales simultáneamente). Con esta tecnología el número de slots usados en cada instante por una comunicación de datos es variable dependiendo de la saturación de la célula en la que esté operando el teléfono móvil.

	GPRS	EDGE
Modulación	GMSK	8 PSK/GMSK
Tasa de Bits en Modulación	270 kbps	810 kbps
Radio: Tasa de datos por Time Slot	22.8 kbps	69.2 kbps
Usuario: Tasa de datos por Time Slot	20 kbps	59.2 kbps
Usuario: Tasa de datos por 8 Time Slots	160 kbps	473.6 kbps

Tabla 1.5.1.⁹ Diferencias GPRS vs. EDGE.

Por otro lado EDGE utiliza una modulación llamada 8PSK (8 Phase Shift Keying). 8PSK es una modulación lineal en la cual tres bits componen un símbolo. El número de símbolos transmitidos en un tiempo es igual al de GSM, sin embargo, cada símbolo representa 3 bits, por lo que triplica la tasa de transmisión de datos. Debido a que la distancia inter-simbólica es más pequeña, se incrementa el riesgo de tener errores de interpretación, ya que es más difícil detectar el símbolo recibido. Pero en condiciones normales de transmisión, esto no sucede, además se puede agregar bits extra de control. Las condiciones anormales de transmisión se producen por efectos de interferencia, niveles no adecuados de potencia, altas velocidades de movilidad, etc.

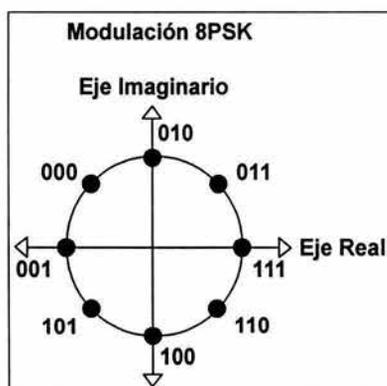


Figura 1.5.2. Modulación 8PSK

En lo referente a los métodos de codificación, GPRS usa cuatro diferentes métodos, del CS1 al CS4, los cuales varían en la capacidad de corrección de errores, dependiendo del medio ambiente que se tiene para transmitir.

⁹ La diferencia en la tasa de datos del usuario y de la radiobase son los bits agregados en el header utilizados por las radiobases para una transmisión de datos exitosa. La tasa de datos conocida para EDGE es de 384 kbps, la cual es definida por la ITU (Internacional Telecommunications Union) como la tasa de datos límite para proveer dicho servicio con tecnología EDGE. La velocidad de 384 kbps equivale a tener una tasa de datos por Time Slot de 48 kbps.

EDGE tiene nueve métodos de codificación llamados MCS (Modulation Coding Scheme), los cuales van del MCS1 al MCS9. Del MCS1 al MCS4 se utiliza el tipo de modulación GMSK, y a partir del MCS5 al MCS9 están diseñados para soportar la modulación 8PSK.

En la tabla 1.5.2 se muestra la velocidad máxima de transmisión antes de que cada método de codificación se sature.

Método de codificación	Velocidad de transmisión máxima
CS1	8 kbps
CS2	12 kbps
CS3	14.4 kbps
CS4	20 kbps
MCS1	8.4 kbps
MCS2	11.2 kbps
MCS3	14.8 kbps
MCS4	17.6 kbps
MCS5	22.4 kbps
MCS6	29.6 kbps
MCS7	44.8 kbps
MCS8	54.4 kbps
MCS9	59.2 kbps

Tabla 1.5.2. Velocidades máximas de transmisión.

* CS1 y MCS1 se saturan a diferente velocidad, debido a que el tamaño de los headers para GPRS y para EDGE cambia. Además en EDGE se puede hacer resegmentaciones, lo cual quiere decir que si un paquete es enviado con un método de codificación elevado (método de codificación elevado contiene menos correcciones de error), se puede retransmitir con un método de codificación menor, si lo requiere el caso.

En el caso de GPRS no se puede tener una resegmentación, por lo que si el paquete enviado no fue decodificado correctamente, simplemente se retransmite usando el mismo método de codificación, aún si el ambiente ha cambiado.

Como un ejemplo se puede tener el caso de una transmisión de 6 bits, primero el controlador de la estación base decide enviar los primeros 4 bits, sin embargo el Handset recibe sólo los dos primeros correctamente, por lo que pide que sean retransmitidos los bits 3 y 4. El controlador decide cambiar el método de codificación que tenga un mayor número de correcciones de bits, sin embargo, debido a que GPRS no maneja la resegmentación, los bits 3 y 4 son transmitidos con el mismo método de codificación con el que fueron mandados por primera vez, y los bits 5 y 6 ya son transmitidos con el nuevo método de codificación que contiene un número mayor de correcciones, por lo que no se garantiza que los bits 3 y 4 lleguen correctamente en la retransmisión. Es por eso que en GPRS se debe de tener cuidado al escoger la codificación para evitar las retransmisiones. Existe un algoritmo

que de acuerdo a las condiciones de confianza del enlace, decide el método de codificación (MCS) a emplear automáticamente.

Para convertir una red GPRS en una EDGE, lo único que se tiene que modificar es la estación base, ya que el nuevo transceiver debe ser capaz de manejar la modulación 8PSK, así como también se requiere de un software nuevo que habilite el nuevo protocolo tanto en la radiobase como en su controlador. El núcleo de la red no requiere de nuevas adaptaciones. Además, se puede usar una terminal que sólo tenga capacidad de manejar 8PSK en el enlace forward o también se puede usar una terminal que maneje 8PSK tanto en el enlace reverse como en el forward.

1.5.5 CDMA (Code Division Multiple Access)

El estándar de la tecnología CDMA (IS-95) está basado en la comunicación de espectro disperso. CDMA utiliza un canal de 1.25 MHz para atender simultáneamente a varios usuarios, a los cuales se les asigna un código único, de esta manera los usuarios comparten los 1.25 MHz sin tener interferencia entre ellos, debido a que cada usuario recibe y envía su información de acuerdo a su código único. Las señales transmitidas en los códigos restantes, son vistas por cada usuario como si fuese ruido, de esta manera se asegura que cada usuario tenga una comunicación exitosa, la cual no depende de las señales de otros usuarios.

En 1995, la tecnología CDMA fue lanzada comercialmente, desde ese entonces CDMA ha tenido un crecimiento muy rápido debido a su eficiencia y a su calidad de sus comunicaciones, puesto que soporta más del doble de usuarios por ancho de banda comparado con tecnologías que no están basadas en CDMA hablando en un contexto de 2G.

CDMAOne es un estándar considerado como tecnología 2.5G. CDMAOne describe completamente las especificaciones y la operación de un sistema inalámbrico basado en las revisiones IS-95A y IS-95B, el cual está basado principalmente en el estándar (IS95-B). CDMAOne incrementa la capacidad en 4 a 5 veces la que se tiene con sistemas GSM. Además simplifica la planeación del sistema celular, permitiendo la posibilidad de tener menos células. Por otra parte permite manejar el ancho de banda bajo demanda.

La evolución de CDMAOne es CDMA2000, el cual es un estándar aprobado por la ITU que está desarrollado para cumplir con los requerimientos de la telefonía celular de Tercera Generación.

CDMAOne y CDMA2000 han sido implantados en cuarenta países haciendo un total de 120 carriers que ofrecen sus servicios con estas tecnologías. En E.U.A. se encuentra el mayor número de usuarios que utilizan CDMA, aunque también se tiene usuarios en países como Rusia, Hong Kong, Australia, Japón, Corea del Sur y en Latinoamérica.

CDMA2000 incluye tecnologías como CDMA2000 1X y CDMA2000 1XEV.

CDMA2000 1X maneja tasas de transmisión hasta de 307 kbps, mientras que CDMA2000 1XEV-DO maneja velocidades hasta de 2.4 Mbps, soportando así transferencia de archivos a gran velocidad y servicios de video. CDMA2000 1XEV-DV provee simultáneamente servicios de voz y transferencia de paquetes de datos a velocidad de 3.09 Mbps.

CDMA2000 mejora la capacidad de voz en el enlace forward, debido a que se cuenta con un control de potencia muy rápido y a que utiliza una diversidad de rutas para su transmisión (Rayleigh fading).

Otra ventaja de CDMA2000 es que puede ser utilizado en cualquier espectro celular PCS o en el nuevo espectro asignado por el IMT-2000. Actualmente se ha instalado en las bandas de 450 MHz, 800 MHz, 1700 MHz y 1900 MHz, aunque también puede ser instalado en bandas como 900 MHz y 1800 MHz, debido a su gran eficiencia espectral, puesto que se necesita un canal de 1.25 MHz. Por otra parte, CDMA2000 incrementa la vida de la batería del Handset. Además esta tecnología cuenta con sincronización UCT (Universal Coordinated Time), lo cual ayuda a mejorar los procesos de adquisición de canales y el del handover, además de permitir un mejor desempeño de sistemas de localización de posición. CDMA2000 utiliza el soft handover (es por eso que WCDMA lo utiliza también). Así también se demultiplexa y se modula en dos señales ortogonales, las cuales pueden ser transmitidas a la misma frecuencia por dos antenas. Estas señales ortogonales pueden ser generadas por OTD (Orthogonal Transmit Diversity) o por STS (Space-Time Spreading). El receptor puede reconstruir ambas señales sin ningún problema.

En CDMA2000 se maneja la siguiente estructura de canales que incluye varios tipos de canales físicos:

- El canal F-FCH (Fundamental Channel) es similar al TCH (Traffic Channel) manejado por el IS-95. Este canal puede ser utilizado para voz, datos o para señalización, manejando tasas desde 750 bps hasta 14.4 kbps.
- El canal F-SCH (Supplemental Channel) soporta servicios que requieran tasas altas de datos.
- El canal F-DCCH (Dedicated Control Channel) es usado para señalización. Este canal permite enviar información de señalización sin tener repercusiones en un canal de datos que se esté manejando paralelamente.

Por estos motivos la migración a esta tecnología es de gran importancia e interés por los carriers, además existe una manera de evolucionar a CDMA2000 1X teniendo un sistema GSM.

1.5.6 WCDMA (Wideband CDMA)

WCDMA está desarrollado para proporcionar servicios multimedia que soporten un roaming internacional. WCDMA utiliza un canal de 5 MHz.

WCDMA usa un control de potencia que regula las transmisiones de la terminal móvil y de la estación base, reduciendo así la interferencia e incrementando el número posible de usuarios. Todos los usuarios deben proporcionar el mismo nivel de potencia a la estación base, para que de esta manera la estación base pueda atender a todos sin ningún privilegio. Es por esto que WCDMA utiliza un mapeo de potencia 1500 veces por segundo, con lo que se asegura que los cambios rápidos en el medio sean tomados en cuenta correctamente. Este control de potencia es tanto en el enlace forward como en el reverse, por lo que estos cambios de potencia deben de ser medidos tanto en las estaciones base como en los Handsets. Debido a este control de potencia se produce un fenómeno denominado “cell breathing”, lo que significa que el tamaño de la célula varía de acuerdo al tráfico que se tenga. Si se tiene mucho tráfico, se genera un nivel de interferencia alto, por lo que los usuarios deben de estar más cerca de la estación base.

WCDMA utiliza lo que se conoce como *Soft Handover*, el cual consiste en que un Handset puede comunicarse con dos o más células. El Handset debe de mantener la continuidad de la conexión cuando pasa de una célula a otra, por lo que momentáneamente ajusta su potencia a la estación base que requiere de un menor nivel de potencia. Una vez que ha pasado a la estación base destino se vuelve a realizar otro ajuste de potencia.

Existe otro tipo de handover que utiliza CDMA, llamado *Softer Handover*. La diferencia entre el Soft y el Softer Handover es que en el Soft Handover el Handset está conectado a células múltiples a través de diferentes estaciones base, en cambio, en el Softer Handover el Handset está conectado a varias células en la misma estación base. Soft Handover requiere de recursos de hardware adicional en la red.

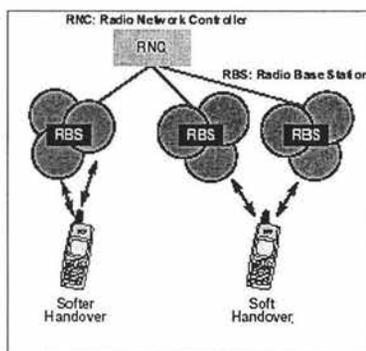


Figura 1.5.3. Soft/Softer Handover

Una red bien diseñada debe tener de 30% a 40% de sus usuarios en Soft o Softer Handover.

Debido a que los Carriers necesitan migrar sus redes a WCDMA poco a poco, las tecnologías GSM y WCDMA deben coexistir, de tal manera que se necesite tener un handover entre una región que maneje WCDMA y otra GSM.

Así también, WCDMA cuenta con un control de congestión, el cual es causado principalmente por usuarios que se mueven a una célula que ya tiene demasiados usuarios atendiendo. Si existe una sobrecarga, existen cuatro acciones que pueden ser llevadas a cabo. La primera es el reducir la tasa de bits en aplicaciones de tiempo no real. La segunda acción es el realizar un handover, de tal manera que mueve a algunos usuarios a otras células. La tercera es realizar el handover al sistema GSM si es que éste existe. La cuarta opción es cancelar las conexiones de los nuevos usuarios, de tal manera que se mantengan las conexiones que ya se han establecido.

WCDMA utiliza básicamente dos tipos de canales, los dedicados y los comunes. Los canales dedicados son para transportar cantidades de información grandes, como una conversación de voz, o la descarga de una página Web. Los canales comunes son utilizados para transferir información muy limitada, su beneficio es que varios usuarios pueden compartir el mismo recurso a través de este tipo de canales, evitando retardos.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*

Capítulo



Servicios

2.1 Definición de banda ancha

En realidad, no existe oficialmente una definición de Banda Ancha, sin embargo este término se puede entender como una conexión a una red alámbrica o inalámbrica que soporte una tasa de transmisión de datos muy alta por segundo, para proveer servicios de comunicación como video en tiempo real (ya sea bidireccional o de punto a punto), transmisión de datos a muy alta velocidad, conexiones ilimitadas y siempre disponibles a Internet, Streaming de alta calidad para proporcionar servicios multimedia como video y audio.

No se puede hablar de un límite en la velocidad de transmisión para determinar a un servicio de banda ancha, sin embargo es muy común que a conexiones abajo de los 100 kbps ya no se les considere viables como para proporcionar servicios de banda ancha.

Para obtener servicios de banda ancha existen tres maneras de conseguirlos: por conexión por cable con tecnologías como ATM, Ethernet, ADSL y otros tipos de tecnologías DSL, conexión vía satélite y comunicaciones inalámbricas (todas ellas fijas).

Con la siguiente generación de tecnología satelital que utilizará la banda Ka, se tiene planeado como uno de los servicios satelitales, el proveer acceso a Internet a muy alta velocidad. Actualmente se ofrecen servicios satelitales con velocidades desde 155 Mbps, sin embargo este tipo de conexiones solo las pueden pagar empresas grandes y gubernamentales.

En las comunicaciones inalámbricas, la telefonía celular de tercera generación es la promesa de ser la tecnología más popular que proporcione servicios de banda ancha a velocidades de 2 Mbps, aunque de acuerdo con la ITU la tercera generación inalámbrica se considera desde velocidades de 144 kbps.

Tomando en cuenta las ventajas que ofrecen estas formas de tener servicios de banda ancha, el usuario podrá obtener la tecnología que le sea más accesible a su bolsillo y más cómoda a sus necesidades, incluso puede utilizar una combinación de ellas, lo que hace pensar que los servicios de banda ancha tendrán un buen futuro.

2.2 Servicios de banda ancha

Los servicios móviles de banda ancha pueden tener diversas clasificaciones. Una de ellas hace una distinción entre los servicios de distribución y los servicios interactivos e identifica los tipos de información que soportan cada uno.

Asimismo, se puede hacer una clasificación de los parámetros de caracterización involucrados, como lo pueden ser las características de los servicios, los parámetros de tráfico y comunicaciones, los componentes del servicio y los escenarios de operación de los mismos. Este último punto tiene una gran importancia debido a que al tener la necesidad de realizar un estudio de tráfico de un sistema móvil de banda ancha (MBS¹⁰) empleando una

¹⁰ Mobile Broadband System

considerable diversidad de aplicaciones, uno de los puntos clave es la definición de su ambiente principal de operación con su respectivo escenario de despliegue, como lo puede ser el escenario residencial, el de negocios, el de mercados industriales, etc., con el objetivo final de contar con información valiosa que permita una buena predicción en cuanto al uso de las aplicaciones se refiere.

Una de las situaciones que se prevé sucederá en alrededor de 10 años, es que los sistemas móviles de banda ancha jugarán un papel muy importante en el mercado de las comunicaciones móviles. Esta importancia será más perceptible en las zonas urbanas, y en específico en ciertos puntos de interés de las grandes ciudades donde se cree habrá gran demanda de estos servicios.

No obstante, existen ciertas dificultades que han contribuido en cierta medida al retraso del despliegue de las redes de acceso de banda ancha. Estas dificultades tienen que ver con los problemas para identificar los servicios principales y las aplicaciones potenciales de los sistemas móviles que se podrían implementar. Igualmente, existe la incertidumbre de saber qué tanto se están tomando en cuenta las necesidades o los gustos de los usuarios potenciales, ya que en general se percibe en algunos escenarios una falta de interés por parte de los consumidores para hacer uso de las aplicaciones o contenidos que se puedan ofrecer. Por tanto, se podría sugerir, para un lograr un despliegue más adecuado, el dejar un poco de lado la insistencia de desarrollar los servicios únicamente desde el punto de vista técnico de las telecomunicaciones o de ingeniería, por lo que un buen estudio de mercado influiría positivamente en el desarrollo de una aplicación, ya que así se tomarían en cuenta las necesidades reales de los usuarios y por consiguiente se tendría una mayor probabilidad de ofrecer servicios que pudieran ser aceptados de una manera exitosa por el público para el que finalmente irían dirigidos.

Aunado a lo anterior, vale la pena señalar que incluso el conjunto de aplicaciones para el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS¹¹) aún no se encuentra definido en su totalidad. Para ello, y regresando a la cuestión referente a la importancia de un buen estudio de mercado, se deben obtener respuestas a preguntas tales como: ¿qué es lo que los clientes requieren?, ¿qué precio están dispuestos a pagar por los servicios de banda ancha?, ¿cuál será la expectativa de crecimiento del mercado que se puede tener?, etc., de manera que los consumidores empleen sus unidades portátiles especialmente diseñadas para algo más que el servicio de voz al cual están acostumbrados.

Dentro de los aspectos técnicos que se deben tomar en cuenta para el despliegue de los servicios de datos a gran velocidad se encuentra la necesidad de determinar la cantidad de recursos que deberá tener cada célula, los cuales dependerán obviamente de la cantidad de usuarios totales que se tengan y de la diversidad de aplicaciones que soporte la misma. Como es de esperarse, diferentes tipos de aplicaciones requerirán diferente cantidad de recursos y de componentes, por lo que se espera que los MBSs den soporte a los servicios que van desde un solo usuario hasta los multiusuarios.

¹¹ Universal Mobile Telecommunications System, equivalente a WCDMA. Es un sistema 3G estandarizado por el grupo de trabajo 3GPP.

Con el objetivo de definir más claramente lo que son los servicios móviles de banda ancha, cuyas fronteras en cuanto a tasas de transmisión, escenarios de operación y movilidad aún están un poco dispersas, se puede decir que para diferenciar a este tipo de sistemas de los demás, valdría la pena mencionar el panorama completo que se presenta, por lo que a continuación se especificarán los conceptos involucrados, así como su respectiva evolución.

En términos de la movilidad de las terminales y de las velocidades de transferencia de información soportadas, se considera que la operación de los MBSs comienza donde termina el UMTS. Primeramente, y bajo iniciativas europeas sobre los sistemas móviles se asumió que el sistema universal de telecomunicaciones móviles soportaría tasas de transmisión de hasta 2 Mbps en cualquier escenario móvil. No obstante, con la estandarización del UMTS, este concepto evolucionó en cierta manera; la frontera actual del UMTS con respecto a los MBSs se presenta en la figura 2.2.1 que aparece a continuación.

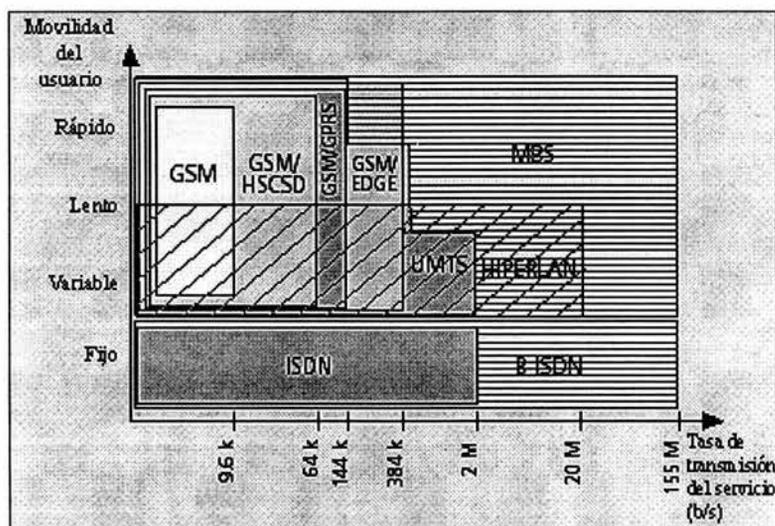


Figura 2.2.1. Frontera entre UMTS (WCDMA) y los MBSs

La figura anterior tiene forma de escalera, la cual muestra que los 2 Mbps únicamente pueden ser alcanzados en UMTS por terminales con movilidad variable, mientras que las terminales de movilidad lenta o rápida tienen acceso a comunicaciones de hasta 384 kbps y 144 kbps respectivamente. Además de esto, se presenta el concepto de la evolución de GSM y sus respectivas modalidades, las cuales, como ya se mencionaron previamente son: High Speed Circuit Switched Data (HSCSD), General Packet Radio System (GPRS) y Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE). De cualquier forma, otra estructura en forma de escalera tiende asimismo a aparecer en la región donde se tienen las tasas de transmisión más altas en los MBSs, donde velocidades de 155 Mbps aún se consideran alcanzables en escenarios de alta movilidad. Cabe señalar que una desventaja se hace clara

debido a que los sistemas móviles de banda ancha son sistemas microcelulares por sus características intrínsecas y por tanto, la propagación de las señales se viene realizando principalmente en línea de vista (LoS¹²), lo que conlleva a que su despliegue parezca impráctico en zonas rurales.

2.2.1 Clasificación de servicios de banda ancha

La clasificación de servicios y aplicaciones de banda ancha se lleva a cabo de acuerdo a la recomendación ITU-T I.211, la cual es para redes digitales de servicios integrados de banda ancha fijas (B-ISDN), e incluye aplicaciones con tasas de transmisión comparables a las de los MBSs (por ejemplo, video de alta definición y aplicaciones de gran contenido multimedia).

2.2.1.1 Definición de aplicación

Una aplicación se puede definir como una tarea que requiere comunicación de uno o más flujos de información entre dos o más personas que se encuentran geográficamente separadas y que es caracterizada precisamente por las particularidades del servicio al que pertenece, incluyendo las cuestiones relacionadas con el tráfico y las comunicaciones.

Un conjunto de aplicaciones con detalles similares, o incluso una sola aplicación, puede ser clasificada como un servicio. En el caso de tener varias aplicaciones consideradas como servicio, éstas deberán tener de manera general claro está, algunas características en común como las mencionadas previamente. La anterior vendría siendo una forma general de clasificar las aplicaciones y agruparlas en clases (de servicios), como se hace en la recomendación ITU-T I.211, la cual se puede generalizar para el mercado de comunicaciones móviles. Es en este contexto que los servicios son primeramente clasificados con relación a sus características de servicio si poseen lo siguiente:

- Dependencia intrínseca del tiempo. TB: basados en el tiempo (time-based) o NTB: no basados en el tiempo (non-time-based).
- Requerimientos de entrega. En tiempo real (real-time) o no en tiempo real (non-real-time).
- Direccionalidad. Unidireccional (Und) o bidireccionales (Bid).
- Simetría de la comunicación. Sym: simétrica (symmetric) o Asy: asimétrica (asymmetric).
- Interactividad.
- Número de usuarios.

¹² Line of Sight

Cabe señalar que por ejemplo, la comunicación puede ser unidireccional (Und) o bidireccional (Bid), y ésta última puede ser simétrica (Sym) o asimétrica (Asy). Igualmente es importante hacer una distinción entre lo que son los conceptos de dependencia intrínseca del tiempo y los requerimientos de entrega. La información basada en el tiempo (TB) debe de ser presentada en instantes específicos para que el receptor pueda interpretar correctamente su significado, llevándose a cabo de esta manera una correcta comunicación, es decir, el tiempo resulta una parte integral de la información a ser comunicada y/o la información tiene una componente de tiempo. Normalmente, los tipos de información basados en el tiempo incluyen al video, al audio y a las animaciones, en tanto que ejemplos de información no dependiente del tiempo (NTB) serían las imágenes, los gráficos y el texto. No obstante, resulta comprensible que una aplicación pueda incluir ambos tipos de información (TB y NTB).

En lo relativo a los requerimientos de entrega, una aplicación en tiempo real (RT) es aquella que requiere de la transmisión de información para su consumo inmediato; en contraste, la información no requerida en tiempo real puede ser almacenada (posiblemente de manera temporal) en los equipos receptores para su uso posterior. La primera, por sus mismas características, necesitaría suficiente ancho de banda, mientras que la última estaría condicionada a tener suficiente espacio de almacenamiento (y probablemente ancho de banda también si se provee a grandes velocidades).

De acuerdo a la recomendación ITU-T I.211, los servicios pueden ser clasificados como interactivos o distribuidos como ya se ha mencionado. A manera de descripción, los servicios interactivos realizan el intercambio de información en dos sentidos (aparte de la señalización de control) entre dos suscriptores o entre un suscriptor y el proveedor del servicio, e incluyen las siguientes tres categorías: conversacional, de mensajería y los servicios de recuperación. Los servicios distribuidos son aquellos cuya transferencia de información es fundamentalmente en un solo sentido (one-way), desde el proveedor de servicios hasta el suscriptor, e incluyen los servicios de radiodifusión, donde el usuario no tiene control sobre la manera en que se presenta la información, y los servicios cíclicos que permiten al usuarios tener hasta cierto punto un poco de control en lo que a la presentación se refiere.

A continuación se presenta una breve definición de las categorías mencionadas en el párrafo anterior:

- *Servicios de conversación o conversacionales.* Son aquellos que proveen los medios para la comunicación de diálogos bidireccional (Bid) en tiempo real (RT) y sin necesidad de almacenamiento (not store-and-forward), por lo que la información de extremo a extremo (end-to-end) se transfiere entre dos usuarios o entre un usuario y el proveedor de servicios anfitrión.
- *Servicios de mensajes o de mensajería.* Ofrecen comunicación NRT de usuario a usuario (user-to-user) entre suscriptores individuales vía unidades de almacenamiento con funciones de buzón, “store-and forward”, manejo de mensajes, etc. (por ejemplo conversión, procesamiento y edición de la información).

- *Servicios de recuperación.* Le dan al usuario la capacidad de recuperar la información almacenada en los centros de información (generalmente disponibles para uso público). Esta información es enviada al usuario únicamente sobre demanda con la posibilidad de ser recuperada en forma individual.
- *Servicios de radiodifusión.* Proveen un flujo continuo de información, el cual es distribuido desde un emisor o fuente central hacia un número ilimitado de receptores autorizados que estén conectados a la red. Los usuarios pueden acceder a este flujo de información pero no tienen control sobre la información a la que tienen acceso, como lo puede ser el orden de presentación o la fecha y el tiempo de inicio de la información difundida.
- *Servicios cíclicos.* Este tipo de servicios permiten distribuir la información de la fuente central a un gran número de usuarios. Sin embargo, la información se suministra como una secuencia de entidades de la misma (frames por ejemplo) con una repetición cíclica. Es de esta manera que el usuario tiene la capacidad de acceder a la información cíclicamente distribuida y puede además, a diferencia de los servicios de radiodifusión, disponer del control acerca del inicio y el orden de presentación de la información.

Los componentes de los servicios básicos son el audio, el video y los datos. Por otra parte, el audio puede ser subdividido en voz (Voice: VOI) y audio de alta fidelidad (High-fidelity: HIF), el video puede ser soportado por video interactivo (Interactive video: IVI) y video de alta definición (High-definition video: HDV), en tanto que los datos pueden soportar tasas de transmisión bajas (Low data rates: LOD), medianas (Medium data rates: MED), y altas (High data rates: HID). Otra alternativa para los datos podría ser dividirlos en RT y NRT.

Aparte del componente de audio, el cual no se considera relevante para los análisis de tráfico en los sistemas móviles de banda ancha, los siguientes tipos de información se pueden identificar en la recomendación ya comentada: imágenes en movimiento o video, documentos (multimedia), datos, texto, gráficos e imágenes fijas. De estos tipos, una cantidad considerable de combinaciones puede ser distinguida. En términos de los tipos y categorías de información de la recomendación I.211, la clasificación de los servicios de comunicaciones móviles se presenta en la tabla 2.2.1, en la cual se añadieron algunos servicios inalámbricos y/o móviles específicos aparte de aquellos a los que refiere dicha recomendación.

Jerarquías del servicio	Tipos de información	Ejemplos de servicios de banda ancha	Ejemplos de aplicaciones	Características del servicio			
				Dep. intrínseca del tiempo	Req. de entrega	Direccionalidad	Simétrico/asimétrico
Interactivo, conversacional	Imágenes en movimiento y sonido	Videotelefonía HD	1. Tele-educación	TB	RT	Bid	Sym/Asy
		Videoconferencia ISDN	2. Tele-publicidad				Asy
		Vigilancia con video	3. Vigilancia móvil con video				

	Datos	Transmisión de información de audio/video	4. Radiodifusión de HDTV exterior.	NTB	NRT/RT		
		Transmisión de información a alta velocidad sin restricciones	5. Interconexión LAN inalámbrica				
		Transferencia de un gran volumen de archivos (FTP)	6. Transferencia de archivos de datos (FTP)				
	Documentos (multimedia)	Comunicaciones con imágenes de alta resolución	7. Imágenes profesionales	TB/NTB	RT		
		Comunicaciones con documentos variados	8. Multimedia de escritorio	TB			
			9. Servicios móviles de emergencia				
10. Asistencia móvil de reparaciones.							
11. Trabajo móvil a distancia (Teleworking)							
		12. Manejo de flotas y carga.			Sym		
Interactivo, mensajería	Documentos mezclados o variados	Correo multimedia	13. Buzón electrónico para multimedia	TB	NRT	Bid	Asy
Interactivo, recuperación	Texto, datos, gráficos, sonidos, imágenes fijas y en movimiento.	Servicios relacionados con comercio electrónico en general	14. Comercio electrónico	TB	RT	Bid	Asy
			15. Biblioteca multimedia				
			16. Información turística	NTB			
		Servicio de recuperación de datos	17. Llamadas de procedimiento remoto		NRT/RT		
		Servicio de recuperación de multimedia	18. Guías urbanas				
		19. Asistencia para viajeros					
Radiodifusión distribuida	Vídeo	MPEG2-4	20. Distribución de programas de televisión	TB	RT		
Distribución cíclica	Texto, gráficos, sonido e imágenes fijas	Radiodifusión de la videografía completa del canal	21. Periódicos electrónicos		NRT		

Tabla 2.2.1. Clasificación de servicios y aplicaciones en términos de categorías y tipos de información.

Vale la pena señalar que debido a que los componentes de los servicios se encuentran directamente relacionados con los tipos de información soportando a cada una de las aplicaciones, las jerarquías organizan a las mismas de acuerdo a los componentes del servicio que las soportarán.

En la tabla anterior se muestra para el conjunto de 21 aplicaciones las características de los servicios relacionados a ellas, excepto por la interactividad (debido a que cada aplicación es interactiva, incluso la distribución de los programas de televisión, considerando que aquí ya cuentan con un canal de retorno) y el número de usuarios: servicios de conversación y mensajería son comunicaciones uno-a-uno (excepto la videoconferencia, la cual es uno-a-varios); los servicios interactivos de recuperación de información son comunicaciones uno-a-uno, mientras que los servicios de distribución, como lo indica su propio nombre, son comunicaciones de uno-a-varios.

2.2.1.2 Parámetros de caracterización.

Más allá de las características de los servicios, ya presentados, se pueden identificar asimismo en las aplicaciones móviles de banda ancha los siguientes parámetros que las caracterizan: el tráfico, las comunicaciones, los componentes del servicio (y su comportamiento estadístico) y los ambientes de operación (donde la movilidad de las terminales es un aspecto importante).

Los escenarios móviles están caracterizados por una distribución triangular para velocidades promedio de $V_{prom} = 0, 1, 10, 15$ y 22 m/s ó $V_{prom} = 0, 3.6, 36, 54$ y 80 km/h para los escenarios estáticos (ST), peatonales (PD), urbanos (UB), en caminos (MR) y autopistas (HW) respectivamente. Los parámetros de caracterización restantes son los siguientes:

- *Características del tráfico.*
 - Proceso de generación de tráfico (por ejemplo con una distribución de Poisson o Bernoulli).
 - Distribución de la duración.
 - Duración promedio.
 - Tasas de transmisión.
 - Latencia/Retraso.

- *Requerimientos de la comunicación.*
 - Rafagacidad (Burstiness).
 - Clase del servicio.
 - Garantías contra errores.

- *Componentes del servicio.*
 - Distribución del proceso de generación (Poisson o Bernoulli por ejemplo).
 - Distribución de la duración.
 - Duración promedio.
 - Número de veces que se tiene acceso a cada uno.

- *Ambientes de operación.*
 - Entramado (Framework).
 - Naturaleza de las aplicaciones: Negocios (BUS) o familiares (FAM).
 - Ambientes: internos (Ind) o externos (Outd).
 - Escenario de movilidad (ST, PD, UB, MR y HW).
 - Provisión del servicio: público (PUB) o privado (PRI).
 - Escenario de despliegue.

De acuerdo a las características del tráfico, la tasa de transmisión de datos (R_b) determina la clasificación de las aplicaciones, las cuales pueden caer en MBS de nivel bajo ($R_b \leq 384$ kbps), medio ($384 \text{ kbps} < R_b \leq 2$ Mbps) y alto ($R_b > 2$ Mbps) de acuerdo a la figura 1.1. De igual manera es importante describir en forma precisa las suposiciones relativas a la latencia/retraso. Se dice que la latencia o retraso absoluto es uno de los parámetros de rendimiento claves para la calidad del servicio (QoS¹³) que deben ser satisfechos por la red de banda ancha. Con la finalidad de poder proporcionar una respuesta interactiva a los espectadores, la respuesta de tiempo entre la acción de un usuario y su correspondiente efecto debe ser menor de 100 ms. Para poder permitir videojuegos basados en la red con acciones no muy pesadas, se requiere de una respuesta de tiempo de 50 ms o menos. Lo anterior coloca una especie de barrera superior a los tiempos de transmisión en cada dirección, imponiendo así requerimientos mínimos de ancho de banda para los enlaces de subida y bajada. Por definición, únicamente se aplican los requerimientos de latencia para las aplicaciones RT o basadas en el tiempo; hasta ahora no hay requerimientos de este tipo para aplicaciones NRT, aunque el retraso asociado se identifica como una cuestión de la calidad de servicio.

Dentro de las características de las comunicaciones, la rafagacidad se define como la razón de la tasa de transmisión máxima y la tasa de transmisión promedio; muchos tipos de comunicaciones tienen alta rafagacidad por naturaleza. Si esta característica fuera reflejada adecuadamente en el diseño de la red, se conseguiría una economización considerable en dicho diseño. Respecto a las clases de servicio y de acuerdo a la terminología ITU-T, el tráfico de los servicios puede ser clasificado en:

- Tráfico isócrono (ISO). Es por conmutación de circuitos para poder evitar variaciones en los tiempos de retraso (en caso de una congestión la integridad debe ser garantizada).

¹³ QoS: Quality of service (Calidad de servicio)

- Tráfico no isócrono (NISO). Se fragmenta en paquetes conmutados que se entregan independientemente (también se entregan fuera de secuencia).

Para dar soporte a aplicaciones de banda ancha basadas en parámetros de calidad de servicio (QoS), se debe poder soportar asimismo a cinco clases de servicio: con tasa de bits constante (CBR), con tasa de bits variable en tiempo real (RT-VBR), con tasa de bits variable pero no en tiempo real (NRT-VBR), con tasa de bits disponible (ABR) y con tasa de bits sin especificar (UBR), siendo las primera dos isócronas y las últimas tres no isócronas.

2.2.1.3 Perspectivas clave para los escenarios de despliegue (el proyecto MBS)

En la perspectiva del proyecto de servicios móviles de banda ancha (MBS project), las aplicaciones pueden ser divididas en las que son de movilidad rápida, lenta (< 36 km/h) y variante, cada una teniendo diferentes tasas de transmisión asociadas. Las de movilidad rápida pueden ser las guías urbanas para la localización de direcciones, manejo de flotas y carga, servicios de emergencia, datos gráficos para viajes, información del transporte público, periódicos electrónicos, consejos sobre tráfico, televisión de alta definición (HDTV), bibliotecas audiovisuales y vigilancia de propiedades. Las que se asocian con movilidad lenta son las que se refieren por ejemplo a servicios bancarios, necesidades especiales (de salud), asistencia para reparaciones, interconexión para el diseño asistido por computadora (CAD), videoteléfono de alta definición, etc. Las de movilidad variable pueden ser aplicaciones de teleconsulta y LANs (WLANs) inalámbricas.

El proyecto MBS ha identificado asimismo los siguientes grupos de usuarios y estimado su penetración en el mercado.

- Profesionales de los servicios de emergencia (70%)
- Personas que conmutan (se trasladan) para trabajar (30%)
- Profesionales móviles o que están disponibles las 24 hrs. bajo petición (por ejemplo ciertos doctores). (50%)
- Familias/Turistas (20%)
- Grupo de especialistas (no relacionados a otras aplicaciones) – Penetración no determinada.

2.2.1.3.1 Foro UMTS

El Foro UMTS ha descrito seis ambientes de operación diferentes:

- CBD. Distrito en una ciudad de negocios (en edificios).
- Suburbano (en edificios o en calles).
- Casa.
- Urbano (peatonal).
- Urbano (vehicular).
- Rural al aire libre y en interiores.

La densidad de usuarios potenciales por kilómetro cuadrado y los tipos de células previstas han sido identificados también para los escenarios con movilidad baja (peatonal), mediana y alta.

Inicialmente se asumió que los servicios se desplegarían en una plataforma existente DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) y GSM. No obstante, la capacidad de UMTS es mayor a la de GSM, aunque también depende de las tasas de transmisión de los servicios y del uso de las terminales de movilidad baja/alta. Se prevé que para el 2010 el radio de las células va a estar al límite (por ejemplo 75 metros para CBD, 2 km para células suburbanas y 600 m para células urbanas) debido a que una reducción mayor podría no ser económicamente factible.

Para poder alcanzar la cantidad de usuarios activos, resulta necesario conocer el número de intentos de conexión en la hora pico (busy hour connection attempt: BHCA), el cual se define como la relación del número total de conexiones entre el número total de suscriptores localizados durante la hora pico en el área de medición considerada.

A continuación se presentan algunas notaciones y definiciones debido a que en ocasiones se emplean diferentemente (por ejemplo las notaciones) cuando se consultan varias fuentes. Como en la presente tesis se trabaja con aplicaciones que van más allá de simplemente usar el servicio de voz, se empleará el término de *conexión* en vez de referirse a una *llamada*. El número total de usuarios o suscriptores (M_j) de la aplicación j durante la hora pico se puede definir como una función de la penetración (P_j), es decir, $M_j = P_j \cdot M$, donde M es el número total de usuarios potenciales.

El *BHCA* de la aplicación j se puede determinar como la relación que hay entre el número total de conexiones activas de la aplicación (N_{conj}) y la cantidad total de suscriptores usándola dentro del área de conexión considerada en la hora pico, o sea:

$$BHCA_j = \frac{N_{conj}}{M_j}$$

de donde, el número total de conexiones activas de la aplicación j quedaría:

$$N_{conj} = BHCA_j \cdot P_j \cdot M$$

El uso de la aplicación j , U_j , se define como el porcentaje de conexiones de la aplicación relativas al número total de aplicaciones activas, y puede ser obtenido como una función del $BHCA_j$ en un escenario de despliegue dado como sigue:

$$U_j = \frac{N_{conj}}{\sum_i N_{conj}} = \frac{BHCA_j \cdot P_j}{\sum_i BHCA_j \cdot P_i}$$

donde la suma se realiza para todas aquellas aplicaciones que se encuentren operando dentro del escenario considerado.

Otra medida que se puede emplear para el “uso” de una aplicación dada j es la razón de hora pico (Busy Hour Rate: BHR_j), que se obtiene al dividir el número total de conexiones activas de la aplicación j entre la cantidad total de usuarios potenciales, es decir:

$$BHR_j = \frac{N_{conj}}{M} = \frac{N_{conj} \cdot P_j}{M_j}$$

de la expresión anterior se tiene que

$$BHR_j = BHCA_j \cdot P_j$$

lo cual lleva a la siguiente ecuación para el uso de la aplicación j como una función de la razón de hora pico:

$$U_j = \frac{BHR_j}{\sum_i BHR_i}$$

2.2.1.3.2 Escenarios de despliegue (Deployment scenarios)

Actualmente es todavía complicado tener una visión clara de todos los ambientes de operación en los servicios móviles de banda ancha (MBS), sin embargo, ya es posible distinguir claramente los siguientes (Figura 2.2.2):

- Centros de ciudades de negocios (BCC), vehiculares o peatonales.
- Áreas urbanas residenciales (URB), vehiculares o peatonales.
- Caminos primarios (ROA), incluyendo autopistas.
- Trenes (TRA).
- Zonas comerciales (COM), lugares públicos extensos.
- Oficinas (OFF), edificios, no residencial.
- Industria (IND), plantas o fábricas grandes.
- Casas (HOM), habitaciones en residencias.

Además del mercado residencial, también se puede considerar al de negocios, al mixto (mitad negocio y mitad residencial) y al industrial, pero con diversas suposiciones de demanda cada uno.

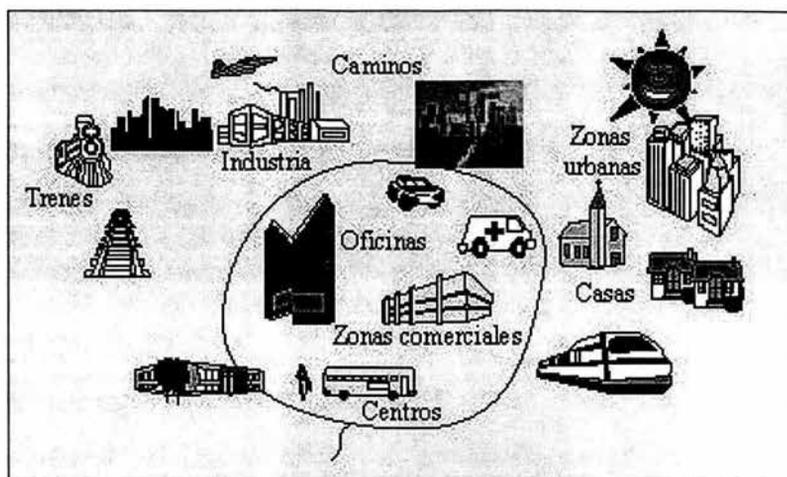


Figura 2.2.2. Escenarios para el despliegue de MBSs.

2.2.1.4 Predicciones del proyecto RACE-TITAN¹⁴

Predicciones para la demanda (definida como un porcentaje del mercado total) han sido extraídas para esta tesis del proyecto RACE-TITAN para el mercado residencial. De 2005 a 2010 se prevé que el incremento en la demanda de aplicaciones multimedia será de:

- Aplicaciones ISDN (< 144 kbps): 20-25 %.
- Aplicaciones de banda ancha de nivel medio: (de 144 hasta 2000 kbps): 10-15 %.
- Aplicaciones de banda ancha de nivel alto (de 2 a 8 Mbps): 2-5 %.

Por estos datos se puede asumir que las aplicaciones con tasas de transmisión en el rango de 144 a 384 kbps serán soportadas por los servicios móviles de banda ancha (MBSs). En consecuencia se ha considerado una aproximación de que en 2010, de las aplicaciones ISDN (25 %), dos quintas partes de la demanda total, lo que representaría 10%, se pueden incluir como aplicaciones MBS de nivel bajo y las restantes tres quintas partes (15%) como aplicaciones ISDN de datos.

De las predicciones del UMTS para 2005 se puede de igual manera concluir que para el mercado móvil, de las aplicaciones ISDN, 18 % van a ser de datos (< 144 kbps), en tanto

¹⁴ El proyecto RACE (Research in Advanced Communications in Europe) TITAN fue desarrollado por las siguientes instituciones y empresas: FRANCE TELECOM, CSELT, DEUTSCHE TELEKOM, ERICSSON RAYNET, KPN RESEARCH, NOKIA, TELECOM FINLAND, TELEFONICA, TELENOR, UNIVERSITY OF ATHENS, UNIVERSITY OF AVEIRO IT.

que solamente alrededor de 2% serán aplicaciones MBS de bajo nivel (de 144 a 384 kbps). Lo anterior significa que en el año 2010 el uso de esas aplicaciones MBS de bajo nivel (10 %), comparado a otras en el mercado móvil, será cinco veces más grande que en el 2005. Sin embargo, como la demanda se normaliza con el uso total de todas las aplicaciones, se puede decir que estas cantidades no reflejan de manera exacta el incremento en la cantidad total de usuarios, lo cual llevaría posiblemente a un incremento adicional en el uso de las aplicaciones MBS de bajo nivel.

2.2.1.5 Propuesta para las comunicaciones móviles de banda ancha

Partiendo de la información disponible para los servicios móviles de banda ancha, las HIPERLANs (tasas de transmisión mayores a 2 Mbps) y del UMTS (aplicaciones con velocidades de transmisión de 144 hasta 2 Mbps), en los casos presentados, es posible hacer una extrapolación actualizada para las comunicaciones móviles de banda ancha. Ya que la información del proyecto RACE-TITAN es para el mercado residencial, algunos cambios se han hecho para los mercados mezclados o mixtos y los de negocios (ver tabla 2.2.2).

Servicios	Tasas de Transmisión [kbps]	Demanda [%]					
		Residencial		Mezclado o mixto		Negocios	
Voz	-	55		40		25	
Datos sobre ISDN	< 144	15		15		15	
MBS de nivel bajo	[144,384]	10	30	15	45	20	60
MBS de nivel medio	[384,2000]	15		20		25	
MBS de nivel alto	> 2000	5		10		15	

Tabla 2.2.2. Suposiciones para varios mercados.

Se puede predecir que la demanda para las aplicaciones de banda ancha de nivel medio y alto tendrán un incremento de 5%, considerando desde el mercado residencial hasta el mixto, así como desde el mercado mixto hasta el de negocios, lo cual correspondería a un decremento en los mercados tradicionales, principalmente el de voz. Aunque estas estimaciones podrían parecer un poco agresivas o exageradas para aplicaciones que incluyen alta multimedia y video TB RT (Time Based-Real Time), posiblemente no lo son tanto. Tomando en consideración que estas aplicaciones únicamente serán introducidas o estarán disponibles para su uso al público en general en el contexto del UMTS en adelante y cuando las dificultades que se tienen en el diseño ergonómico de las terminales móviles se resuelvan, se puede pensar de manera creíble que un fenómeno comparable al Internet móvil con el i-mode¹⁵ ocurrirá. Debido a estos hechos, las predicciones correspondientes al uso de los servicios móviles de banda ancha se presentan en la tabla 2.2.3. Vale la pena señalar que a diferencia del proyecto RACE-TITAN, en la presente tesis se asume que tasas

¹⁵ La mayoría de los japoneses se encuentran experimentando su primer contacto con Internet móvil a través de terminales i-mode, el cual ha resultado un gran éxito comercial.

de transmisión de hasta 32 Mbps pueden ser alcanzadas en los servicios móviles de banda ancha. Incluso velocidades con un límite de 155 Mbps se considera que se alcanzarán en el futuro (por ejemplo con un servicio de clase ABR: Available Bit Rate o uno VBR: Variable Bit Rate con una garantía de un cierto ancho de banda mínimo).

Uso de los MBSs (Porcentaje en el mercado)		Residencial	Mezclado	Negocios	Industrial
MBS de nivel bajo	[144,384] kbps	33 %	33 %	33 %	22 %
MBS de nivel medio	[384,2000] kbps	50 %	45 %	42 %	53 %
MBS de nivel alto	> 2 Mbps	17 %	22 %	25 %	25 %

Tabla 2.2.3. Uso de los MBSs únicamente para cada mercado.

Los valores se incluyen para el mercado industrial asumiendo que las aplicaciones de banda ancha de nivel alto tienen el mismo rango de uso que las que son para el mercado de negocios, en tanto que las aplicaciones MBS de nivel bajo tienen un uso menor, lo cual resulta en que las de nivel medio tengan un rango de utilización mayor. Asimismo, se considera que el mercado residencial corresponde los escenarios de despliegue URB (Áreas urbanas residenciales), HOM (Casas), mezclados con los ROA (Caminos primarios), TRA (Trenes) y COM (Zonas comerciales), y el de negocios a los BCC (Centros de ciudades de negocios) y OFF (Oficinas).

2.2.1.6 Utilización y parámetros

En la tabla 2.2.4 se presentan algunos datos de los parámetros de tráfico y comunicaciones, así como de los ambientes operacionales.

Se proponen los valores acerca de la utilización de cada aplicación para los 8 diferentes escenarios de despliegue ya discutidos previamente (tabla 2.2.5). Las velocidades de transmisión máximas consideradas se presentan igualmente con el objetivo de establecer el tipo de aplicaciones (MBSs de nivel bajo, medio y alto). Los factores de densidad (cantidad de usuarios en una área de la red, por ejemplo el área total de calles a ser cubiertas o el área de cobertura efectiva en una zona comercial) se sugieren también para cada escenario.

Se consideraron las siguientes suposiciones:

- El uso de las aplicaciones MBS de bajo nivel es de 33%, excepto en el escenario industrial, en donde es de 22%. Para el primero, 15% se debe a las aplicaciones de multimedia de escritorio (por la importancia de la navegación Web), 7% a la transferencia de datos, 7% al comercio electrónico de banda ancha (por la creciente importancia de este tipo de aplicación) y el restante 4 % a videoconferencia ISDN (por ejemplo para tele-educación, comercio electrónico, publicidad, etc.). En el escenario de despliegue industrial se asumió que 15% del uso se debe a las aplicaciones de multimedia de escritorio y 7% a la transferencia de datos.

- La utilización de las aplicaciones MBS de nivel medio varía en un rango de 42 a 53%. Se empleó información del proyecto MBS y del HIPERLAN, a excepción de lo que es el buzón para multimedia, periódicos electrónicos y llamadas de procedimiento remoto, ya que ésta no estaba disponible. Los nombres de los escenarios de despliegue son aproximadamente los mismos que los usados en el proyecto RACE-MBS, y la información de los *hotspots* es considerada para los escenarios que involucran a los trenes y las zonas comerciales; el escenario casero se tomó como similar al urbano, con algunos cambios pequeños en lo que al uso se refiere.

Aplicaciones	Características de Tráfico			Características de las comunicaciones			Ambientes de operación			Provisión del servicio	
	R _b (kbps)	Duración promedio (min.)	Latencia/Retraso (ms)	Rafagacidad	Clase del Servicio	BER	Naturaleza	Ambiente	Escenario móvil		
MBS de nivel bajo											
Videoconferencia ISDN	384	30-45	200	1-5	ISO& CBR/ RT-VBR	10 ⁻⁶	BUS/ FAM	Ind/ Outd	ST/H	PUB	
Transferencia de archivos de datos (ftp)	384	Algunos segs.	1000	1-50	NISO& CBR				Todos	PUB/ PRI	
Multimedia de escritorio (navegación web)	384	1-10	NRT	1-20	ISO& RT-VBR						
Comercio electrónico de banda ancha	384	-	500	1-20	ISO& RT-VBR						
MBS de nivel medio											
Buzón para Multimedia	1500	0.1-3	5 min.	1-20	NISO& UBR	10 ⁻⁶	BUS/ FAM	Ind/ Outd	Todos	PUB/ PRI	
Llamada de procedimiento remoto	1500	-	-	1-50	NISO& ABR	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁴					
Videotelefonía HD	2000	3	200	1-5	ISO& CBR/ RT-VBR	10 ⁻⁶			MR/H	Todos	PUB
Trabajo móvil a distancia	2000	15-25	500	1-20	ISO/ CBR (VBR)						
Asistencia para viajeros	2000	20-180	500	1-5	ISO& CBR/ RT-VBR						
Guías urbanas	2000	5-10	500	1-5	ISO& CBR/ RT-VBR						
Vigilancia móvil con video	2000	120	200	1-5	ISO& CBR/ RT-VBR	BUS			Ind/ Outd	PUB/ PRI	

Información turística	2000	15	500	1-20	ISO& RT-VBR		BUS/ FAM	Ind/ Outd	-	
Periódicos electrónicos	2000	20	500	1-5	ISO& CBR					
MBS de nivel alto										
Asistencia móvil de reparaciones	2400	20-40	200	1-5	ISO& CBR (VBR)	10 ⁻⁶	BUS	Outd	ST/ PED/ URB	PUB/ PRI
Biblioteca multimedia	2400	-	500	1-20	ISO& RT-VBR		BUS/ FAM	Ind/ Outd	Todos	PUB/ PRI
Servicios móviles de emergencia	2800	20-45	200	1-5	ISO& CBR (VBR)		BUS	Outd	ST/ URB/ MR/ H	
Programas de TV (MPEG2-4)	8000	90	500	1	ISO& CBR		BUS/ FAM	Ind/ Outd	-	
Imágenes profesionales	10000	6-20	1000	1-20	ISO& CBR (VBR)	10 ⁻⁶	BUS	Ind/ Outd	Todos	-
Radiodifusión de HDTV exterior	10000	50	500	1-20	ISO& CBR	10 ⁻¹⁰ -10 ⁻⁹				
Control de datos	32000	15	1000	1-50	NISO& UBR	10 ⁻⁶		Ind/ Outd	ST/ URB/ MR/ H	

Tabla 2.2.4. Parámetros del tráfico, las comunicaciones y los ambientes de operación.

Uso de la aplicación (%)	Tasa de transmisión [kbps]	BCC	URB	ROA	TRA	COM	OFF	IND	HOM	
MBS de nivel bajo										
Videoconferencia ISDN	384	4	4	4	4	4	5.6	-	4	
Transferencia de archivos de datos (ftp)	384	7	7	7	7	7	5.6	7	7	
Multimedia de escritorio (navegación web)	384	15	15	15	15	15	14.8	15	15	
Comercio electrónico de banda ancha	384	7	7	7	7	7	7	7	-	
Total	33	33	33	33	33	33	33	22	33	
MBS de nivel medio										
Monitoreo	500	-	-	-	-	-	-	11	-	
Configuración de datos	600	-	-	-	-	-	-	1	-	
Buzón para Multimedia	1500	3	3	2	3	4	7.5	7.5	4	
Llamada de procedimiento remoto	1500	3	8	3	8	8	14	7.5	8	
Videotelefonía HD	2000	15	11	9.8	-	9.2	0.9	-	15	
Trabajo móvil a distancia	2000	7.3	2.2	3	3.2	3.7	4.7	5	10	

Asistencia para viajeros	2000	3.6	11	16.3	4.8	5.5	3	-	1
Guías urbanas	2000	1.1	3.3	3.3	3.2	3.7	1	-	0.5
Vigilancia móvil con video	2000	0.4	0.5	0.2	-	0.4	0.5	15	0.5
Información turística	2000	3.6	1.0	2.1	4.8	5.5	1	-	1
Periódicos electrónicos	2000	5	10	5	10	5	9.4	-	10
Monitoreo multipunto con video	2000	-	-	-	-	-	-	5	-
Total		42	50	45	45	45	42	53	50
MBS de nivel alto									
Manejo de flotas y carga	2200	0.7	0.2	2.3	6	-	0.2	-	0.2
Asistencia móvil de reparaciones	2400	0.2	0.1	0.3	-	1	-	3	0.1
Biblioteca multimedia	2400	7.4	4.4	5.6	-	6	6	3	3.5
Servicios móviles de emergencia	2800	1.8	0.1	1.6	-	-	-	-	0.1
Programas de TV (MPEG2-4)	8000	7.4	9	5	12	10.9	4.8	-	10
Monitoreo multipunto con video de gran ancho de banda	8000	-	-	-	-	-	-	0.5	-
Imágenes profesionales	8000	2	1	1.5	2	2	4	2	1
Radiodifusión de HDTV exterior	8000	0.1	0	0.1	-	0.1	3	-	0.1
Control de datos	21000	-	-	-	-	-	-	12.5	-
Interconexión LAN inalámbrica	32000	5.4	2.1	5.6	2	2	7	4	2
Total		25	17	22	22	22	25	25	17
Factor de Densidad (No.de usuarios/m²)		0.031	0.012	0.012	0.111	0.150	0.150	0.004	0.015

Tabla 2.2.5. Propuesta para la utilización de las aplicaciones en cada uno de los escenarios de despliegue.

2.2.1.7 Descripción de otros servicios

Además de los servicios ya mencionados, deben tomarse en cuenta las tecnologías y servicios basados en sistemas satelitales (aunque no forman parte de la atención del presente trabajo).

Una de las tecnologías que ha tenido gran éxito y tiene muy buen futuro es la telefonía celular. Como se mencionó previamente, la tecnología WCDMA y CDMA2000 son las encargadas de proveer servicios de banda ancha a través de redes celulares. Actualmente ya se cuentan con servicios de banda ancha en países asiáticos, Europeos y se empieza a tener en países Americanos. Este tipo de servicios de banda ancha se encuentran más desarrollados en países asiáticos como Japón y Corea del Sur, debido a que la misma sociedad los ha apoyado incondicionalmente. Para mencionar algunos de éstos proveedores de servicios se pueden mencionar a SK Telecom, KDDI, KTF y LG Telecom, NTT

Docomo, Monet Mobile, Leap Wireless, Verizon Wireless, Metro PCS, Bell Mobility, Vivo, BellSouth Colombia, China Unicom entre otros.

Los servicios que se pueden ofrecer a través de redes de telefonía celular 3G son incontables, sin embargo se pueden mencionar algunos de ellos como: información en tiempo real acerca de la congestión de carros en avenidas específicas, distribución de audio y video ya sea para fines personales o comerciales, mensajes multimedia, videoconferencia, acceso a grandes bases de datos conteniendo todo tipo de información, acceso a servicios de Internet, servicios de telemetría, servicios multimedia bajo demanda, servicios de radiolocalización con gran precisión, entre otros.

En lo referente a los servicios multimedia bajo demanda se tienen repeticiones de escenas deportivas, videos musicales, Trailers de películas etc. Para poner un ejemplo, el que es usuario es capaz de descargar listas de hits musicales de los cuales puede almacenar de 15 a 30 segundos de dichas canciones, así también puede recibir video de amigos, familiares, monitorear cámaras de vigilancia, consultar literatura electrónica, etc.

En cuanto a servicios de videoconferencia, dos o más usuarios móviles pueden tener encuentros virtuales, ya que pueden ver y escuchar a otros usuarios en tiempo real. Hablando de tener servicios de Internet a través de un teléfono celular, se puede manejar cuentas de correo, buscar en la Web, descargar archivos, recibir noticias, jugar juegos multiusuario, recibir alertas de tiempo y todo esto sin tener que estar en un lugar fijo.

Los mensajes multimedia son mensajes que pueden contener imágenes, texto y video, cuyo contenido pueda ser dirigido a otros usuarios. Este tipo de aplicaciones han sido de alta demanda en los países que ya cuentan con este servicio.

Al considerar los servicios de posicionamiento, se pueden encontrar aplicaciones que consisten en mostrar el movimiento del usuario a través de mapas para localizar un lugar en específico, también existen servicios que cubren el ámbito de seguridad, para localizar a niños, amigos y seres queridos, mascotas, vehículos etcétera. Uno de los servicios de posicionamiento más importantes es el llamado GPSONe, el cual está diseñado para comercializarse en redes 3G.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*

Capítulo



Requerimientos

3.1 Requerimientos principales de hardware.

3.1.1 Dispositivo móvil (Handset)

Como es de esperarse, las aplicaciones o los servicios de banda ancha que se esperan implementar en la tercera generación de telefonía celular requerirán de una mayor cantidad de recursos de hardware, por lo que los handsets que se diseñen con el propósito de contar con este tipo de servicios deberán cubrir todas las cuestiones técnicas necesarias para ello.

Es debido a esto que los proveedores de tecnología o fabricantes, a los que desde ahora los referiremos como OEMs¹⁶, han enfrentado y seguirán enfrentando grandes retos. Dentro de estos enormes retos podemos mencionar los que se refieren a la capacidad de los procesadores, la memoria que los dispositivos necesitan, las características de las pantallas o displays, la eficiencia de los componentes en el uso de energía, etc.

Todo lo anterior tiene especial importancia económica, ya que según algunos analistas, las ventas mundiales de equipos celulares en el presente año (2004) se espera sean del orden de los 994 millones de dólares, sin contar las ganancias que se generarían por el uso de estos complejos aparatos multiuso, diseñados para aplicaciones y servicios como los mencionados en el capítulo anterior.



Figura 3.1.1. Ejemplos de Teléfonos 3G

Otro factor importante, económicamente hablando, es el incremento en la capacidad de voz en los sistemas de tercera generación (de hasta 2 veces) al emplear esquemas de modulación 8-PSK y QPSK con tecnologías como cdma2000 y WCDMA. Es en parte debido a esto que el handset de 3G necesitará alojar y manipular múltiples protocolos y tecnologías para los diferentes tipos de datos multimedia, con el objetivo de aprovechar las ventajas de los formatos como el Motion Pictures Experts Group 4 (MPEG-4) para video, el MPEG-1 Audio Layer 3 (MP3) para audio, voz sobre IP (VoIP) para llamadas de larga

¹⁶ OEM: Original-Equipment-Manufacturer

distancia de bajo costo, el Joint Photographic Experts Group (JPEG) para imágenes o el JPEG2000 por mencionar algunos.

Aunado a esto, un teléfono 3G deberá estar listo para usar tecnologías de encriptación de información (esenciales para la seguridad en transacciones financieras y de comercio electrónico), el sistema de posicionamiento global (GPS) y bluetooth (para servicios relacionados con comunicaciones de corto alcance, reconocimiento de escritura, reconocimiento de voz, soporte para tarjetas multimedia o MMC, etc.).

A continuación se presentarán algunos detalles concernientes a ciertos elementos de los handsets que los diseñadores deben tener en cuenta.

3.1.1.1 El procesador

Haciendo nuevamente referencia a lo expuesto en los primeros párrafos de este capítulo, todas las aplicaciones y servicios que la tercera generación de telefonía móvil promete, deberán estar integrados en un dispositivo pequeño, eficiente en el consumo de energía y relativamente económico para el usuario final. Estos últimos puntos son muy importantes, por lo que en general, una propuesta para un teléfono 3G es que esté compuesto de un sistema en un solo chip (SOC¹⁷), el cual sea capaz de manejar funciones digitales en banda base¹⁸ como la codificación de voz, la modulación con corrección de errores, etc.

En término de las características que deben tener, se dice que el procesador digital de señales (DSP¹⁹) debe contar con al menos cuatro de ellas que resultan claves para su éxito: compatibilidad para compilar código C eficientemente, alto desempeño, bajo consumo de energía y densidad de código compacta.

El beneficio de la compatibilidad para compilar código C se obtiene al minimizar la necesidad de manejar código en lenguaje ensamblador, lo que conlleva a la reducción del tiempo que necesita un OEM para satisfacer la demanda de aplicaciones nuevas para los usuarios finales, así como las diversas características de valor agregado.

Acerca del alto desempeño que debe tener, podemos señalar como referencia que los teléfonos 2G requerían alrededor de 100 MIPS²⁰ para sus funciones, mientras que los teléfonos 3G necesitan de hasta 3000 MIPS (menos de 1000 MIPS pueden no considerarse convenientes), los cuales deben ser alcanzados tomando en cuenta la característica de bajo uso de energía. De hecho, es necesario que el núcleo del DSP perteneciente al handset de 3G consuma menos energía de lo que lo hacía en 2G, desempeñando un trabajo

¹⁷ SOC: System-On-a-Chip

¹⁸ Una señal de banda base es una señal de información, como un canal telefónico sencillo, y la señal de banda base compuesta es la señal para la información total, como varios cientos de canales telefónicos. Las señales de banda base se convierten a partir de su banda de frecuencia original a una banda más adecuada para la transmisión a través del sistema de comunicaciones, es decir, se convierten a una frecuencia alta en el transmisor y a una frecuencia baja en el receptor.

¹⁹ DSP: Digital Signal Processor

²⁰ MIPS: Millones de instrucciones por segundo (Million Instructions Per Second)

aproximadamente diez veces mayor. Se piensa que, por ejemplo, un incremento de 10 veces en el desempeño de un procesador debe darse a la par de una mejora de al menos 10 veces también en la potencia consumida (medida en miliwatt/MIPS).

Asimismo, para mantener el tamaño del SOC al mínimo y el costo del sistema bajo, el núcleo del DSP debe de presentar una gran eficiencia en el uso de la memoria. Esto puede ser logrado de la mejor manera a través de una compacta densidad de código, es decir, al tener la menor cantidad de líneas de código posible para una aplicación en específico. Para cuantificar este reto, se puede decir que se espera que el número de líneas de código C en un dispositivo de tercera generación sea más de 10 veces mayor que en uno de segunda generación. Vale la pena mencionar que superar este reto es especialmente crucial debido a que la memoria es la parte que ocupa la mayor cantidad de espacio en un dispositivo SOC que maneje la funcionalidad digital de banda base.

La arquitectura deberá contar además con un microcontrolador (MCU²¹) preferiblemente RISC²², en donde las tareas del sistema más complicadas puedan ser particionadas en los elementos primarios del SOC, incluyendo el núcleo del DSP, cuyas funciones irían enfocadas principalmente al mantenimiento de la movilidad y al procesamiento del audio/video. No obstante, dependiendo de la aplicación, el núcleo del DSP deberá ser también capaz de manejar las señales provenientes de una mezcla de diversos sistemas tanto de hardware como de software, funciones de codificación y decodificación de MPEG-4, reconocimiento de voz, etc., soportando en su nivel más básico funciones para dar soporte a la capa 1 (la capa física). Un buen núcleo de un DSP debe proveer su inmenso rango de funciones por medio de software con capacidades robustas y con un uso mínimo de hardware adicional, ya que implementar funciones en software conlleva a una mayor flexibilidad para los diseñadores.

Hablando de la codificación del canal²³ (necesaria para la corrección de errores), la cantidad necesaria de codificación, comparando nuevamente la 2G con la 3G, será aproximadamente 15 veces mayor. Históricamente, este tipo de codificación en 2G no se podía llevar a cabo en un DSP (se empleaba costoso hardware adicional), pero en las aplicaciones 3G con tasas de transmisión mayores, un núcleo como el StarCore SC140 de 16 bits (desarrollado por Motorola y Lucent) solamente necesitará emplear aproximadamente el 15% de su capacidad para llevar a cabo esta operación sobre un canal WCDMA usando "Turbo coding" con una tasa de transferencia de 64 kbps.

En cuanto al consumo de energía, el núcleo del ejemplo anterior, el SC140, requiere de cerca de 198 mW como máximo, al operar a 300 MHz (3000-RISC MIPS) con un voltaje de DC de +1.5 V, mientras que su desempeño con +0.9 V es de 120 MHz (1200-RISC MIPS) mantenidos con una potencia de 28 mW, con lo cual incluso se conserva todavía más la vida de la batería.

²¹ MCU: Microcontroller Unit.

²² RISC: Reduced-instruction-set-computer.

²³ Un ejemplo de un codificador de canal es el famoso codificador Viterbi.

Como se prevé, las aplicaciones más demandantes de desempeño serán las que incluyan video y sobre todo si se requiere su procesamiento en tiempo real. El SC140 permite este tipo de aplicaciones puesto que está equipado con cuatro unidades aritmético lógicas (ALU) y dos de generación de direcciones (AGU), ofreciendo un paralelismo de datos inherente para ejecutar independientemente los conjuntos de instrucciones necesarios a través de dos buses de datos de 64 bits que mantienen ocupadas a las cuatro ALU's; esto permite al núcleo la manipulación de la complejidad computacional requerida para MPEG-4 (como la transformada discreta inversa cosenoidal: IDCT, la cuantización inversa, la compensación de movimiento, la conversión de espacio-color, etc.).

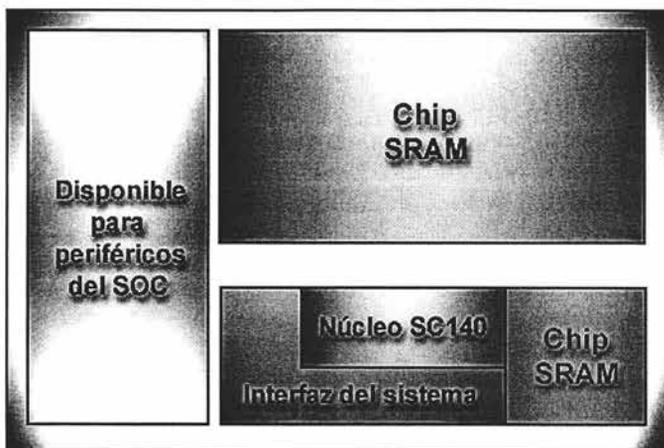


Figura 3.1.2. Arquitectura de una solución típica para un sistema WCDMA con el núcleo del DSP y un microcontrolador.

Como ya se había mencionado, se considera que todos los teléfonos de tercera generación contendrán por lo menos 2 procesadores: un controlador embebido o microcontrolador y un DSP (normalmente en el mismo chip). El controlador se hará cargo de la pantalla, el teclado y tareas adicionales como funciones para el manejo de datos y la pila de protocolos en algunos teléfonos (también los protocolos GPRS, EDGE, 1XRTT, etc., son manejados por el controlador). Conforme la cantidad de funciones de datos aumente, se espera que el controlador contribuya más al procesamiento.

Uno de los controladores embebidos más ampliamente usados en teléfonos celulares es el popular ARM7 de 32-bit RISC y los núcleos ARM9. Otro contendiente en este campo es el procesador StrongARM de Intel Corp. y el XScale (basado en el StrongARM, pero más poderoso y de menor consumo de energía).

Algunos fabricantes como Nokia y Ericsson han adoptado DSPs con chips de Texas Instruments. El C55x, por ejemplo, ofrece un desempeño de hasta 600 MIPS con un consumo de potencia que se encuentra en el rango de 0.25 mW/MIPS. Este chip DSP combinado con el controlador ARM9 en un sólo chip constituye la base de hardware de la

plataforma abierta para aplicaciones multimedia de Texas Instruments (OMAP²⁴), la cual se puede apreciar en la figura 3.1.3.

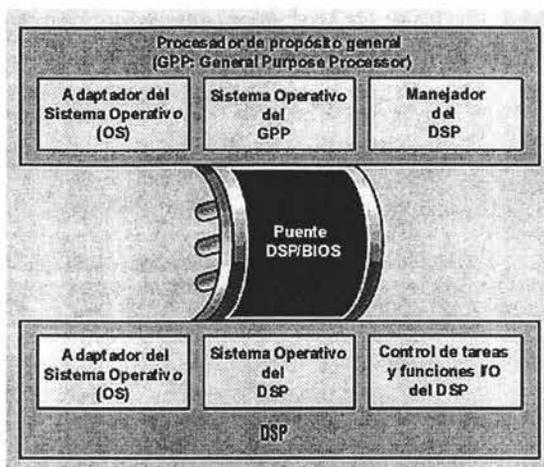


Figura 3.1.3. La plataforma abierta para aplicaciones multimedia de Texas Instruments (OMAP) contiene características tanto de hardware como de software para dar cabida a casi cualquier aplicación multimedia en un handset 3G

Lo que busca TI con su OMAP es proveer una arquitectura de plataforma abierta con APIs²⁵ para facilitar el desarrollo de aplicaciones. Dicho paquete se diseñó para trabajar con cualquier sistema operativo, lo cual incluye a Microsoft, Symbian y Handspring. Una solución más poderosa de Texas Instruments es la plataforma TMS320C6000, que llega a niveles de 1200 a 2400 MIPS.

Por su parte, la compañía Qualcomm, pionera y líder en tecnología CDMA, ofrece soluciones de CPUs duales en un chip: la familia MSM7xxx, cuyos primeros embarques se esperan en 2004. Cada chip MSM7xxx posee una arquitectura de CPU dual en donde un procesador está optimizado para funciones de módem multimodo y aquellas que son críticamente dependientes del tiempo. El otro procesador es de propósito general. Los chipsets MSM7xxx soportan estándares como CDMA2000 1X/1xEV-DO y WCDMA (UMTS), además de ser completamente compatibles con estándares anteriores como IS-95, GPRS, GSM y con tecnologías de módem que incluyen el GPS integrado y el 802.11.

En ésta solución, el procesador de propósito general soporta aplicaciones multimedia de alto desempeño corriendo en pantallas de alta resolución e integra de manera sencilla el ambiente de aplicaciones BREW²⁶ de Qualcomm.

²⁴ OMAP: Open Multimedia Applications Platform

²⁵ Application Program(ming) Interface. Es un conjunto de rutinas para ser usadas por programadores.

²⁶ BREW: Binary Runtime Environment for Wireless

A continuación se presentan las características principales de los chipsets MSM7xxx:

- Un procesador integrado de aplicaciones con un ARM11 (procesando a velocidades que van de 300 MHz a 1 GHz) y un DSP de alta velocidad de nueva generación de Qualcomm, el multi-MAC QDSP5000.
- Un módem multimodo de bajo consumo de energía con un procesador ARM9 y hardware de módem dedicado.
- Gran desempeño de gráficas en 2D y 3D, así como soporte para codificación y decodificación de video.
- Soporta pantallas QVGA (Quarter Video Graphics Array) y VGA de alta resolución.
- Soporte para altos niveles de seguridad en comercio electrónico y aplicaciones empresariales.
- Interfaz serial de alta velocidad y baja potencia: el MDDI²⁷, optimizado para la interconexión entre el procesador y el panel LCD, además de tener capacidades para proyectar una presentación PowerPoint en una pantalla externa o con un proyector de video desde el handset.
- Soporte para un subsistema de memoria más rápido y de menor costo.

3.1.1.2 La memoria

La arquitectura de la memoria que reside en la sección banda base de un teléfono móvil en la etapa de diseño es tan importante como la evaluación del desempeño del procesador a usar.

Los diseños actuales requieren generalmente de dos tipos de tecnologías. La primera es la memoria no volátil, como la ROM²⁸ y la flash²⁹, en donde se almacenan las aplicaciones de inicio. La segunda es la RAM³⁰, la cual maneja la información y posee un tiempo de acceso pequeño. Una vez que el teléfono o dispositivo es apagado, la memoria no volátil mantiene la información, mientras que la información localizada en la RAM es perdida. La mayor parte de la memoria RAM se construye con circuitos integrados semiconductores y puede ser estática (SRAM) o dinámica (DRAM), como la SDRAM (synchronous dynamic RAM). Usualmente los dispositivos móviles contienen también memorias flash-EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM), que ofrecen seguridad contra pérdida de datos. Vale la pena mencionar que históricamente la memoria en los handsets era de aproximadamente 60% flash y 40% SRAM desde el punto de vista del costo de ésta.

²⁷ MDDI: Mobile Display Digital Interface

²⁸ ROM: Read-Only-Memory (Memoria de sólo lectura)

²⁹ La memoria flash es un tipo especial de memoria EEPROM que puede ser borrada y reprogramada en bloques en lugar de un byte a la vez. Este tipo de memoria es utilizada para almacenar información de una manera fácil y rápida y se emplea mucho en aparatos como cámaras digitales o videojuegos más como un disco duro que como RAM. De hecho, la memoria flash se considera un dispositivo de almacenamiento de estado sólido porque su funcionamiento es completamente electrónico.

³⁰ RAM: Random-Access-Memory (Memoria de acceso aleatorio)

3.1.1.2.1 Problemas del SRAM

Resulta evidente que la transición de 2G a 3G requiere de mejoras significativas en el desempeño de la memoria RAM, sin importar si se trata de SRAM o DRAM. La tabla 3.1.1 presenta cómo los requerimientos de memoria de la arquitectura celular de tercera generación son más demandantes que los de segunda generación.

	2G	3G
Tamaño de la memoria	2 Mb	De 8 a 32 Mb
Presupuesto de energía activa	≤ 50 mA	≤ 25 mA
Presupuesto de energía en modo de espera (standby)	50 μ A	50 μ A
Presupuesto del costo	8 dólares	De 5 a 10 dólares
Tiempo de acceso aleatorio	≤ 85 ns	≤ 25 ns
Ancho de banda pico requerido (Mbps)	Sin mucha importancia	50

Tabla 3.1.1. Comparación de los requerimientos de la memoria RAM en un teléfono móvil

Asimismo, la tabla anterior muestra el tipo de dificultades que enfrentan los diseñadores de handsets de 3G al usar arquitecturas SRAM, ya que éstas no están bien equipadas para satisfacer las demandas expuestas. Más específicamente, la memoria SRAM tiene problemas con la densidad, la energía, el costo y los requerimientos de desempeño de la tercera generación.

En un dispositivo de segunda generación, típicamente, una memoria SRAM de 256K x 8 es suficiente debido a que ésta es empleada únicamente para el conjunto de protocolos, el sistema de menús y alguna que otra aplicación que tenga que ver con la toma de apuntes. Sin embargo, en la tercera generación el panorama cambia dramáticamente, toda vez que los servicios disponibles no serán solamente los de voz sino toda una serie de aplicaciones con grandes necesidades de almacenamiento, lo cual demanda la necesidad de memorias con capacidades mayores.

Por ejemplo, para llevar a cabo el despliegue y la captura de video, así como la navegación Web, un diseñador puede requerir del uso de hasta 16 Mb de RAM, lo cual es significativamente mayor que los productos de 2 Mb generalmente empleados en 2G. Los primeros dispositivos de 3G soportan nada más algunas características de video que pueden ser desplegadas en un rango de 2 a 4 Mb. No obstante, se recomienda que una base de alrededor de 2 Mb debe ser añadida a estos productos iniciales, incrementando la memoria necesaria a niveles del orden de 4 a 6 Mb de RAM.

El reto de cambiarse a productos de 4 o 6 Mb de SRAM es costoso si se toma en cuenta que el hecho de aumentar la densidad de la memoria SRAM da como resultado directo un

incremento importante en el precio, lo que obedece a la necesidad de usar más silicio, haciendo que el rendimiento en la fabricación se vea disminuido y que el sistema total sea menos accesible para los usuarios.

Sin embargo, el tamaño y costo de la memoria no son las únicas cuestiones a tomar en cuenta, ya que al igual que en los procesadores, la energía consumida puede generar grandes dolores de cabeza a los diseñadores. Si se considera que estadísticamente un handset que se encuentra en modo de espera está verdaderamente apagado 7/8 del tiempo y encendido 1/8 de éste, para una memoria SRAM de bajo consumo con una corriente en tiempo de espera de $4\mu\text{A}$ y una corriente en modo activo de 25 mA , su contribución dentro del presupuesto de energía de modo de espera del sistema total sería de $(7/8)(4\mu\text{A}) + (1/8)(25\text{ mA}) = 3.1285\text{ mA}$. De ahí que la corriente de modo de espera que la memoria SRAM demanda al handset es dominada por la corriente activa de la misma y no por su corriente en modo de espera en sí.

Los dispositivos de memoria SRAM juegan también un papel importante en el presupuesto de energía del tiempo de operación (al realizar una conexión). Durante este tiempo, la potencia consumida por la SRAM se considera está en aproximadamente un 12 a 25 % del presupuesto del sistema total, por lo que en un handset 3G que posee nuevas características, los diseñadores necesitan memoria RAM que no consuma más sino menos cantidad de energía. Una forma de sobreponerse a esta creciente necesidad de energía puede ser el uso de baterías de hasta 1250 mAh ³¹, compensando parcialmente dicho requerimiento.

Adicionalmente al consumo de energía, otro problema de la memoria SRAM es el tiempo de acceso aleatorio, en donde este tipo de memoria se puede encontrar con tiempos de acceso de alrededor de 55 ns (en 2G los tiempos eran cercanos a los 85 ns), sin embargo, dichos tiempos son insuficientes para la tercera generación que cuenta con mayores capacidades de voz y datos que requieren de memorias con tiempos de acceso de 20 ns y con un ancho de banda pico de 50 Mbps .

Para lograr mejores características en este tipo de memoria, los diseñadores de circuitos integrados deben trabajar en una diferente estructura de celdas dentro de la arquitectura SRAM. Tradicionalmente, la memoria SRAM de bajo consumo de energía ha sido diseñada usando una celda de almacenamiento con 4 transistores (4T), empleando tamaños menores a 1 Mb . Desafortunadamente, con la celda 4T existe continuamente un flujo de corriente a través de uno de dos transistores (llamémosles T1 y T2) cuando el dispositivo se encuentra en modo de espera, dependiendo de si se ha almacenado un bit con valor 0 ó 1. Aunque la corriente es de solamente 1 o 2 nA por bit, cuando se considera una memoria con 2 Mb , por ejemplo, la corriente total resulta de $2\text{ a }4\text{ mA}$, haciendo que la celda 4T no sea conveniente como memoria de gran capacidad basada en corriente de modo de espera.

³¹ Debido a la fuente limitada de energía química, las baterías tienen una cierta capacidad que restringe la cantidad de tiempo sobre el que pueden producir un nivel de energía dado. Por ejemplo, el decir que una batería de cierto voltaje posee 600 mAh , significa que puede proporcionar a una carga hasta 600 mA en una hora, 300 mA por dos horas, etc.

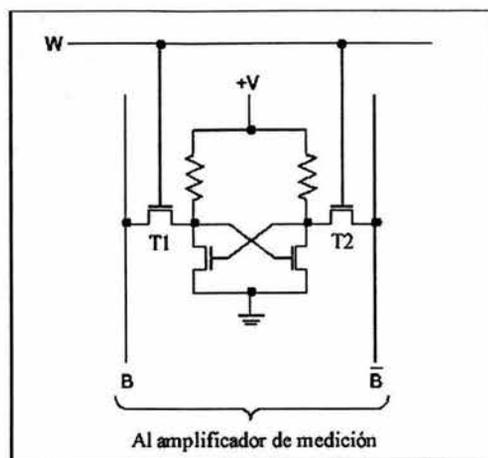


Figura 3.1.4. Celda SRAM de 4 transistores (4T)

Si se desea reducir la energía en modo de espera en los dispositivos SRAM de gran capacidad, los diseñadores de circuitos integrados deben cambiarse de una estructura 4T a una de 6 transistores (6T) para reducir la energía que la celda consume en dicho modo. De cualquier manera, se debe analizar cuidadosamente si cambiar de estructura resuelve más problemas de los que genera, debido a que la celda 6T en una memoria SRAM 6T típica de 1 Mb o más, el arreglo de pistas llega ser de hasta 12 mm de ancho³², por lo que al realizar la interconexión de ellas, las dimensiones se hacen incluso mayores, creando capacitancias considerables en los nodos y derivando en una mayor necesidad de energía en el modo activo para mantener el desempeño.

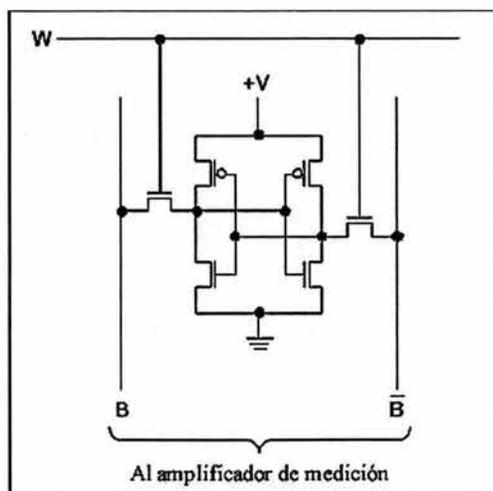


Figura 3.1.5. Celda SRAM de 6 transistores (6T)

³² Por sus características, la celda con 6 transistores resulta 50% más grande que la de 4, haciendo que se disipe una mayor cantidad de potencia activa y que en consecuencia el ancho de las pistas se incrementa.

En resumen, por todo lo anterior, se puede descartar a la celda de 6T como una opción viable debido a que aumenta dramáticamente el tamaño de la memoria, la capacitancia en los nodos es considerable y se disminuye el desempeño. Una solución para no disminuir el desempeño sería incrementar el tamaño de los transistores, pero esto haría que se consumiera más energía, añadiendo así otra desventaja en este tipo de estructura.

3.1.1.2.2 Otra opción: la memoria DRAM

Con tantos problemas para implementar eficientemente la memoria SRAM en los dispositivos móviles de tercera generación, los diseñadores deben explorar nuevas opciones, y una de ellas que podría proveer algunas características interesantes es la memoria RAM dinámica o DRAM. La memoria DRAM se basa en una celda que consta de un transistor y un capacitor (1T1C) como se muestra en la figura 3.1.6. La escritura en la celda se realiza al cargar o descargar el capacitor, mientras que la lectura se lleva a cabo al seleccionar el capacitor vía el transistor y al medir la carga que existe en dicho elemento.

La memoria DRAM emplea un amplificador para realizar la medición, el cual se comparte entre varias celdas de memoria. Una de las cosas importantes sobre este tipo de memoria es que es de lectura “destructiva”, ya que los datos deben ser reescritos en las celdas después de haber tenido acceso a ellos. De esta manera, la celda debe ser rescrita o refrescada periódicamente.

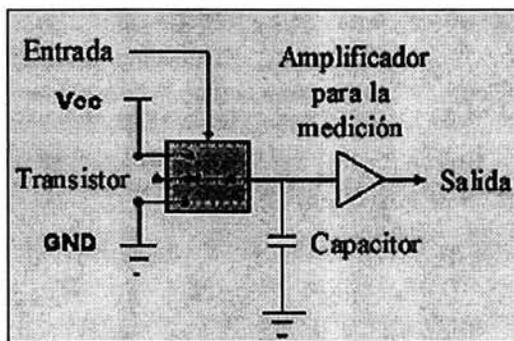


Figura 3.1.6. Diagrama de una celda DRAM

A pesar de sus complejidades inherentes, la memoria DRAM ha sobrevivido como una tecnología bastante fuerte gracias a su bajo costo y grandes densidades. De hecho, los diseñadores de circuitos integrados DRAM han hecho invisibles para los diseñadores de sistemas las dificultades intrínsecas que se tienen, y el único requerimiento necesario para ellos es el de poner un ciclo periódico de reescritura de la memoria para preservar los datos. Así pues, la memoria DRAM se ha convertido en una tecnología muy usada en computadoras personales, estaciones de trabajo y otros tipos de sistemas que necesitan grandes cantidades de RAM, por lo que, como los handsets de tercera generación requieren de más RAM de lo que la SRAM puede tolerar sin presentar tantas desventajas, la DRAM se vislumbra como una opción bastante factible.

Resumendo, hay que tomar en cuenta que el objetivo de diseño de la memoria DRAM ha sido dominado por la característica de tamaños reducidos y precios económicos. La segunda característica importante ha recaído en el desempeño, dejando un poco de lado el consumo de energía. Pese a esto, la tecnología DRAM tiene algunas características deseables en lo que se refiere a este último aspecto, y por tanto, se considera que con un pequeño cambio en el objetivo de los diseñadores, se podría obtener una excelente solución para los dispositivos 3G.

Cuantitativamente, se puede decir que la memoria DRAM se basa en una celda de memoria bastante pequeña con una dimensión de cerca de 1/6 de lo que es la celda SRAM. Al usar la tecnología fabricación de 0.18 μm , las celdas DRAM ocupan una superficie que va de 0.3 a 0.55 μm^2 (con la misma tecnología, una celda SRAM tiene una superficie en el rango de 3.2 a 4.6 μm^2). Lamentablemente la oblea de la memoria DRAM es de 15 a 20% más costosa que la de SRAM, pero si se considera que tiene una mayor capacidad de almacenamiento (de casi 6 veces), esto no resulta mayor problema.

Vale la pena mencionar que la memoria DRAM se puede conseguir con capacidades de almacenamiento que cubren fácilmente los requerimientos presentados en la tabla 3.1.1. En lo que respecta al desempeño, debido a su arreglo de menor tamaño, la memoria DRAM puede conseguir tiempos de acceso aleatorios en el rango de los 20 ns y capacidades de ancho de banda pico mucho mayores a los 50 Mbps. Otra ventaja sobre la SRAM radica en el hecho de que por estar constituida por celdas de tan sólo 1 transistor y un capacitor, no se presentan capacitancias tan considerables en los nodos y el consumo de energía activa es menor por tener pistas de longitudes inferiores.

3.1.1.2.3 Desventajas de la memoria DRAM

Hay que señalar también que no todo lo que involucra la memoria DRAM son solamente ventajas; posiblemente la mayor desventaja que se presenta es la necesidad de refrescarla. Dependiendo de la calidad del proceso tecnológico, las localidades de memoria requieren de ser refrescadas cada 32 a 128 ms. Un ciclo simple para refrescarla debe ser llevado a cabo cada 16 a 128 μs en un esquema típico de reescritura para satisfacer este requerimiento.

En ocasiones, una de las preocupaciones que los diseñadores de sistemas tienen es la pérdida de ancho de banda causada por la desventaja arriba mencionada. No obstante, se puede demostrar que dicha desventaja no tiene prácticamente ninguna consecuencia, ya que en el caso de un dispositivo con un tiempo de acceso aleatorio de 20 ns, un ciclo para refrescar la memoria cada 16 μs representa únicamente el 0.125% del ancho de banda disponible.

De cualquier forma, se puede hacer el diseño de la memoria DRAM en un modo tal que la característica de reescritura permanezca escondida para el usuario, haciéndola parecer como una SRAM. El lado negativo de esto es que el tamaño físico aumenta, se consume energía adicional y se reduce el desempeño. Una opción más conveniente podría darse al

controlar los ciclos para refrescar la memoria a nivel del sistema para optimizar el costo y la energía.

Finalmente, se espera que con una gran cantidad de memoria de bajo costo se pueda volver práctico el reflejar toda o una parte de la memoria flash en la DRAM que cuenta con un mayor desempeño, para después ejecutar el código desde ésta. Al proveer los datos basados en memoria flash para todo tipo de modos de operación además del que existe al iniciar el dispositivo, el rendimiento de éste sería mejorado en forma general.

3.1.1.2.4 Soluciones específicas

Existen varias soluciones de memoria específicas desarrolladas por diversas compañías entre las que se encuentran Intel, Samsung, Micron, SanDisk, MM-Systems, etc., por mencionar algunas. A continuación se presentarán las características de algunas de estas tecnologías, así como su contribución al campo de los dispositivos móviles.

3.1.1.2.4.1 El multi-chip package (MCP) de Samsung

Apenas a mediados del año 2003, la compañía Samsung anunció que su primer paquete de memoria multi-chip NAND/DRAM estaría disponible comercialmente para el mercado móvil. Esta opción de memoria contiene un módulo DDR SDRAM (double data rate synchronous dynamic RAM) de 256 Mb y dos módulos NAND flash³³ de 256 Mb cada uno. De esta manera, los fabricantes de teléfonos de tercera generación pueden dar respuesta a los retos que se presentan para ofrecer un dispositivo pequeño y de bajo consumo de energía que sea capaz de manejar video de alta resolución y juegos con elementos gráficos complejos.

Acerca de los elementos técnicos, una de las particularidades de este sistema multi-chip es que ofrece una tasa de transmisión de datos en cada pin de hasta 200 Mbps, lo cual es cerca del doble de lo que en la actualidad la memoria SDRAM, que es empleada en gran cantidad de teléfonos móviles, puede alcanzar. El módulo DDR SDRAM móvil de 256 Mb puede alcanzar velocidades con un máximo de 400MBps, facilitando el despliegue y captura de video de gran calidad, trabajando con sólo 1.8 V. Los dos módulos NAND flash en el MCP pueden almacenar más de una hora de imágenes de video de movimiento completo.

³³ Además de las diferencias que se tienen en cuanto a las celdas de silicio, la característica más importante que permite diferenciar la memoria flash de tipo NOR y NAND tiene que ver con la interfaz del bus. La memoria NOR flash se conecta al bus de direcciones/datos directamente como los dispositivos de memoria SRAM. La memoria NAND flash emplea una interfaz multiplexada de entrada y salida (I/O) con algunos pines de control adicional. Este último tipo de memoria flash tiene un acceso secuencial apropiado para el almacenamiento masivo, mientras que la otra es apropiada para el almacenamiento de código, así como su ejecución. Una de las desventajas de la memoria NAND flash es que no se puede ejecutar código desde ella, por lo que su contenido necesita cargarse en la RAM para poder ser ejecutado.

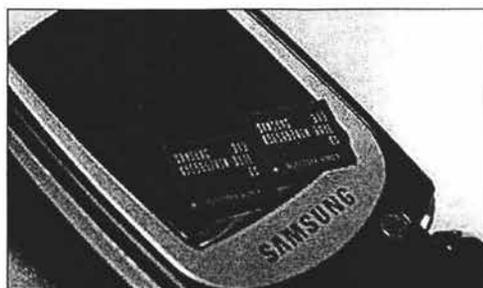


Figura 3.1.7. El MCP de Samsung

Esta tecnología cuenta además con un circuito que ajusta automáticamente el ciclo para refrescar la memoria DRAM, el cual cambia dependiendo de las condiciones de temperatura del sistema, teniendo como consecuencia una maximización del tiempo que se puede emplear el handset con una sola carga de la batería.

3.1.1.2.4.2 La especificación CellularRam

La tecnología CellularRam es una especificación que describe las características operacionales necesarias para los dispositivos de memoria de nueva generación, de acuerdo con las compañías Cypress Semiconductor, Infineon y Micron Technology, creadores de dicha tecnología.

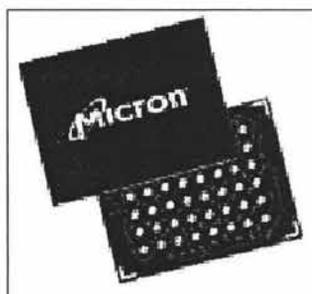


Figura 3.1.8. Tecnología CellularRam

La familia de productos CellularRam consta de módulos PSRAM (pseudo-static RAM) y fueron diseñados como una tecnología DRAM con interfaz SRAM. El primer producto resultado del esfuerzo de estas compañías es una memoria con una capacidad de 32 Mb, aunque se espera que el modelo con 128 Mb de capacidad esté disponible para inicios del 2004. Otra de las características a destacar de esta memoria es que los diseñadores afirman que la CellularRAM es totalmente compatible con la estructura de pines de la memoria SRAM, lo cual podría ser de gran ayuda para los fabricantes de teléfonos celulares acostumbrados a emplear la SRAM en sus diseños.

3.1.1.2.4.3 Tarjetas removibles de SanDisk

A finales de 2003, la compañía Qualcomm Inc. anunció que daría soporte en sus chipsets a la arquitectura de memoria flash desarrollada por SanDisk. Esta arquitectura incluye tarjetas de memoria removibles miniSD y SD (secure digital). El beneficio que los consumidores obtendrán con la integración de este tipo de tecnología se dirigirá al almacenamiento de fotos digitales, mapas de navegación, clips de audio y video, juegos, música y otros archivos con formatos múltiples en los dispositivos móviles que cumplan con ser compatibles con las tarjetas SD.

Lo que se espera es que estas tarjetas (del tamaño de una uña) puedan disminuir los tiempos y costos en los desarrollos de teléfonos de próxima generación al sacar ventaja de la superficie y volumen reducidos que poseen, algo de suma importancia en los parámetros de diseño de los nuevos y miniaturizados teléfonos móviles.

3.1.1.2.4.4 El sistema de memoria inalámbrica StrataFlash de Intel

La solución de Intel, mejor conocida como el sistema de memoria inalámbrica StrataFlash, es un tipo de memoria específicamente diseñada para handsets (a partir de la tercera generación) que requieran manejar archivos de imágenes, audio y video.



Figura 3.1.9. El sistema StrataFlash de Intel

El sistema StrataFlash se basa en la cuarta generación de la tecnología de celdas multinivel de Intel (MLC: Multi-Level Cell)³⁴ y contiene funciones de ejecución de código, almacenamiento de datos y espacio de trabajo RAM, tres tipos de funcionalidades que se consideran esenciales para los desarrolladores de productos inalámbricos.

³⁴ Según afirma la compañía, con esta tecnología se duplica la cantidad de información almacenada en cada celda de memoria

La operación de la memoria StrataFlash requiere de 1.8 V y maneja densidades de memoria de hasta 1 Gb en un empaquetado de dimensiones muy pequeñas (8x11 mm). Se espera que este tipo de memoria comience su producción en los primeros meses del 2004.

3.1.1.3 El display

Otra de las partes importantes en un handset 3G, por su inmediata interacción con el usuario, es el display. La tecnología más empleada para crear los displays de los teléfonos de tercera generación es la que permite desarrollar pantallas del tipo TFT³⁵ LCD³⁶, por lo que a continuación se dará una breve descripción de dicha tecnología.

3.1.1.3.1 Pantalla TFT LCD

La pantalla TFT LCD tiene una estructura como se muestra en la figura 3.1.10, en la cual se encuentran polarizadores, filtros de colores, la matriz TFT y el cristal líquido.

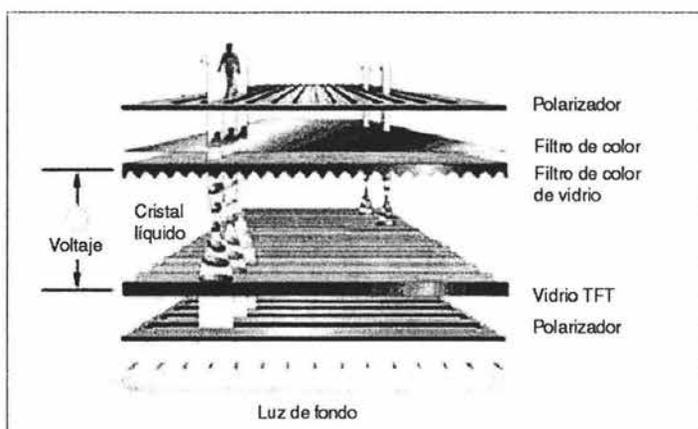


Figura 3.1.10. Estructura de la pantalla TFT LCD

La fuente de luz de fondo o backlight es la que se muestra en la parte inferior de la figura 3.1.10. El rayo de luz es posteriormente polarizado uniformemente para así pasar a la capa de cristal líquido.

El filtro de color sirve precisamente para determinar el color resultante que se mostrará en la pantalla. Cada píxel se compone de 3 subpíxeles, los cuales tienen un determinado valor RGB, de tal manera que estos tres subpíxeles forman un píxel que tiene una mezcla de intensidades de los colores: rojo, verde y azul. Así pues, nuestro ojo siempre estará viendo una mezcla de estos tres colores por cada píxel que se muestra en la pantalla.

³⁵ TFT: Thin Film Transistor. (Transistor de película delgada)

³⁶ LCD: Liquid Crystal Display. (Pantalla de cristal líquido)

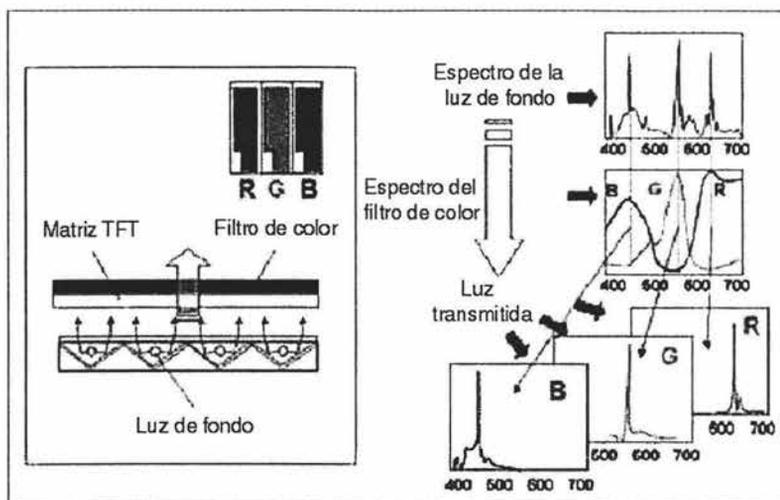


Figura 3.1.11. Composición de colores RGB

Las pantallas LCD más comunes se dividen en píxeles, los cuales están formados por celdas de cristal líquido LC³⁷. Las celdas LC cambian la dirección de polarización de la luz que pasa a través de ellas en base a un cambio de voltaje que reciben. Este cambio en el campo eléctrico altera las propiedades químicas de cada celda LC, principalmente aquellas que afectan directamente a la absorción de luz. Además las celdas LC no son a colores, por lo que se debe agregar una etapa de filtrado para que mediante un proceso se les dé el color a las imágenes finalmente mostradas en la pantalla.

Existen tres esquemas de direccionamiento que se utilizan para formar imágenes en pantallas LCDs a través de celdas LC: el directo, el de multiplexación y el de matriz activa.

El método directo es usado en dispositivos simples, como calculadoras, relojes, etc., ya que cada píxel debe ser conectado a su controlador, por lo que el uso de muchos píxeles requiere el mismo número de conexiones al controlador de los mismos. Por lo anterior, se considera que el método de multiplexación es más eficiente.

En el método de multiplexación, los píxeles están acomodados y conectados de acuerdo a una matriz, por lo que no se requieren tener el número de conexiones al controlador como el número de píxeles requeridos, ya que se maneja un determinado nivel de voltaje en cada una de las intersecciones de las conexiones correspondientes a cada píxel y se comparte a la vez conexiones de varios píxeles al controlador de éstos.

³⁷ LC (Liquid Crystal)

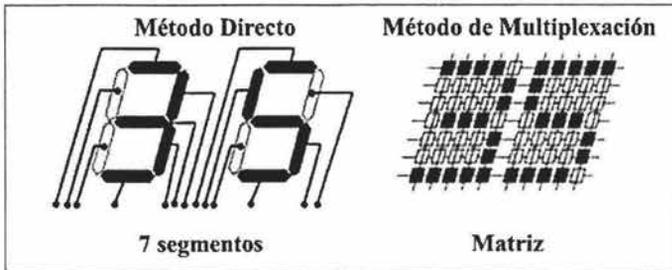


Figura 3.1.12. Método Directo y de Multiplexación

El método de la matriz activa es muy similar al de multiplexación, sólo que en el de matriz activa existe un almacenamiento de carga en cada píxel, lo que permite mostrar video en tiempo real en pantallas más grandes que las que se pueden usar manejando el método de multiplexación. Las pantallas TFT usan este tipo de método para producir sus imágenes.

Existen dos tipos de LCDs, las activas (AMLCDs³⁸) y las pasivas (PMLCDs³⁹). La ventaja principal de utilizar las AMLCDs es que no se tiene el efecto “ghosting”⁴⁰, el cual es producido cuando se intenta actualizar la pantalla más rápido de lo que ésta es capaz de realizar.

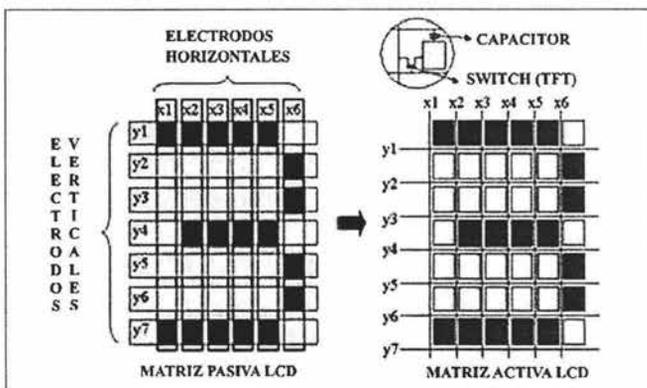


Figura 3.1.13. Matriz LCD Activa vs Matriz LCD Pasiva

Esta propiedad de las AMLCDs se debe a que contienen un switch para diferenciar los voltajes que van dirigidos a las líneas horizontales de las verticales, por lo que tienen menos

³⁸ AMLCDs (Active Matrix Liquid Crystal Display)

³⁹ PMLCDs (Pasive Matrix Liquid Crystal Display)

⁴⁰ Este efecto es el que se produce debido a la diferencia de tiempos para activar los píxeles en las pantallas. El tiempo de activación en una pantalla pasiva es mayor que en una activa, por lo que la actualización al ser más lenta llega a producir dicho efecto.

retardo de actualización de pantalla. Para la integración de dichos switches se usan transistores elaborados en películas delgadas, de ahí el nombre de pantallas TFT.

Existen tres tecnologías de integrar estas películas delgadas de transistores: (a-Si)⁴¹, (p-Si)⁴² y (x-Si)⁴³.

La tecnología a-Si es la más popular debido a su facilidad de producción y a su gran calidad en pantallas mayores a 14 pulgadas, sin embargo, debido a que los cristales de silicio amorfo son pequeños, de formas irregulares y con orientación aleatoria, su movilidad de electrones es un poco lenta ($0.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$).

Por otro lado, la tecnología p-Si tiene una estructura de cristales más grandes, con formas regulares y se encuentran uniformemente orientados, lo cual permite a los electrones moverse mucho más rápido, alcanzando fácilmente una velocidad de $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

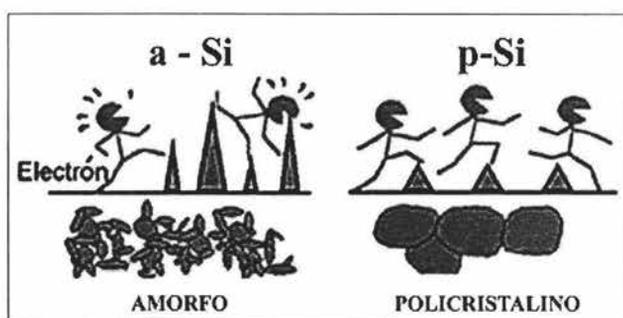


Figura 3.1.14. Comparación de movilidad de los electrones

Además, los transistores utilizados en p-Si pueden ser más pequeños, por lo tanto, es posible que estén más juntos, llegando a tener una resolución de 200 ppi (píxeles por pulgada), lo cual es el doble de resolución tanto vertical como horizontal de lo que se puede alcanzar con tecnología a-Si en la misma área de pantalla.

Por otra parte, la gran movilidad de electrones que se tiene en la tecnología p-Si permite que los controladores LCD estén hechos de polisilicio y que sean incorporados en el cristal, sustituyendo a los controladores anteriormente utilizados en paneles a-Si, implicando así las siguientes ventajas: reducción en el número de conexiones al cristal en un factor de 1/20, ahorro en material de fabricación, obtención de pantallas mucho más delgadas y ahorro de energía.

Sin embargo, la tecnología p-Si requiere de un proceso de fabricación más costoso y elaborado, aunque este tipo de tecnología es ideal para pantallas pequeñas de alta definición y debido a su demanda, el precio de producción llega a ser más accesible cada día. De

⁴¹ a-Si (amorphous silicon)

⁴² p-Si (polycrystalline silicon)

⁴³ x-Si (single cristal silicon)

hecho, de dichas pantallas se componen muchos de los dispositivos móviles como los que se emplean en la tercera generación de telefonía celular.

La tecnología x-Si tiene una movilidad de electrones dos veces mayor a la de la tecnología p-Si, sin embargo, esta tecnología no se encuentra muy desarrollada, por lo que resulta muy costosa.

La mayor desventaja de las pantallas TFT LCD es su precio, aunque por otro lado proporcionan una calidad de video impresionante, mejor contraste y por supuesto una mejor calidad en los colores desplegados, haciendo que estas pantallas se vuelvan cada vez más pequeñas y menos pesadas.

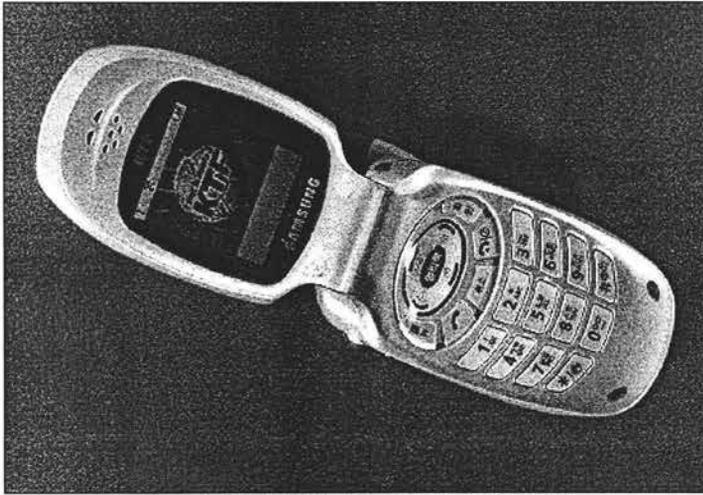


Figura 3.1.15. Teléfono 3G con pantalla TFT-LCD

Como se ha mencionado, en el mercado la mayoría de los teléfonos de tercera generación poseen una pantalla TFT-LCD. Un ejemplo de esto es el modelo SPH-X4200 de Samsung arriba presentado, el cual fue diseñado para redes 3G CDMA2000 soportando la especificación inicial 1xRTT con una velocidad máxima de 144 kbps y que cuenta con una pantalla a color TFT-LCD de 45mm.

3.1.1.4 La antena

Toda la funcionalidad que se espera en un handset 3G demanda una importante cantidad de requerimientos en uno de los componentes que hacen que un dispositivo inalámbrico tenga precisamente esa característica de ser “inalámbrico”: la antena.

Conforme la tecnología inalámbrica ha ido avanzando, el tamaño de las antenas asimismo se ha visto reducido. Lo anterior resulta evidente cuando se compara la antena de de lazo de 4 a 5 pulgadas de los primeros modelos de teléfonos con los stubs de 1 pulgada que se tienen en la actualidad.

Uno de los problemas que se presentan al diseñar una antena tiene que ver con los límites prácticos que se existen para poder construirlas lo suficientemente pequeñas al mismo tiempo que se mantiene un cierto nivel de desempeño mínimo. Como se sabe, una antena es fundamentalmente una línea de transmisión que transforma la energía eléctrica (corrientes y voltajes) en energía electromagnética (ondas de radiofrecuencia o RF) y cuya longitud es inversamente proporcional a la frecuencia de transmisión. Por consiguiente, al irse moviendo las nuevas aplicaciones inalámbricas a una parte superior en el espectro de frecuencias, las dimensiones de estos componentes ha disminuido. Como ejemplo, una antena de lazo de 4 pulgadas de un cuarto de longitud de onda para el sistema celular analógico a 800 MHz se convierte en un stub de 1.5 pulgadas para el sistema digital PCS a 1900 MHz.

De manera práctica, cuando un diseño de antena en particular es considerado para una aplicación inalámbrica, lo que resulta de especial interés para los ingenieros encargados en desarrollarla es la potencia pico o la potencia promedio de la forma de onda que podrá producir la antena. La corriente y el voltaje en la línea de transmisión pueden ser reflejadas a las terminales que alimentan la antena, haciendo que sólo una parte de la potencia aplicada se use para la propagación de las ondas electromagnéticas. Esta cantidad de potencia se determina por lo bien que la antena se encuentre acoplada a la línea de transmisión. Una antena perfectamente acoplada aceptaría toda la potencia disponible en la línea y reflejaría muy poco o nada de potencia a las terminales. En la vida real, las antenas nunca tienen un acoplamiento perfecto, por lo que únicamente una fracción de la potencia total disponible se emplea para la radiación en un rango de frecuencias pequeño, también conocido como ancho de banda de la antena. Fuera de su ancho de banda, las antenas aceptan muy poca de la potencia disponible volviéndose ineficientes para radiar energía. El porcentaje de potencia que es radiada por la antena es conocido como su eficiencia. La eficiencia, junto con el tamaño, son los parámetros clave usados en la actualidad para comparar las diferentes tecnologías de antenas empleadas en los dispositivos móviles.

3.1.1.4.1 Antenas externas

El dipolo común ha sido reconocido por largo tiempo como un radiador eficiente (cuando tiene una longitud adecuada para la frecuencia que se desea). El problema que se tiene con el dipolo es que su forma de 'T' resulta poco atractiva para los diseñadores de dispositivos inalámbricos, ya que esto haría que la mitad del alambre necesario para implementarla resaltara en la parte superior del handset y la otra mitad en la parte inferior. Consecuentemente, la antena monopolo fue desarrollada para consistir solamente de la mitad del dipolo (longitud $\lambda/2$), montándose sobre un plano de tierra. Esta configuración cuenta con un patrón de radiación deseable del tipo omnidireccional o de forma toroidal. Los monopolos se implementan con una longitud de $\lambda/4$ y son las antenas generalmente elegidas por los diseñadores que desean utilizar antenas externas en los equipos inalámbricos.

Conforme los dispositivos se vuelven cada vez más pequeños, el uso de antenas externas se hace menos conveniente, por lo que en los últimos años se ha tenido un

incremento en la demanda de diseños de antenas internas que posean un desempeño similar al del monopolo.

3.1.1.4.2 Antenas internas

Existen cuatro tipos de arquitecturas de antena que son utilizadas comúnmente en las aplicaciones embebidas: la de microstrip, la de parche, la PIFA⁴⁴ y la MLA⁴⁵.

Las líneas microstrip son una extensión del monopolo, solamente que éstas se colocan en una superficie de dos dimensiones. La arquitectura de microstrip es de fabricación sencilla y poco costosa al emplear cintas de cobre de longitudes de $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{4}$ de longitud de onda sobre el circuito impreso. El inconveniente que se presenta con esta arquitectura tiene que ver con la degradación de su eficiencia de radiación al encontrarse de alrededor secciones metálicas propias del circuito (como lo puede ser su plano de tierra en la parte inferior), además de que es una solución para una sola frecuencia, lo cual resulta especialmente desfavorable si se considera que la mayoría de los dispositivos, incluyendo los de tercera generación, requieren de trabajar en diferentes bandas.

Las antenas de parche han sido por largo tiempo una buena elección cuando en un sistema se requiere de un patrón de radiación enfocado a una cierta dirección. El haz de radiación es normal a la superficie del circuito, resultando en un patrón en forma de cono invertido. Los parches constan de una superficie protectora de cobre con forma cuadrada o redondeada puesta en la parte superior del circuito. En cuanto a otras características, las antenas de parche son generalmente económicas y angostas en su ancho de banda. Esto último hace que se empleen en aplicaciones de una sola frecuencia donde se requiera un haz dirigido, como en el caso de un receptor GPS o de un punto de acceso inalámbrico instalado en una pared.

La arquitectura de antena plana con forma de 'F' invertida o PIFA, recibe ese nombre debido a que asemeja una letra 'F' puesta de costado, en donde las dos secciones más pequeñas sirven para la alimentación y para el punto de tierra, y el otro extremo funciona como la superficie de radiación. Las PIFAs poseen un patrón considerado en cierta forma omnidireccional y pueden construirse con la propiedad de radiación en más de una banda de frecuencias, aunque su eficiencia es promedio y, en ocasiones, puede ser difícil acoplarla al circuito transmisor al trabajar con la cualidad de multifrecuencias.

Cuando se combina una antena de lazo cerrado con un sintonizador formado por unas líneas en forma de serpiente, se obtiene la antena de tipo MLA. Al contrario de los ejemplos anteriores, las MLAs basan más su longitud eléctrica en su característica de retraso provocada por las líneas en forma de serpiente que en la longitud de la superficie radiante en sí. De esta manera, la antena resulta más eficiente para su dimensión que muchas de las otras antenas adoptadas en diseños inalámbricos. Aunado a lo anterior, las MLAs pueden ser diseñadas para tener capacidades de banda ancha que permiten la operación en una gran cantidad de bandas de frecuencia, como podrían ser las de AMPS,

⁴⁴ PIFA: Planar Inverted 'F' Antenna

⁴⁵ MLA: Meander Line Antenna

PCS, GPS, etc., simultáneamente. La desventaja principal recae en el costo, el cual es superior que en las opciones arriba comentadas.

3.1.1.4.3 Aspectos a considerar en el diseño de antenas internas

Sin importar el tipo de tecnología que se utilice, uno de los retos que siempre se tendrá que considerar tiene que ver con la integración de la antena al teléfono, ya que lo que se busca es que se mantenga lo más posible el patrón de radiación óptimo o deseado, tomando en cuenta que la orientación de la antena puede cambiar cuando el handset esté en uso. Este problema se puede visualizar de una manera más clara si se considera el caso de un PDA, toda vez que estos aparatos se emplean en la mayoría de las veces en dos posiciones: con una elevación de 45° aproximadamente cuando se tiene en la palma de la mano o con una elevación de 0° cuando éste se usa en una superficie plana como la de un escritorio. Aunque esto podría parecer una diferencia trivial, no lo es tanto, ya que si se usa una antena monopolo con un patrón que tiene la forma de una dona o un aro, al presentarse el caso de 0° de elevación, la mayoría de la potencia radiada se estaría desperdiciando en direcciones no deseadas (hacia el techo o hacia el escritorio).

De igual manera, la industria inalámbrica tiende a ejercer presión para la maximización del desempeño de los sistemas de comunicación, con el objetivo de poder enfrentarse exitosamente a los requerimientos de la 2.5G y la 3G y así soportar las tasas de transmisión esperadas, disminuyendo también las zonas donde existan huecos en la cobertura. Entre las soluciones que se contemplan se tiene el concepto de diversidad en antenas, el cual puede mejorar la relación señal a ruido (SNR) del handset, así como mitigar el problema de orientación arriba descrito.

3.1.1.4.4 Diversidad en antenas para los dispositivos móviles

La diversidad en antenas ha sido empleada por muchos años en las comunicaciones inalámbricas, por lo que en el campo del procesamiento de señales es bien conocido que existen cinco diferentes tipos de diversidad que pueden ser aprovechadas para mejorar o incrementar una señal recibida: la espacial, la temporal, la de polarización, la de frecuencia y la de patrón (también conocida como diversidad de ángulo). De éstas, únicamente la espacial, la de polarización y la del patrón se consideran viables para una implementación práctica en los sistemas inalámbricos.

La diversidad espacial es la forma de diversidad más ampliamente implementada. Ésta se usa para contrarrestar los efectos negativos de la interferencia destructiva causada por las multitrayectorias y se basa en la utilización de dos antenas similares separadas por un número fijo de longitudes de onda. Dado que la interferencia por multitrayectorias se localiza en un lugar en específico, como la antena 1, la antena adicional no sufrirá de la misma degradación de la señal. La separación espacial se escoge específicamente para maximizar la recepción en la antena 2 cuando la antena 1 se encuentra en su mínimo. Así pues, en la implementación más sencilla, el circuito de recepción simplemente selecciona la antena que reciba en ese momento la señal con mayor intensidad.

La diversidad de patrón o de ángulo aprovecha la gran variedad en formas y tamaños de las antenas para producir patrones que se ajusten mejor a las necesidades de cada aplicación en específico. Un ejemplo de esto son los enlaces satelitales con grandes platos parabólicos, en donde se utiliza su gran directividad para realizar la comunicación, aunque esto requiere de una muy buena alineación para que la señal no se pierda. En los sistemas celulares se requiere de una conexión en cualquier posición, debido a que el escenario no es estacionario (el usuario puede variar su posición espacial con respecto al tiempo), lo cual deriva en la necesidad de una antena con un patrón completamente hemisférico (dirigido hacia arriba del plano horizontal del dispositivo) con la característica de tener ganancia positiva en todo el hemisferio de interés, algo que no es fácil de lograr.

El tercer tipo de diversidad benéfica, la diversidad de polarización, emplea los cambios en la polarización de las señales al chocar con las estructuras que encuentran a su paso. Por lo tanto, un receptor contando con un elemento de recepción polarizado verticalmente y otro polarizado horizontalmente se considera óptimo para los sistemas inalámbricos. De cualquier manera, el problema para los sistemas móviles es que, como se ha visto, todas estas opciones de diversidad requieren de por lo menos dos antenas separadas dentro del mismo dispositivo.

3.1.1.4.5 Soluciones específicas

Actualmente existe en el mercado una compañía de nombre Antenova, dedicada a desarrollar soluciones de antenas en el campo de las comunicaciones móviles. Los diseños de dicha compañía tienen la característica de poseer una gran cantidad de cualidades, por lo que a continuación se presentan algunos detalles de dos de sus productos dirigidos a la tercera generación de telefonía celular.

3.1.1.4.5.1 Antena de tres bandas de Antenova

Esta antena de Antenova es una solución de montaje PCB⁴⁶, la cual, gracias a superficie tan pequeña, elimina la necesidad de agregar una segunda antena convencional en los handsets, algo que puede ser perjudicial para el tamaño de las terminales portátiles.

En general, se considera que los desarrolladores de handsets pueden emplear el rango de las antenas de tres bandas convencionales en la banda GSM 1900 para cubrir las frecuencias de transmisión 3G de 1920 a 1980 MHz. No obstante, se ha visto de igual manera que resulta difícil crear un componente multibanda de dimensiones adecuadas que también pueda trabajar en la banda de recepción 3G de 2110 a 2170 MHz.

La idea de instalar una antena adicional de parche o una PIFA en los handsets no se considera muy viable por las dimensiones físicas que agregarían estos componentes junto con todos los circuitos que le permitirían al dispositivo operar en 3G. La antena que propone Antenova tiene dimensiones de 14x9mm con una altura de 3.5 mm, la cual emplea una tecnología propia de la compañía que ellos denominan como HDA (High Dielectric Antenna), permitiéndoles a los diseñadores, en caso de que así lo requieran, la instalación

⁴⁶ PCB: Printed Circuit Board

de antenas múltiples con una separación de algunos milímetros sin que haya efectos contraproducentes. La diversidad espacial es complicada de implementar en terminales portátiles usando antenas hechas de materiales conductores convencionales que requieren de una separación de cerca de una longitud de onda (alrededor de 15 cm en frecuencias 3G) para que no exista un traslape o combinación de los campos cercanos de las mismas. La propiedad HDA hace que el campo cercano quede contenido en la antena casi completamente, lo cual es ideal para la utilización de arreglos de antenas muy juntas entre sí en las tarjetas madres de los teléfonos de tercera generación.

Características generales de la antena de 3 bandas de AntenoVA:

- Cubre las siguientes bandas: GSM 900, DCS 1800, PCS 1900, WCDMA 2100 y UMTS.
- Tecnología HDA.
- Diseño interno.
- Rango de frecuencias en la banda inferior: 890 MHz – 960 MHz
- Rango de frecuencias en la banda superior: 1710 MHz – 2170 MHz
- Ganancia pico en la banda inferior: 2 dBi
- Ganancia pico en la banda superior: 3 dBi
- VSWR⁴⁷: Máximo 2.8
- Impedancia: 50 Ω
- Patrón de radiación simulado:

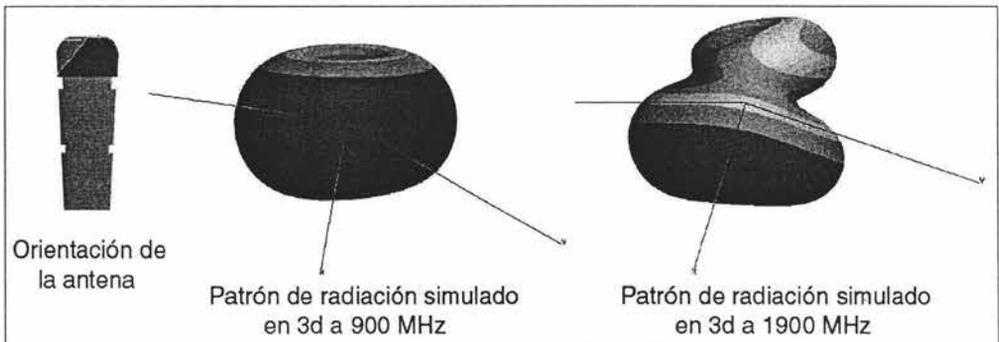


Figura 3.1.16. Patrón de radiación

⁴⁷ Voltage Standing Wave Ratio: Relación de onda estacionaria de voltaje. Se define como la relación del voltaje máximo con el voltaje mínimo, o de la corriente máxima con la corriente mínima de una onda estacionaria en una línea de transmisión. Esencialmente, es una medición del desacoplamiento entre la impedancia de carga y la impedancia característica de la línea de transmisión.

- Pérdidas de retorno⁴⁸

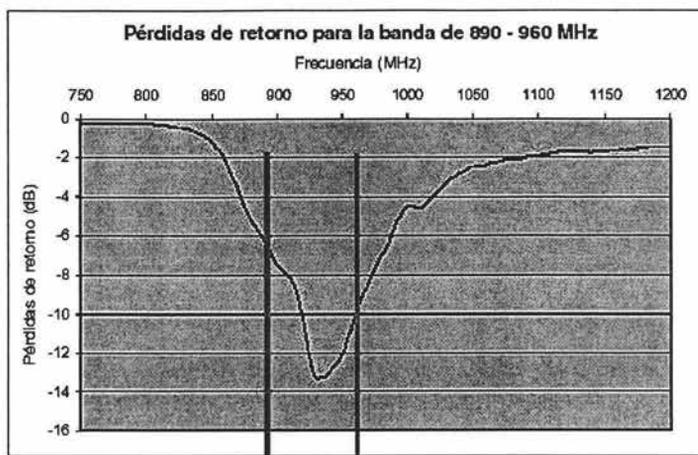


Figura 3.1.17. Pérdidas de retorno

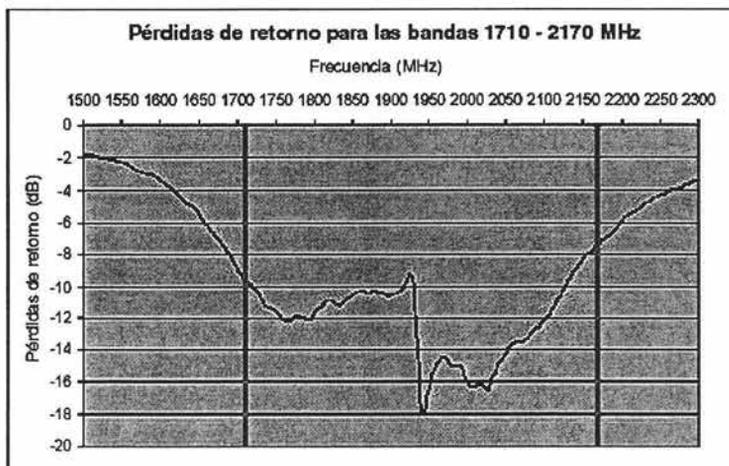


Figura 3.1.18. Pérdidas de retorno (continuación)

⁴⁸ La pérdida de retorno mide prácticamente lo mismo que el VSWR. Si el 50% de una señal es absorbida por la antena y el otro 50% es reflejada, se dice que se tiene una pérdida de retorno de -3 dB. Una buena antena puede tener un valor de -10 dB (90% es absorbida y 10% es reflejada)

- Eficiencia de la antena⁴⁹

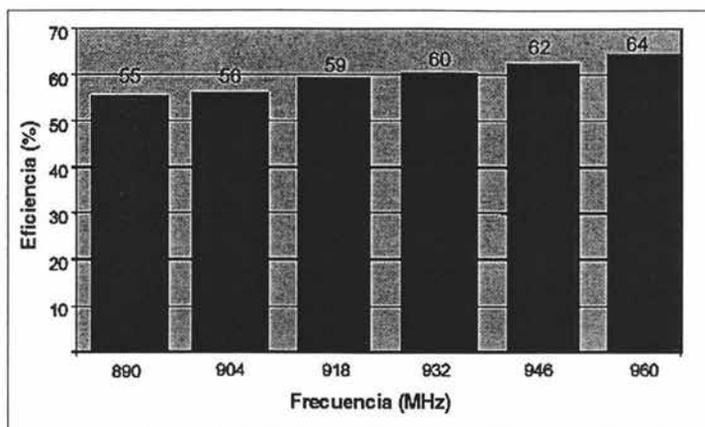


Figura 3.1.19. Eficiencia de la antena

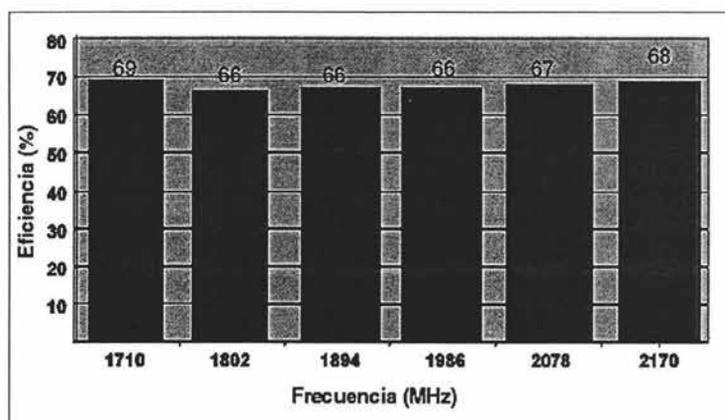


Figura 3.1.20. Eficiencia de la antena (continuación)

Por los datos anteriores, se puede observar que la antena de tres bandas de Antenova se presenta como una opción altamente aceptable para trabajar con redes de telefonía celular de tercera generación. La pérdida de retorno en la banda de frecuencias inferior para la que fue diseñada tiene un valor máximo de -7 dB lo que representa que, en el peor de los casos, un poco más del 19% de la señal es reflejada. En las otras dos bandas de frecuencia se tiene un valor pico de -8 dB, llegando a tener en algunos casos una pérdida de retorno de -18 dB (sólo 1.6% de la señal es reflejada). Considerando el patrón, es posible ver que éste es bastante bueno para trabajar con las condiciones del ambiente no estacionario de los sistemas celulares para lograr una buena comunicación en casi cualquier posición y la eficiencia también es bastante admisible, ya que en los rangos considerados nunca resultó

⁴⁹ La eficiencia de una antena es la relación que existe entre la potencia total radiada y la potencia total de entrada (con la que se alimenta a la antena). Su valor es adimensional e idealmente tiene un valor unitario.

menor del 55%, alcanzando a tener valores en algunas ocasiones apenas por debajo del 70%.

3.1.1.4.5.2 Antena de cuatro bandas de Antenova

La antena de cuatro bandas de Antenova fue diseñada empleando la misma tecnología HDA que la de tres bandas y cuenta con las siguientes características:

- Cubre las bandas: AMPS 800, GSM 900, DCS 1800, PCS 1900 y es apropiada para los handsets americanos y europeos CDMA/TDMA 800 y 1900.
- Tecnología HDA.
- Diseño interno.
- Rango AMPS: 824 MHz – 890 MHz
- Rango GSM: 890 MHz – 960 MHz
- Rango DCS: 1710 MHz – 1880 MHz
- Rango PCS: 1850 MHz – 1990 MHz
- Ganancia pico en la banda inferior: 2 dBi
- Ganancia pico en la banda superior: 4 dBi
- VSWR: Máximo 3
- Impedancia: 50 Ω
- Patrón de radiación simulado:

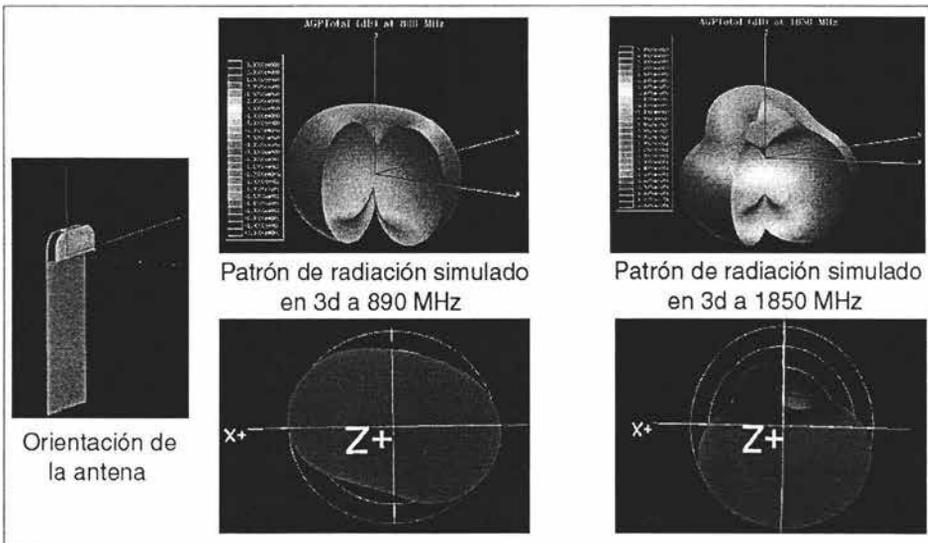


Figura 3.1.21. Patrón de radiación

- Pérdidas de retorno

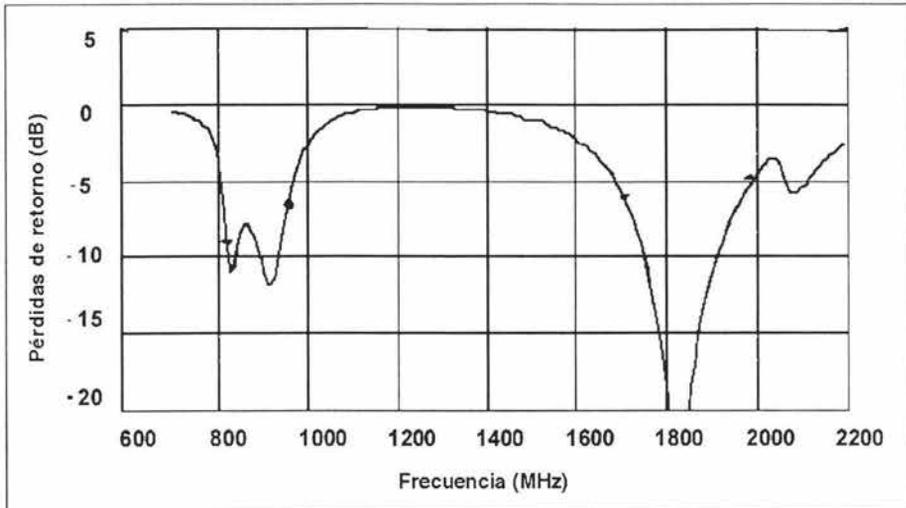


Figura 3.1.22. Pérdidas de retorno

- Eficiencia de la antena

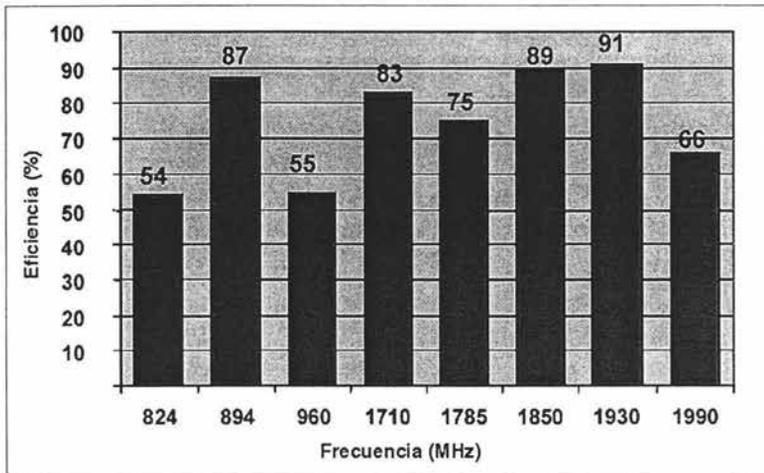


Figura 3.1.23. Eficiencia de la antena

Analizando la información que proporcionan las gráficas arriba presentadas de una manera similar a como se hizo con la antena de tres bandas, podemos ver que la antena de cuatro bandas es una excelente opción tanto para los handsets americanos (también trabaja en el rango de frecuencias de AMPS, el sistema analógico que fue particularmente popular

en E.U.A., Suramérica, China y Australia) y europeos operando en las redes de tercera generación como las CDMA2000 en las bandas de 800 MHz, 1700 MHz y 1900 MHz. Asimismo, el patrón de radiación a las frecuencias simuladas resulta muy parecido al de la antena de tres bandas y en cuanto a las pérdidas de retorno y la eficiencia, los valores son incluso mejores, teniendo resultados mas allá de los -20 dB para la banda de frecuencias superior y con eficiencias que van desde el 55% hasta un sobresaliente 91%. Considerando la ganancia, ésta se encuentra dentro de lo esperado para antenas de dimensiones parecidas.

En conclusión, se puede decir que el objetivo primordial, pensando en los requisitos de hardware para la tercera generación de telefonía móvil, es que el usuario final reciba un teléfono pequeño, ligero, más accesible, con mayor duración de la batería y que le proporcione los servicios que requiera para desarrollar sus actividades de una manera más eficiente y efectiva.

3.2 Requerimientos de software

3.2.1 Sistema operativo para el handset.

Como es de esperarse, la evolución de los nuevos sistemas operativos para los equipos inalámbricos jugará un papel muy importante dentro del futuro de los servicios móviles de banda ancha. Los dispositivos inalámbricos aún se encuentran muy lejos de las computadoras de escritorio en muchos aspectos y los avanzados sistemas operativos móviles deben ayudar a reducir dicha brecha, mientras que agregan nueva funcionalidad a los handsets.

Symbian (propiedad de un grupo de fabricantes de handsets líderes) está siendo desafiado por Microsoft y PalmSource, quienes buscan expandir su base de usuarios dentro del espacio móvil. El sistema operativo Symbian OS se encuentra disponible en dos interfaces de usuario diferentes: la UIQ (User Interface Quartz) propia del vendedor y la interfaz Nokia Series 60. Por su parte, Microsoft tiene dos versiones de su Windows CE adaptadas para diferentes categorías: la Pocket PC Phone Edition para teléfonos PDA, PDAs con conectividad inalámbrica, etc., y la versión Smartphone, dirigida a los teléfonos móviles de bolsillo de tamaño regular. Finalmente, PalmSource (nombrado así para separarlo de su compañía matriz Palm) cuenta con su Palm OS adaptado principalmente para teléfonos PDA.

Debido a que el mercado de sistemas operativos móviles tiende a expandirse, esto ha atraído a nuevos contendientes a la batalla. Uno de ellos es MontaVista, ofreciendo la primera distribución Linux hecha para dispositivos móviles, en tanto que la compañía de reciente creación SavaJe Technologies se encuentra distribuyendo un sistema operativo basado completamente en Java.

Conforme los dispositivos de computación móvil y los Smartphones o teléfonos inteligentes han surgido, nuevos segmentos de mercado se han definido y otros aún se encuentran definiéndose. La firma de investigaciones de mercado IDC define a los dispositivos inalámbricos de convergencia como una subcategoría de los dispositivos

inteligentes (que caben en la palma de la mano), los cuales ofrecen un amplio rango de funcionalidad móvil y son diseñados para acceder y manejar datos.

Los dispositivos móviles de convergencia pueden ser divididos además en teléfonos PDA y Smartphones. La IDC estima que 1.7 millones de estos dispositivos (en su mayoría Smartphones) han sido vendidos a escala mundial en el primer cuarto del 2003. Vale la pena destacar que el Symbian OS dominó el segmento de los Smartphones completamente, mientras que el Pocket PC y el Palm OS fueron las plataformas que prevalecieron en los teléfonos PDA. De cualquier manera, en el periodo del año mencionado, el segmento de los Smartphones constituyó únicamente el 1% del mercado global de handsets, aunque se espera que este segmento tenga un crecimiento acelerado en los próximos años. En cuanto a los dispositivos Smartphone de Microsoft, éstos se han vendido muy poco desde su introducción en noviembre de 2002, aparentemente debido a que el sistema operativo no ha logrado atraer en gran manera a los fabricantes líderes en el mundo, que cuestionan la estabilidad del software.

Así pues, la mayoría de los operadores no están atando sus servicios de próxima generación a un sistema operativo específico, sino que están abiertos a emplear más de uno. La principal tendencia de los sistemas operativos móviles se espera tenga que ver con un cambio gradual de las soluciones propietarias a las avanzadas plataformas abiertas de software. En el futuro se prevé que Symbian y Microsoft van a ser los dos competidores con más posibilidades de ocupar la posición número uno dentro del mercado, pero en el presente, las probabilidades se encuentran a favor de Symbian, debido a que cuenta con un amplio apoyo de la industria móvil, algo de lo que Microsoft carece. Asimismo, la opción de Linux podría encontrar un buen nicho de mercado, y posiblemente uno grande si comienza a reemplazar los sistemas operativos propietarios a gran escala. Palm OS tiene un buen potencial de crecimiento y seguramente mantendrá una buena parte del mercado gracias a su fuerte posición dentro de los PDAs.

El desarrollo de aplicaciones para los nuevos sistemas operativos es similar al desarrollo de éstas para otras plataformas. Se espera que solamente se requiera de una inversión mínima en entrenamiento y herramientas de desarrollo para comenzar a crear aplicaciones. Los lenguajes de programación más ampliamente utilizados como C/C++, Java y Visual Basic serán las herramientas principales para la creación de las nuevas aplicaciones móviles. En específico, se considera que J2ME (la edición móvil de Java) es una tecnología clave para el desarrollo de aplicaciones, toda vez que es soportado por todas las plataformas previamente mencionadas (Linux, Palm OS, Smartphone y Symbian OS). Sin embargo, las diversas especificaciones de hardware y las diferentes versiones del ambiente operativo que son usadas por los fabricantes, hacen de la creación de aplicaciones móviles en Java que sean verdaderamente independientes del dispositivo en el que se instalen, algo en extremo difícil de lograr. La gran diversidad de características opcionales y restricciones de seguridad amenazan con fragmentar los mercados de las aplicaciones Java a unos cuantos fabricantes y modelos. Una alternativa, que también es independiente de la plataforma que se maneje, es el ambiente de aplicaciones móviles BREW de Qualcomm, del cual se hablará más adelante en el capítulo V de la presente tesis.

3.2.1.1 Costos de licencias e implementación

En general, los costos de los sistemas operativos en el ciclo de vida de una terminal móvil se dividen en dos categorías. Durante la fase de desarrollo se tienen los costos de implementación de la plataforma de software con el diseño de hardware. Una vez que el producto terminado llega al mercado, el vendedor del sistema operativo (excepto en el caso de Linux) obtiene ingresos generados por los derechos de autor en cada unidad que es vendida.

El tener la propiedad compartida, como en el caso de Symbian, permite una distribución del resultado entre los propietarios de acuerdo a su participación. Actualmente Nokia, Sony Ericsson y Motorola tiene cada uno el 19% de Symbian. Matsushita cuenta con el 7.8%, mientras que Samsung posee el 5% y Siemens el 4.8%.

De acuerdo a Psion, el mayor accionista de Symbian, su sistema operativo redituó en el año de 2002 unos US\$34 millones sin considerar los ingresos por derechos de autor, es decir, obtuvieron ganancias también al proveer servicios de consultoría relacionados con la implementación de licencias en productos futuros. En contraste, la competencia de Symbian no obtiene ganancias por los servicios de consultoría en forma separada, aunque se puede asumir que, en el caso de Microsoft, existirá la posibilidad de subsidiar dichos costos durante la etapa de creación con el objetivo principal de ganar mercado.

Los costos de las licencias para los sistemas operativos móviles avanzados se encuentran actualmente en un rango de US\$5 a US\$10 por unidad⁵⁰. La tabla 3.2.1 muestra los costos estimados de las licencias de los sistemas operativos, pero sin incluir los cargos adicionales que se generan por módulos adicionales de software como la plataforma Nokia Series 60 para el Symbian OS o el software MMS-client no incluido en el Microsoft Smartphone.

Plataforma	Ventas en el 2002 (millones)	Ingresos por las licencias (millones de dólares)	Costos estimados por unidad (dólares)
Linux	-	-	0
PalmOS	6.7*	69	<10
SavaJe OS	-	-	-
Smartphone	<0.1	-	~5
Symbian OS	2.1	12	6

Tabla 3.2.1. Estimaciones en los costos de las licencias de los sistemas operativos móviles

*Nota: Principalmente para PDAs sin conectividad inalámbrica

⁵⁰ De acuerdo a información obtenida por la compañía editorial Baskerville (<http://www.baskerville.telecoms.com/>) que se basa en datos financieros y de mercado de los proveedores y propietarios de los sistemas operativos móviles, junto con información de mercado de diversas firmas de investigación.

3.2.1.2 Necesidades específicas de los sistemas operativos móviles

Al tomar en cuenta que las necesidades específicas del mercado de los teléfonos móviles son diferentes a los de las PCs o los aparatos domésticos fijos, es importante considerar a dicho mercado de forma aislada.

El escalar un sistema operativo de PC con sus capacidades de comunicación a un sistema operativo pequeño para los handsets conlleva una gran cantidad de compromisos fundamentales. Dentro de estos compromisos, se considera que un sistema operativo especialmente diseñado para el ambiente móvil debe tomar en cuenta 5 aspectos clave que lo hacen único:

- Se debe destacar el hecho de que los handsets deben ser tanto pequeños como móviles.
- Los teléfonos móviles van dirigidos a un mercado masivo de consumidores, empresas y usuarios profesionales.
- Los teléfonos móviles se conectan ocasionalmente (pueden ser utilizados cuando se conectan a la red telefónica inalámbrica, localmente a otros dispositivos o sin la necesidad de establecer alguna conexión).
- Los fabricantes deben diferenciar sus productos de manera que presenten innovaciones en un mercado de cambios vertiginosos.
- La plataforma debe de estar abierta para permitir tecnología independiente así como fabricantes de software, de manera que sea posible para terceros desarrollar aplicaciones, tecnologías y servicios.

A continuación se presenta una descripción más amplia de los puntos arriba mencionados:

3.2.1.2.1 Terminales pequeñas y móviles, pero siempre disponibles

Por definición los dispositivos móviles deben ser pequeños y por supuesto móviles. Esta característica crea grandes expectativas en los usuarios en el sentido de que ellos esperan que, por ejemplo, si tienen una agenda en un teléfono que les sirva para realizar llamadas e intercambiar información, sean capaces de llevar toda esta funcionalidad con ellos a cualquier lado en todo momento para así emplearla cuando lo crean necesario.

Llenar todas esas expectativas tiene como consecuencia una considerable demanda en cuanto a la administración de energía se refiere. El dispositivo debe responder en toda situación y no se puede permitir una larga secuencia de inicio cuando es encendido. De hecho, el handset nunca debe de ser apagado del todo ya que generalmente necesita activar alarmas de tiempo o manejar llamadas entrantes. Cumplir con estos requerimientos contradictorios sólo puede ser logrado si el sistema operativo con el que cuenta se diseña en su totalidad bajo el concepto de eficiencia.

3.2.1.2.2 Enfoque dirigido al mercado masivo

La confiabilidad es uno de los puntos más importantes a tomar en cuenta en el mercado masivo. Si un usuario experimentara en una unidad móvil alguna pérdida de información causada por el propio equipo, eso tendría como consecuencia una desconfianza futura de éste hacia a su teléfono, y lo que es peor, hacia la compañía fabricante del mismo. El hecho de pedirle a un consumidor que realice una actualización de software debe pensarse como un último recurso tanto práctico como comercial (se debe evitar a toda costa que un handset sea empacado o puesto a la venta con un defecto crítico en el software). Así pues, empleando terminología de PCs, un teléfono nunca debería necesitar resetearse o reiniciarse, algo que resulta muy común en computadoras de escritorio, donde los “bugs” o errores de programación y los reinicios son situaciones previstas y esperadas.

Aunque en un inicio parezca difícil de concebir para muchos usuarios de computadoras personales, la posibilidad de contar con un sistema operativo robusto y confiable es completamente viable. Incluso cuando nadie puede garantizar un software totalmente libre de errores, un buen sistema operativo puede facilitar en gran manera la escritura de aplicaciones sólidas y confiables. Para lograr estos propósitos es necesario contar con una buena ingeniería de software (incluyendo orientación de objetos) y una buena estructura para manejar errores, haciendo que se lleve a cabo una recuperación aceptable al enfrentarlos dentro de la ejecución del programa como puede ser cuando se acaba la memoria, la batería se encuentra baja o se pierde el enlace de comunicación.

Asimismo, un sistema efectivo de administración de memoria se vuelve esencial, por lo que la liberación de recursos una vez que éstos no se requieran más resulta imperativo junto con una estructura para manejar los errores que sea fácil de usar. Las aplicaciones y los módulos del sistema que alojen bloques de memoria tienen que lidiar con la posibilidad de que ninguno esté disponible en algún momento, creando así la necesidad de emplear una programación defensiva desde el nivel del sistema operativo hasta el de la aplicación.

Complementariamente a la confiabilidad, es deseable ponerles atención a los siguientes puntos:

- Las aplicaciones deben sacar provecho a las características únicas de los teléfonos móviles y su ambiente.
- Los productos deben de ser diseñados para satisfacer los desarrollos de la tecnología actual y de la futura.
- La consistencia de estilo es crítica (si una característica es muy compleja de implementar, entonces no justifica ni el tiempo que se invirtió para desarrollarla ni el espacio que ocupa en la memoria del handset).

Un sistema operativo que se enfoque al mercado de los teléfonos móviles debe considerar estos lineamientos de diseño al ofrecer un alto nivel de integración con funcionalidades de comunicación y de administración de información personal (PIM⁵¹).

⁵¹ PIM: Personal Information Management

3.2.1.2.3 Manejo de conectividad ocasional

Servicios como acceder a datos de manera remota, mandar correo electrónico o sincronizar calendarios, por mencionar unos cuantos, demandan el uso de algún tipo de conexión. Las restricciones de movilidad generalmente hacen que una conexión inalámbrica sea la elección más adecuada, sin importar si se trata de un área grande (usando telefonía inalámbrica) o un área personal (por medio de infrarrojo o Bluetooth).

Como se sabe, la conectividad inalámbrica no es completamente uniforme debido a los diferentes protocolos usados alrededor del mundo, los desvanecimientos de la señal cuando se está en movimiento y a una cobertura incompleta (especialmente en áreas remotas, en algunos edificios o mientras se viaja en avión). Sería poco inteligente asumir que una conexión móvil se mantiene en todo momento, de modo tal que, si se hace un desarrollo confiando en que así sucede, la experiencia que vaya a tener el usuario final podría resultar muy frustrante. Un sistema operativo debe tomar todo esto en consideración al proporcionar aplicaciones que estén diseñadas para manipular los datos del usuario que se encuentren en el teléfono, aún si no se tiene conexión alguna. En pocas palabras, la transición que hay entre ser un punto más de la red y ser un equipo autosuficiente debe darse de una manera suave y sin complicaciones.

Toda esta conectividad demanda un desempeño multitareas del sistema operativo con capacidades de comunicaciones en tiempo real, manejando un conjunto considerable de protocolos de comunicaciones. Aunado a los requerimientos en tiempo real para mantener las conexiones, el sistema operativo debe proporcionar mecanismos que le permitan manipular las conexiones perdidas al mismo tiempo que le informa al usuario de una manera apropiada (sin que el handset realice una operación no esperada). Para lograr lo anterior y ser capaz de soportar los estándares más avanzados como W-CDMA, la interfaz al nivel de la aplicación debe permanecer consistente sin importar qué tipo de pila de protocolos se emplee.

Para que las aplicaciones se puedan beneficiar completamente de las posibilidades de conectividad actuales y sean fácilmente adaptables a los nuevos protocolos que se vayan implementando, se considera que es importante contar también con un amplio conjunto de APIs.

3.2.1.2.4 Diversidad en los productos

Existe una aparente contradicción entre los desarrolladores de software que buscan desarrollar para una sola plataforma popular y los fabricantes que desean tener una gran diversidad de productos novedosos y distintivos. La solución podría ser manejar por separado la interfaz del usuario del núcleo del sistema operativo.

Los teléfonos móviles avanzados o “smartphones” están apareciendo en todo tipo de formas y tamaños (desde los que se parecen a los handsets actuales con su teclado numérico, hasta los que se operan con una pluma o los que tienen grandes pantallas con pequeños teclados alfanuméricos). Los diferentes mecanismos de entrada junto con la forma de los dispositivos definen en gran manera el principal modo de operación de los

teléfonos. Con una pantalla muy pequeña y un teclado numérico, el uso principal tiende a ser las llamadas de voz. Con una pluma como dispositivo de entrada, la navegación resulta muy conveniente pero la captura de datos no. Un teclado alfanumérico se presenta obviamente como la mejor opción para capturar una gran cantidad de información. Todos estos distintivos implican que las interfaces de usuario son, en última instancia, dependientes tanto del dispositivo como del mercado.

Vale la pena destacar que la diferenciación de un producto no es solamente un problema del sistema operativo, pero de cualquier forma, el proveedor de éste debe permitir casi de manera obligatoria una cierta libertad en las licencias para que sea posible innovar y desarrollar nuevas líneas de productos. Lo ideal sería que los fabricantes de teléfonos pudieran crear productos altamente diferenciados al mismo tiempo que comparten una misma plataforma tecnológica, para así mantener siempre la curva de aprendizaje al mínimo (por ejemplo al maximizar la reutilización de código).

3.2.1.2.5 Plataforma abierta

En este punto se enfatiza la característica que debe permitir el desarrollo de terceros (como los proveedores de software independientes o los mismos operadores de las redes celulares) en los sistemas operativos dirigidos a mercados masivos. Por consiguiente, es deseable que el sistema operativo móvil tenga soporte para manejar lenguajes como C++ y Java, además de proporcionar SDKs⁵², herramientas, documentaciones, libros, cursos y soporte técnico especializado.

Con el propósito de reducir los tiempos que le toma a un producto estar listo para su introducción al mercado, los desarrolladores requieren de volverse hábiles para manejar las herramientas lo más rápido posible, por lo que el soporte de estándares que les sean familiares o que se puedan aprender a través de una considerable cantidad de fuentes es imprescindible. Los estándares también hacen que la plataforma sea más abierta y que como consecuencia atraiga a una mayor cantidad de desarrolladores.

Por mencionar un ejemplo, estándares tradicionales como el Unicode para la internacionalización, el POSIX API y Java deben estar presentes en cualquier sistema operativo que pretenda incursionar en un mundo comunicado. Además de esto, se considera que otros como el TCP/IP, POP3, IMAP4, SMTP, SMS, MMS, Bluetooth, OBEX, WAP, i-mode y SyncML deben contar con soporte también.

3.2.1.3 Características relacionadas con los servicios de banda ancha en el Symbian OS versión 7.0s

Como ya se ha mencionado, el Symbian OS es un sistema operativo que promete bastante para consolidarse como una de las plataformas más importantes y usadas en los teléfonos de tercera generación. En general, éste sistema operativo móvil se caracteriza por tener lo siguiente:

⁵² Software Developer Kit

- Telefonía móvil multimodo integrada. Permite integrar capacidades de computación en un dispositivo móvil y llevar los servicios avanzados de datos al mercado masivo.
- Ambiente de aplicaciones abierto. Hace posible que los teléfonos móviles se conviertan en una plataforma para el despliegue de aplicaciones y servicios (programas y contenidos) desarrollados en una amplia variedad de idiomas y formatos.
- Estándares abiertos e interoperabilidad. Con una implementación modular y flexible se proporciona un conjunto de APIs y tecnologías que son compartidas por todos los teléfonos que cuenten con el Symbian OS. Se cuenta además con soporte para los principales estándares de la industria.
- Capacidad multitareas. Se basa en una arquitectura de micro kernel. Cada uno de los servicios como los referentes a la telefonía, al motor de aplicaciones, etc., ejecutan sus propios procesos.
- Completamente orientado a objetos y basado en componentes. Emplea técnicas avanzadas de orientación de objetos, logrando una arquitectura flexible basada en componentes.
- Diseño de una interfaz de usuario flexible. Al proporcionar una interfaz de usuario gráfica y flexible es posible que los fabricantes, carriers, empresas y usuarios finales tengan una mayor gama de opciones. Una ventaja que se tiene al usar el mismo núcleo del sistema operativo en diferentes diseños es que facilita la portabilidad de las aplicaciones desarrolladas por terceros.
- Robustez. Se mantiene un acceso instantáneo a los datos del usuario y se asegura la integridad de los mismos incluso en la falta de un enlace de comunicación confiable o cuando se tenga una limitación de recursos como la memoria y la energía.

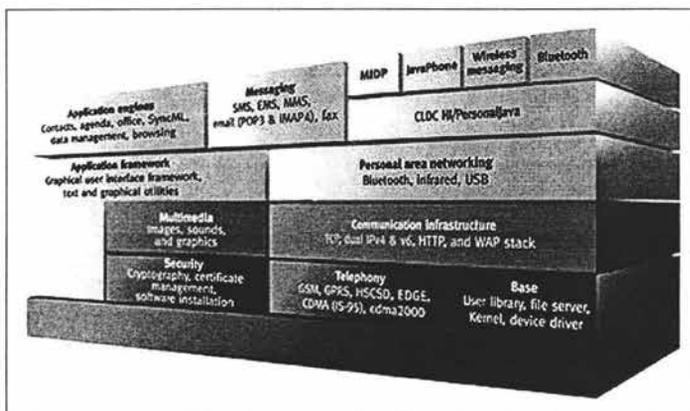


Figura 3.2.1. Arquitectura del Symbian OS v7.0s

3.2.1.3.1 Características principales en el Symbian OS v7.0s

El Symbian OS ofrece un núcleo de interfaces para la programación de aplicaciones (APIs) que son comunes para todos los teléfonos con este sistema operativo. Las características principales son:

- Motor de aplicaciones para diferentes propósitos. Incluye motores para aplicaciones de contactos, agendas, mensajes, navegación, utilidades y control del sistema. Utiliza el protocolo OBEX para intercambiar objetos como citas (usando el estándar de la industria: vCalendar) y tarjetas de negocios (vCard). Cuenta con APIs para la administración de datos, texto, portapapeles y gráficos.
- Mensajes. Mensajes multimedia (MMS), robustecidos o enriquecidos (EMS) y cortos (SMS). Correo electrónico usando POP3, IMAP4, SMTP y MHTML. Archivos adjuntos y faxes.
- Multimedia. Soporte para la grabación, reproducción y realización de streaming de audio y video. Conversión de imágenes.
- Gráficos. Acceso directo a la pantalla y al teclado para un alto desempeño. API con acelerador gráfico.
- Protocolos de comunicaciones. Manejo de TCP/IP (en modo dual: IPv4/v6) y WAP (navegación móvil, versión 1.2.1) para trabajar en redes WAN, soporte para redes PAN incluyendo infrarrojo (IrDA), Bluetooth y USB. Asimismo tiene la capacidad de ofrecer calidad de servicio (QoS) en la capa de enlace sobre redes GPRS/UMTS.
- Telefonía móvil. Se encuentra listo para el mercado 3G con soporte para voz por conmutación de circuitos en GSM, datos (CSD y EDGE ECSD) y datos por conmutación de paquetes (GPRS y EDGE EGPRS). También maneja voz y datos por conmutación de circuitos en CDMA y por conmutación de paquetes (en IS-95, cdma2000 1x y WCDMA). Herramientas para el SIM (Subscriber Identity Module), el R-UIM (Removable User Identity Module) y la UICC (USIM Integrated Circuit Card). Tiene capacidad para implementar otros estándares a través de APIs en el subsistema del teléfono.
- Soporte internacional. Conforme a la versión 3.0 del estándar Unicode.
- Sincronización de datos. Sincronización OTA (over-the-air) usando SyncML. Sincronización basada en PC sobre cable serial, Bluetooth, Infrarrojo y USB. Estructura para la conectividad con una PC, permitiendo la transferencia de archivos y sincronización de datos PIM.

- *Seguridad*⁵³. Ofrece encriptación total y administración de certificados por medio de protocolos de seguridad como HTTPS, WTLS (Wireless Transport Layer Security), SSL (Secure Socket Layer) y TLS (Transport Layer Security). Posee una estructura para el WIM (Wireless Identity Module) y permite la instalación de aplicaciones basadas en certificados.
- *Desarrollos para el Symbian OS*. Las opciones para el desarrollo de contenidos incluyen C++, Java (J2ME) MIDP 2.0, PersonalJava 1.1.1a (con la opción JavaPhone 1.0) y WAP.
- *Dispositivos de entrada*. El mecanismo genérico de entrada soporta teclados alfanuméricos, numéricos, reconocimiento de voz y escritura e ingreso de texto predictivo.

3.2.1.3.2 Subsistema de telefonía en el Symbian OS

El subsistema de telefonía contiene una interfaz multimodo para la programación de aplicaciones. Las redes celulares que soporta son GSM, GPRS, EDGE, CDMA (IS-95) y el 3GPP2⁵⁴ cdma2000 1x. Igualmente se encuentra listo para el 3GPP W-CDMA, haciendo que sea más sencillo portar el sistema operativo de un estándar a otro.

La funcionalidad, que es común para todos los tipos de redes soportadas, incluye:

- Información tanto del teléfono como de la red (obtención de la señal y del estado de la batería). Permite el acceso a los nombres de red detectados por el teléfono, información de la red actual, además de que recibe notificaciones cuando se presentan cambios en el registro de la red y obtiene información de identidad del teléfono.
- Directorio telefónico. Acceso para la lectura, escritura, búsqueda y eliminación en las áreas de almacenamiento del directorio telefónico del handset y en el SIM (en GSM 11.11), en el R-UIM (en cdma2000 1x) o en el UICC (en W-CDMA).
- Sincronización del directorio telefónico. Posee un mecanismo para sincronizar los registros almacenados en el directorio telefónico sobre un SIM o un R-UIM con la base de datos de los contactos, logrando así que los desarrolladores puedan tener acceso a todos los datos de este tipo por medio del API del modelo de contactos proporcionado.

⁵³ WTLS se usa en teléfonos compatibles con WAP 1.x. Los que son compatibles con WAP 2.0 emplean TLS y SSL para la autenticación y encriptación de datos. Por otra parte, el WIM se utiliza en firmas digitales para permitir pagos autenticados. Cabe señalar que con la autenticación y las firmas digitales, las transacciones en los servicios móviles se consideran incluso más seguras que otras transacciones mediante el Internet fijo.

⁵⁴ 3rd. Generation Partnership Project 2

3.2.1.3.3 Características en cdma2000 1x.

La estructura de trabajo para la telefonía en el 3GPP2 cdma2000 1x proporciona una interfaz para voz, datos (por conmutación de circuitos y paquetes) y fax. Adicionalmente a la funcionalidad de CDMA (IS-95), las particularidades principales son:

- Datos por conmutación de circuitos. Soporte para los servicios IS-95B.
- Datos por conmutación de paquetes. Soporte para los servicios IS-95B, además de opciones de servicio para paquetes de datos de alta velocidad.
- Módulo de identidad de usuario removible (R-UIM). Acceso a los archivos en el R-UIM como pueden ser los registros del directorio telefónico y los mensajes SMS almacenados.

3.2.1.3.4 Características en W-CDMA 3GPP R99/R4⁵⁵

La estructura de trabajo para la telefonía en WCDMA contiene una interfaz para voz, datos (por conmutación de circuitos y paquetes) y fax. A continuación se muestran los aspectos principales:

- Maneja el acceso al directorio telefónico y a la seguridad de la UICC. Utiliza los nuevos campos de entrada del directorio telefónico de la UICC para permitir los números telefónicos múltiples, las direcciones de correo múltiples, etc.
- Soporta la funcionalidad de la aplicación del USIM⁵⁶.
- API QoS y estructura de trabajo QoS.
- Las herramientas API proveen soporte para los comandos USAT⁵⁷ del R99 y el R4.
- Soporte para llamadas multimedia.
- Adaptador WMA/SMS.
- Soporte para el servicio de llamadas múltiples.

⁵⁵ Para trabajar con nuevos estándares, el 3GPP decidió lanzar sus especificaciones anualmente. Por lo tanto, su primera especificación lleva el nombre de "Release 99" (3GPP R99). La siguiente liberación fue conocida como "Release 00" (3GPP R00). Sin embargo, debido a la multiplicidad de los cambios propuestos, fue posteriormente dividida en dos especificaciones separadas: el "Release 4" (3GPP R4) y el "Release 5" (3GPP R5). El estándar R99 enfatiza grandemente la habilidad de evolucionar sin complicaciones redes GSM a redes UMTS.

⁵⁶ UMTS Subscriber Identity Module

⁵⁷ USIM Application Toolkit

3.2.1.3.5 Características para el trabajo en red

La siguiente lista muestra algunas de las particularidades más importantes que presenta el Symbian OS al trabajar en red.

- Protocolo TCP (Transmission Control Protocol).
- Protocolo UDP (User Datagram Protocol).
- Pila IPv4/v6. La pila de protocolos TCP/IP ofrece una arquitectura tipo plug-in. Dichos plug-ins pueden interactuar con componentes en la capa 2, 3 y 4 del modelo de referencia OSI y pueden ser instalados, cargados y descargados en tiempo de ejecución. Los clientes de correo, HTTP, SSL, Java MIDP, SyncML sobre HTTP y el web pueden emplear direccionamiento IPv6 o IPv4.
- Protocolo ICMP (Internet Control Message Protocol).
- Protocolo PPP (Point to Point Protocol).
- Sistema DNS (Domain Name System).
- Soporte para el trabajo en red vía dial-up.
- Protocolos de seguridad para comercio electrónico seguro (TLS y SSL).
- IPSec. Protocolo de seguridad empleado en comunicaciones host-to-host y firewall-to-firewall. Se espera tener clientes VPN basados en IPSec.
- Motor para el protocolo Telnet.
- Motor para el protocolo FTP (File Transfer Protocol).
- Soporte para Ethernet. La interfaz alámbrica maneja 10BaseT y 100BaseTX en full o half duplex.

3.2.1.3.6 Servicio de mensajes robustecido o enriquecido (EMS)

El soporte para EMS en el Symbian OS cumple con el 3GPP Release 4 y presenta las siguientes funciones:

- Imágenes para mensajes MO⁵⁸. Imágenes variables o predefinidas (16x16 o 32x32).

⁵⁸ Mobile Originated. Se refiere a los mensajes que son enviados desde un dispositivo móvil a otro dispositivo móvil o a una dirección de correo electrónico.

- Imágenes para mensajes MT⁵⁹. Imágenes variables (desde 1024x1 hasta 8x128), imágenes de dimensiones pequeñas (16x16) o grandes (32x32).
- Animaciones. Predefinidas (múltiples y separadas), en blanco y negro y definidas por el usuario.
- Sonidos con iMelody.
- Formato tanto para los mensajes MO como los MT, incluyendo tamaño del texto (pequeño, mediano o grande), estilo (negritas, subrayado, cursivas, etc.) y alineación (izquierda, centrada o derecha).

3.2.1.3.7 Servicio de mensajes multimedia (MMS)

Los mensajes MMS operan sobre CSD y GPRS y tienen las siguientes propiedades en el Symbian OS:

- Soporte para el transporte por medio de WSP y HTTP. Los mensajes son recibidos sobre WSP Get o HTTP Get y enviados con WSP Post o HTTP Post.
- Notificación de que el mensaje ha sido recibido sobre WAP 1.2.1.
- Los parámetros que cuentan con soporte incluyen: tipo de mensaje, versión MMS, fecha, destino, remitente, Cc, Bcc, asunto, clase de mensaje (únicamente personal), expiración, prioridad, reporte de entrega, tipo de contenido, estado de la respuesta, etc.
- La presentación del mensaje se realiza mediante SMIL⁶⁰ 3GPP R5 (PSS 5). De igual manera es posible recibir mensajes basados en SMIL 1.0.

3.2.1.3.8 Características multimedia

La estructura de trabajo multimedia integrada en el Symbian OS es una opción relativamente ligera que logra un manejo de datos de este tipo por medio de tecnología multi-threading. Permite además la reproducción, grabación y realización de streaming de audio y video, además de una buena funcionalidad relativa a imágenes. Los puntos más destacables de esta estructura se enlistan a continuación:

- Sistema plug-in genérico multimedia. Los plug-ins pueden ser escritos usando clases abstractas o concretas que representen los recursos actuales y los componentes abstractos. Las clases concretas incluyen archivos, descriptores, sockets, i/o de audio e i/o de video.

⁵⁹ Mobile Terminated. Se refiere los mensajes que son recibidos en un dispositivo móvil (pueden venir de otro dispositivo, una cuenta de correo electrónico o de Internet).

⁶⁰ Synchronized MultiMedia Integration Language

- Los formatos de audio soportados son WAV, AU, RAW (en varios formatos), PCM, uLaw, aLaw, GSM6.10, etc. Cuenta con un codec API y la estructura soporta codec plug-ins.
- Varios plug-ins: controlador de audio, archivos, descriptores y micrófonos.
- API para MIDIs.
- Procesamiento en forma simultánea de múltiples flujos de datos multimedia.
- Librería para conversión de imágenes (ICL: Image Conversion Library). Proporciona una librería ligera, con multi-threading opcional, así como codecs y conversión de imágenes fijas. Los plug-ins en el Symbian OS incluyen formatos como JPEG, GIF, BMP, MBM, SMS, WBMP, PNG, TIFF, ICO y WMF. Plug-ins de terceros son posibles a través de la naturaleza extensible que tiene la estructura multimedia del sistema operativo.
- Soporte para cámaras. Un API para el manejo de cámaras provee una interfaz consistente para las funciones básicas de éstos dispositivos digitales.
- Manejo de anti-aliasing para el texto en todos los tipos de displays (monocromático, a color, empleando una paleta de colores, etc.) para mejorar la legibilidad.
- Soporte para la aceleración de gráficos 2D vía hardware.

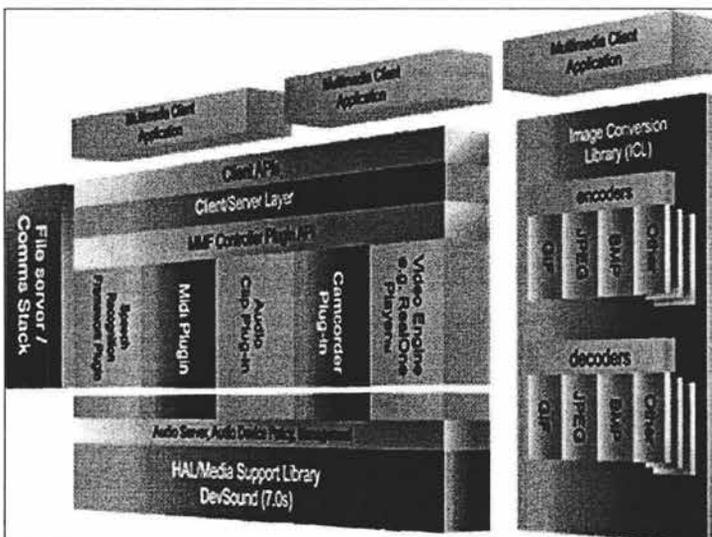


Figura 3.2.2. Arquitectura multimedia en el Symbian OS v7.0s

Finalmente, por todas las características presentadas anteriormente, se considera que el sistema operativo de Symbian es una excelente opción para el despliegue de servicios de banda ancha dentro de la tercera generación de telefonía móvil, aunque tampoco hay que olvidar que existen otras opciones en este ámbito y que cada una ofrece ciertas ventajas y desventajas que se deben de analizar al querer desplegar servicios como los descritos en el capítulo II.

3.3 Requerimientos de la Radio Base en UMTS

La tecnología GSM es la que posee más usuarios en el mundo, por lo que sus evoluciones son de gran importancia. Tal es el caso de su evolución a 3G (WCDMA). La arquitectura UMTS se compone de tres partes fundamentales: Los dispositivos móviles UE⁶¹, la red de acceso UTRAN⁶² y el núcleo de la red CN⁶³, tal como se muestra en la figura 3.3.1.

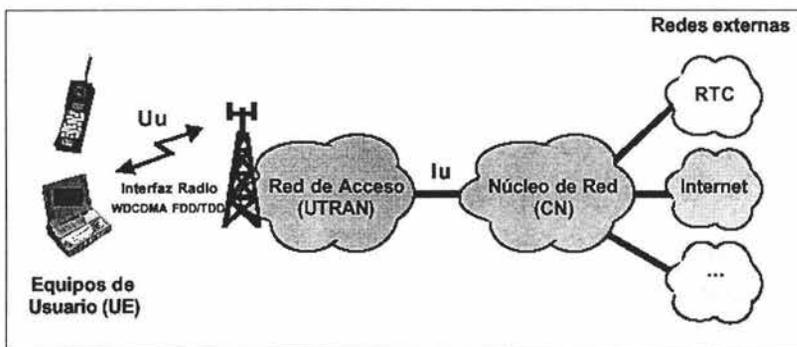


Figura 3.3.1. Arquitectura UMTS

Los UE acceden a la red a través de la interfaz radio Uu. Basada en WCDMA. La red de acceso UTRAN se encarga de transportar voz, datos y señalización al núcleo de la red a través de la interfaz Iu. Dentro del núcleo de la red o CN se encuentran los dispositivos de conmutación y transmisión necesarios para completar la comunicación entre el usuario y la red UMTS o redes externas como Internet.

3.3.1 La Red de Acceso (UTRAN)

La red de acceso UTRAN (figura 3.3.2), se compone de uno o varios subsistemas RNS⁶⁴. Cada RNS cubre un conjunto de células y a su vez se divide en dos partes: un RNC⁶⁵ y un conjunto de estaciones base llamados Nodos-B.

⁶¹ UE (User Equipment) Los equipos de usuario pueden ser una variedad de equipos, tales como handsets, PDAs, dispositivos Blue Tooth.

⁶² UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). UTRAN es parte de la interfaz de aire definida para las redes UMTS especificadas por el grupo de trabajo 3GPP.

⁶³ CN (Core Network)

⁶⁴ RNS (Radio Network Subsystem)

⁶⁵ RNC(Radio Network Controller)

La función del Nodo-B es proporcionar la transmisión o recepción de información al handset a través de la interfaz Uu. El RNC controla tanto a los handsets que se encuentran conectados a la UTRAN como al conjunto de células y sus estaciones base asociadas. La interfaz Iub sirve para comunicar cada Nodo-B con su respectivo RNC. La interfaz Iur permite la comunicación directa entre RNCs para el soporte del Soft-Handover entre estaciones base pertenecientes a distintos RNCs. La red de acceso UTRAN se comunica con el Núcleo de Red a través de la interfaz Iu, la cual puede ser Iu-CS (para realizar conmutación por circuitos al comunicarse con el MSC) o Iu-PS (para realizar comunicación por paquetes al comunicarse con el SGSN).

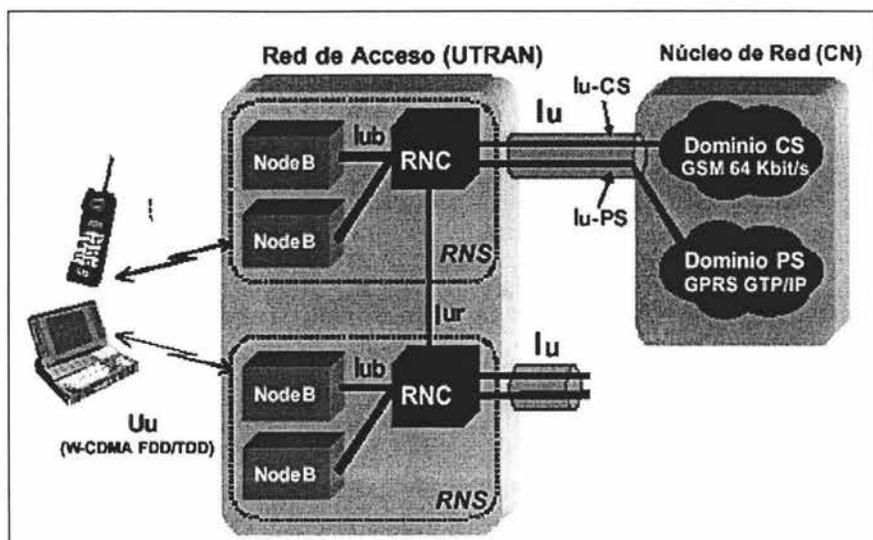


Figura 3.3.2. Arquitectura UTRAN

3.3.1.1 Nodo – B

Como se mencionó anteriormente, la función del Nodo-B es proporcionar la transmisión o recepción de información al handset, es decir, es la entidad que interactúa directamente con el handset a través del medio de transmisión más importante en lo referente a la movilidad. En esta entidad la modulación, control de potencia, direccionamiento y el método de acceso cobran gran importancia para realizar una comunicación exitosa.

En promedio un Nodo-B atiende a 3 sectores con una o dos portadoras por sector. La limitante de las portadoras en lo que se refiere a capacidad es la interferencia, la cual depende de varios factores como la localización del Nodo-B, el patrón de radiación de la antena, la propagación en el medio, la distribución de los usuarios, y el uso de portadoras en los sectores que se encuentran alrededor. Existen dos configuraciones típicas en la distribución de sectores en cada célula, las cuales se representan en la figura 3.3.3.

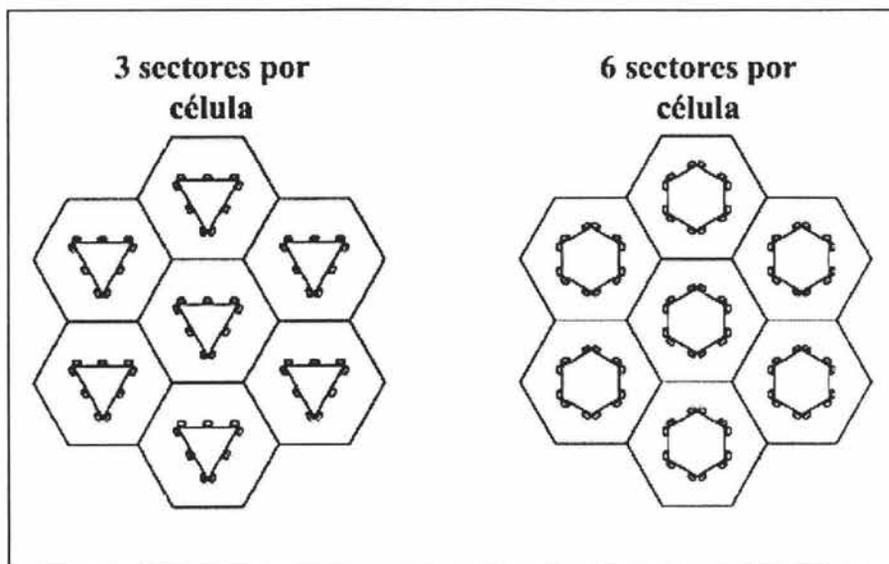


Figura 3.3.3. Configuraciones típicas de 3 y 6 sectores por células UMTS.

La configuración de 6 sectores incrementa la capacidad en cada célula, pero no se incrementa el número de portadoras utilizadas por cada Nodo-B.

Nortel Networks⁶⁶ maneja varios tipos de Nodos-B (BTS), Outdoor e Indoor. El modelo iBTS Outdoor tiene un peso de 497 kg cuando se encuentra totalmente equipada, tiene como dimensiones 1.30 m de alto, 1.35 m de ancho y 0.70 m de profundidad. Maneja dos bandas de frecuencia (1920-1980 MHz y 2110-2170 MHz). Tiene conectividad compatible con tecnologías como E1/T1, STM-1/OC-3c y 100BaseFx. Puede manejar 3 sectores con 4 portadoras cada uno o bien 6 sectores con 2 portadoras cada sector, manejando 45 W de potencia por portadora. También puede manejar configuraciones STSR⁶⁷ o OTSR⁶⁸, ofreciendo así una mejor eficiencia en la capacidad de transmisión de una determinada cobertura. Su temperatura de operación se encuentra en el rango de -40°C a 45°C . Además soporta configuración para realizar redundancia. También existe el modelo iBTS Indoor, el cual tiene las mismas características de operación que el iBTS Outdoor, pero varía en el rango de temperatura (5°C a 40°C), en el peso (326 kg cuando se encuentra totalmente equipada), en las dimensiones (1.60 m x 0.7 m x 0.6 m) y en la alimentación energética (-48 V DC).

⁶⁶ Nortel Networks es una compañía que provee equipo para redes de telefonía celular de Tercera Generación. También abarca redes inalámbricas y alámbricas en general.

⁶⁷ STSR (Sectorial Transmit Sectorial Receive).

⁶⁸ OTSR (Omni Transmit Sectorial Receive).

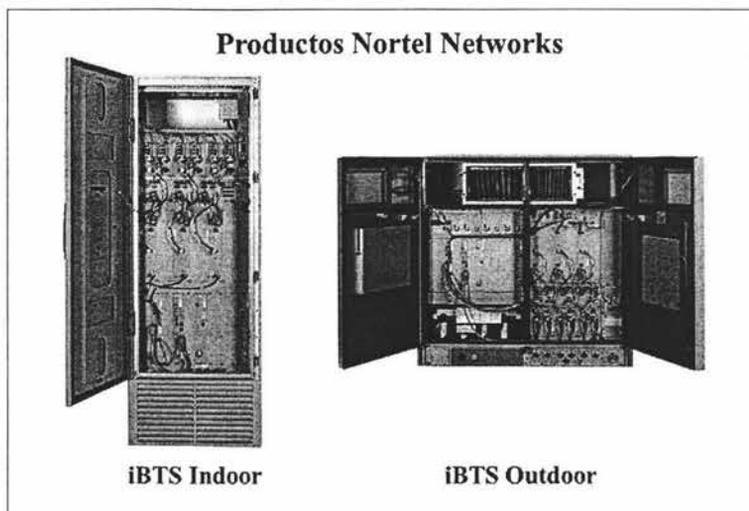


Figura 3.3.4. Nortel Networks iBTS Indoor e iBTS Outdoor

3.3.1.2 RNC

El RNC es la entidad encargada de controlar la transmisión del flujo de datos existente entre Nodos-B y el núcleo de red, además de tener control para realizar el soft handover. Su importancia es grande, pues de él depende entregar correctamente la información transmitida / recibida por muchos usuarios que tratan de acceder al núcleo de red. Su característica más importante es el tener las interfaces adecuadas para manejar grandes flujos de información, ya sea hacia los Nodos-B como al núcleo de red, atendiendo dichas peticiones de flujo de información en el menor tiempo posible.

En lo referente al RNC, Nortel Networks maneja tecnología de transporte como ATM e IP simultáneamente, tiene una capacidad de switcheo de 300 Mbps sobre la interfaz Iu. En lo referente a las interfaces físicas, este RNC maneja 15 STM1s (para las interfaces Iub, Iur, Iu), 154 E1s manejando la interfaz IMA⁶⁹ y 210 E1s sin manejarla. También soporta interfaces como E3, OC3, Gigabit Ethernet y OC12/STM-4. Además puede controlar a 200 Nodos-B y 1200 portadoras como máximo. El tráfico de voz máximo simultáneo que puede procesar es de 3900 Erlang. Tiene un peso de 430 kg a 480 kg y sus dimensiones son 2.12m x 0.6m x 0.6m, además consume una potencia máxima de 4 kW y necesita -48 V DC para operar. El rango de su temperatura de operación es de -5 °C a 45 °C.

⁶⁹ La interfaz IMA (Inverse Multiplexing ATM) permite la utilización de varias interfaces E1 ATM, de manera que el conjunto se comporta como una única interfaz ATM cuya capacidad es aproximadamente la suma de la que ofrecen cada una de las interfaces E1 de manera aislada.

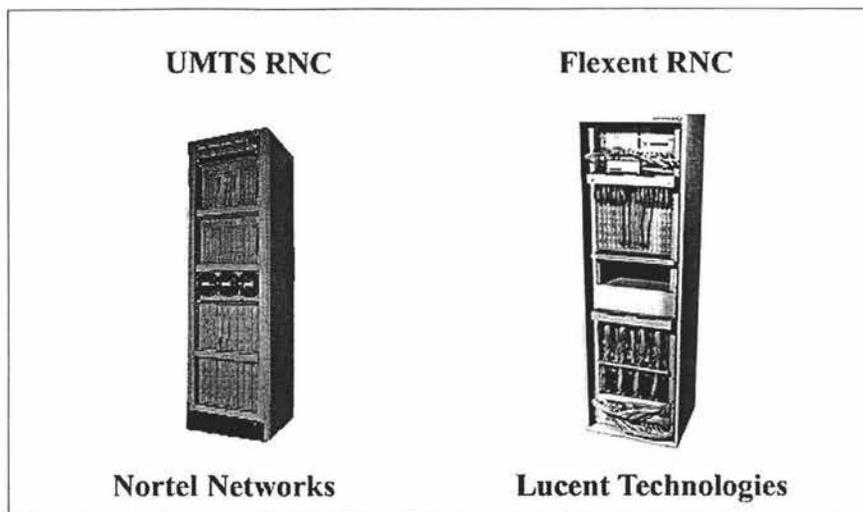


Figura 3.3.5. RNCs comerciales manejados por Nortel Networks y Lucent Technologies

Para poner otro ejemplo de RNC comerciales, se puede citar el RNC utilizado por Lucent Technologies⁷⁰, el cual soporta tanto ATM como IP simultáneamente, su capacidad de switcheo sobre la interfaz Iu es de 310 Mbps, soporta 180 Nodos-B como máximo y maneja 4000 Erlangs para el tráfico de voz máximo. Su diversidad en las terminaciones de las interfaces físicas comprende las siguientes: T1/E1/T3/E3, STM-1/STS-3. Sus dimensiones son las siguientes: 2m x 0.6m x 0.6 m, el peso es de 350 Kg cuando se encuentra totalmente equipado. Sus requerimientos de energía van de -40.5 V DC a -57 V DC, mientras que su consumo de potencia es de 2.5 kW a -48 V DC y su rango de temperatura operacional es de -5 °C a 45 °C.

3.3.1.3 Características importantes en el diseño de la Red de Acceso.

El planear, diseñar, desplegar y adquirir los sitios de las estaciones base está visto como uno de los mayores retos en la implementación de redes 3G. Además se debe tomar en cuenta la provisión y optimización de la capacidad de transporte para los enlaces entre las estaciones base y los RNC y a su vez entre la red de acceso UTRAN y el CN⁷¹, ya que seguramente en un principio la red tendrá que interactuar con redes 2G o 2.5G. Por otro lado, la distribución de los Nodos-B y el tráfico de volumen que manejen se verá afectado por la distribución de población y el cambio geográfico de su entorno, por lo que se agregarán nuevos Nodos-B, los cuales se tendrán que comunicar a sus respectivos RNCs que tendrán que controlar un mayor volumen de información para que el usuario se conecte al núcleo de la red. De esta manera, si los enlaces son diseñados con una capacidad

⁷⁰ Lucent Technologies es una compañía que provee equipo para redes de telefonía celular de Tercera Generación. Redes Inalámbricas y alámbricas en general, además proporciona otros servicios.

⁷¹ Estas conexiones generalmente se realizan a través de tecnología ATM, sin embargo, ya se están implementando también con tecnología IP.

insuficiente, puede suceder que el RNC se vea limitado por la densidad de información en sus puertos y no por su capacidad de procesamiento.

Estas operaciones no afectarán a la red si soporta una re-configuración que resulte sencilla al operador de red. Sin embargo no existe una arquitectura maestra que dé solución a todas las circunstancias operacionales de redes 3G.

Existen varias topologías para la red de acceso en la forma de conectar los Nodos-B con los RNC. En la siguiente figura se muestran las posibles topologías para la UTRAN.

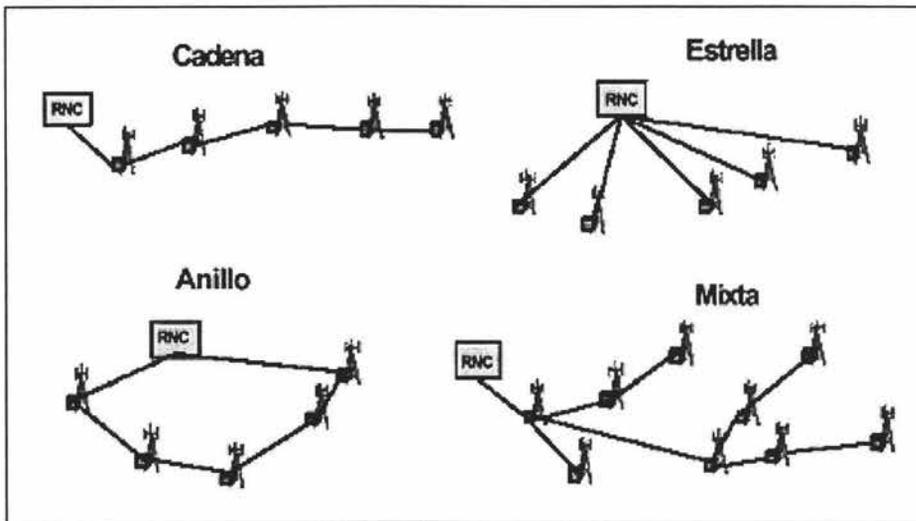


Figura 3.3.6. Topologías UTRAN

La elección de la topología depende del número de usuarios que se requiera, por lo que la topología en cadena se puede utilizar para los casos en que la capacidad de los Nodos-B es pequeña, como en entornos rurales, carreteras, etc. Por otro lado debe tomarse en cuenta que la unión de los Nodos-B con el RNC puede realizarse con dispositivos que sean capaces de multiplexar el tráfico, como multiplexores ATM o conmutadores ATM, sin embargo la tendencia es utilizar IP como tecnología de transporte. En la figura 3.3.7 se representa una posible configuración en la que cabe destacar que el uso de conmutadores intermedios permite la concentración de tráfico a mayor escala así poder comunicarse con el CN en una manera más eficiente. Además en algunas ocasiones algunos Nodos-B pueden actuar como concentradores de tráfico para otros Nodos-B, por lo que su capacidad en sus enlaces debe ser mayor a un simple E1.

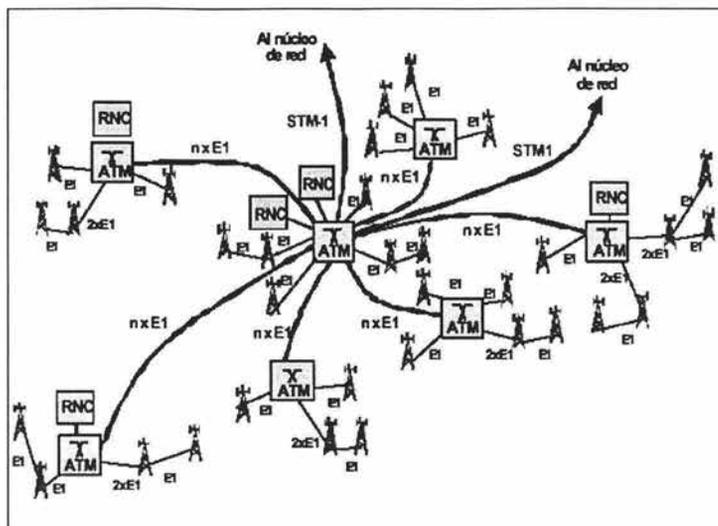


Figura 3.3.7. Ejemplo de conexión UTRAN con el núcleo de red

3.3.2 El Núcleo de Red (CN)

Hasta este momento se han descrito los elementos que conforman la red de acceso UTRAN. A continuación se describirán los elementos que conforman el núcleo de red (CN) y su funcionamiento.

La planeación del CN es una tarea compleja y requiere un amplio conocimiento en redes conmutadas por circuitos, redes sobre IP y sistemas de telecomunicaciones móviles, debido a que el CN provee la plataforma para enlazar los servicios de las aplicaciones móviles con redes externas como Internet o la red telefónica pública PSTN⁷².

En lo que se refiere al funcionamiento del núcleo de red, las entidades RNC, que son los que interactúan con el CN, pueden enviar información para ser transportada por conmutación de circuitos o por paquetes dependiendo del servicio que el usuario esté solicitando, por lo que el núcleo de red se encuentra dividido en dos dominios, el de conmutación por paquetes y por circuitos. El primer dominio se encuentra formado por el SGSN (Serving GPRS Support Node), GGSN (Gateway GPRS Support Node), mientras el segundo dominio se encuentra formado por entidades como el MSC (Mobile Services Switching Center), VLR (Visitor Location Register), GMSC (Gateway MSC). Sin embargo dichos dominios comparten ciertas entidades como el EIR (Equipment Identity Register), HLR (Home Location Register) y el AuC (Authentication Center). A continuación se muestra la arquitectura general del CN para redes UMTS.

⁷² PSTN (Public Switched Telephone Network)

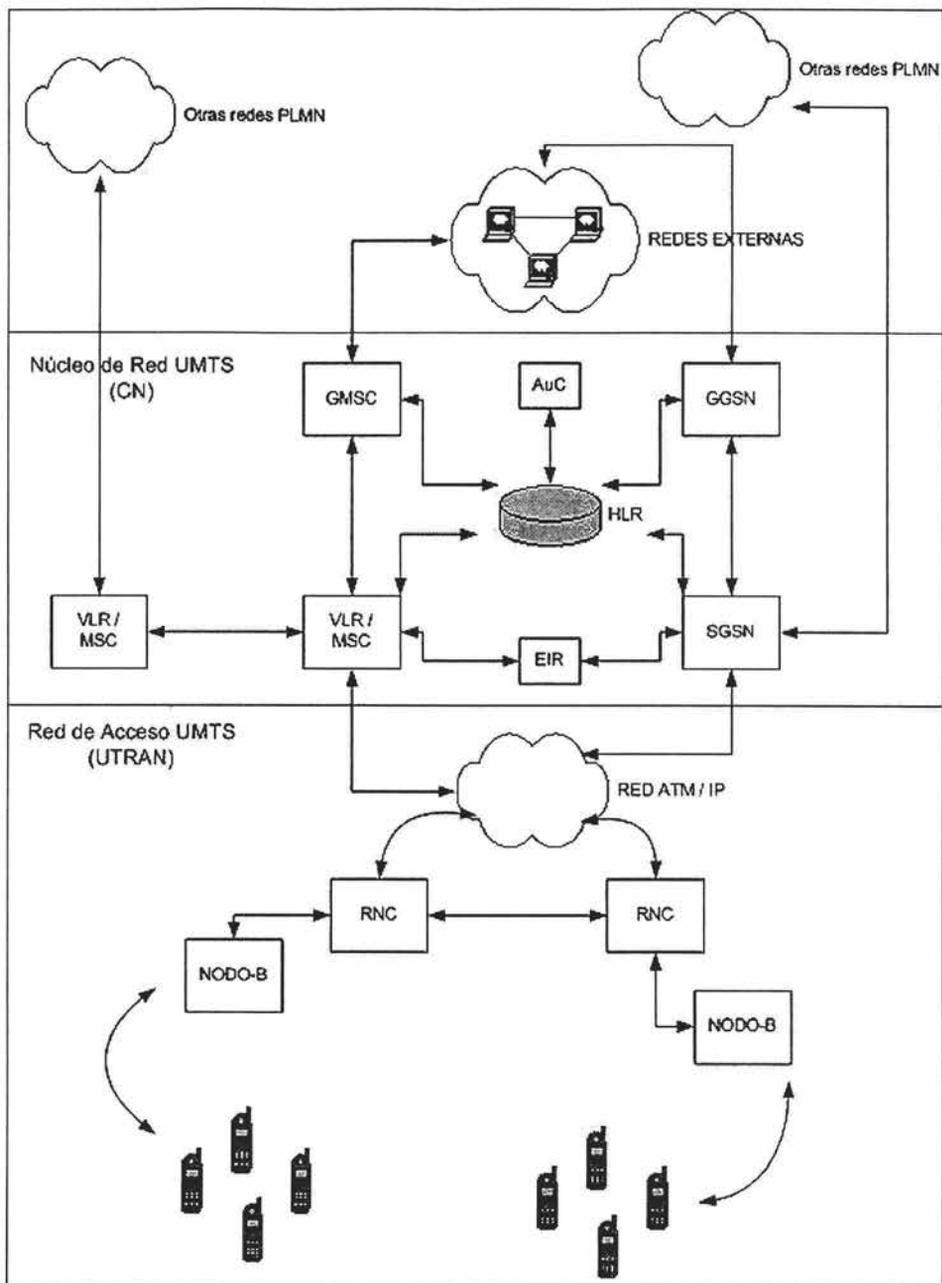


Figura 3.3.8. Núcleo de red UMTS

3.3.2.1 MSC / VLR

El MSC constituye la interfaz entre el sistema de radio y redes externas conmutadas por circuitos, encargándose de la conmutación y señalización necesarias para proveer servicios por redes conmutadas a los usuarios que se encuentran dentro del área geográfica que pueden cubrir los RNC (con sus respectivos Nodos-B) dependientes de ese MSC. También cuenta con una entidad llamada IWF⁷³, la cual permite la comunicación entre la red UMTS y redes ISDN, PSTN, etc. El IWF convierte los protocolos usados en la red UMTS a los utilizados por las redes fijas antes mencionadas.

El VLR es una base de datos que contiene información temporal de los usuarios que se encuentran como “visitantes” en una determinada área administrada por un MSC o por un SGSN. Generalmente el VLR se encuentra incluido en el MSC o en el SGSN para el manejo de información conmutada por paquetes. El VLR se encarga de realizar el roaming de cada usuario. Cuando el usuario entra en una nueva área se inicia el procedimiento de registro. El MSC/SGSN encargado de esa área notifica al VLR la identidad del área donde se encuentra el usuario. Si el usuario no se encuentra registrado en el VLR, se realiza un intercambio de información entre el VLR y el HLR para permitir al usuario acceder al servicio de voz. Así también el VLR contiene información necesaria para establecer/recibir una llamada de/hacia un usuario que se encuentre registrado en su base de datos.

Para citar una solución comercial, se puede describir la utilizada por Alcatel, el Evolium MSC soporta todos los codecs AMR, tiene capacidad hasta de 2 millones de suscriptores y puede atender a 2 millones de llamadas en horas pico de tráfico (2000000 BHCA), consumiendo una potencia de 24 kW. Por otra parte puede atender hasta 512 Nodos-B utilizando STM-1.

3.3.2.2 GMSC

El GMSC se divide en dos entidades, el CS-MGW⁷⁴ y el servidor GMSC⁷⁵. El CS-MGW es el punto terminal de transporte para comunicar redes como PSTN u otra PLMN⁷⁶ con el núcleo de la red UMTS, por lo que tiene los recursos necesarios para realizar transporte de medios con otras redes UMTS/GSM. Así también interactúa con el servidor GMSC y con el MSC para obtener control de recursos. Mientras que el servidor GMSC principalmente se enfoca en el control de las llamadas y el control en la movilidad del usuario que requiere el GMSC.

3.3.2.3 SGSN

El SGSN y el GGSN son las entidades que constituyen la interfaz entre los sistemas de radio y las redes fijas que operan por conmutación de paquetes (Internet), por lo que se

⁷³ IWF (Interworking Function)

⁷⁴ CS-MGW (Circuit Switched – Media Gateway)

⁷⁵ GMSC Server

⁷⁶ PLMN (Public Land Mobile Network) Término europeo para nombrar a una Red Móvil Pública. Por lo que un PLMN puede ser una red celular GSM, UMTS, etc.

encargan de lograr una transmisión de paquetes hacia y desde las estaciones móviles. La principal tarea del SGSN es la conversión de protocolos entre la red UMTS y las redes externas, además se encarga del proceso de autenticación de los paquetes enviados por el usuario móvil, administra las sesiones de todos los usuarios que puede soportar, la movilidad del usuario para mantener su sesión y el flujo de información existente entre la red UMTS y las redes externas. Si la información es destinada a las redes externas, el SGSN utiliza el GGSN para direccionar el tráfico de información hacia dichas redes.

Para ejemplificar una solución comercial de SGSN se puede describir al utilizado por Lucent Technologies, el cual maneja las siguientes interfaces físicas en sus conexiones: OC-3/STM-1, Fast Ethernet (10/100 Base T), Gigabit Ethernet (fibra o cobre), PoS (Packet over Sonet), T1/E1 para señalización SS7⁷⁷ de banda angosta, OC-3/STM-1 para señalización SS7 de banda ancha. Sus dimensiones son 2.2 m x 0.6 m x 0.6 m, tiene un peso de 572.8 kg y su rango de temperaturas operacionales es de -5° C a 40 °C. La potencia de consumo que maneja es de 3056 W y su voltaje nominal es de -48 V DC.

3.3.2.4 GGSN

El GGSN se puede tomar como router encargado de direccionar información entre ambas redes y es por esto que el GGSN proporciona una dirección IP al usuario móvil. El GGSN de Nortel Networks tiene 4 interfaces físicas OC-3/STM-1 (Monomodo y Multimodo), 2 OC-12/STM-4 (Monomodo y Multimodo), una interfaz Gigabit Ethernet y 8 Fast Ethernet. Maneja direccionamiento IP estático y dinámico. Tiene una capacidad para procesar 1.9 millones de paquetes por segundo (pps). Su peso es de 61 kg y trabaja con -48 V DC. Sus dimensiones físicas son 48 cm x 49 cm x 46 cm y su temperatura de operación es de 0 °C a 40 °C.

3.3.2.5 AuC y HLR

Las entidades AuC y el HLR en conjunto realizan las siguientes funciones: ayudan en los procesos que tienen que ver con el establecimiento de sesiones (conmutación por paquetes) o de llamadas (conmutación por circuitos), generan la autenticación del usuario para que éste pueda acceder a servicios por conmutación de circuitos o de paquetes y comparten esta información con las entidades del CN que lo requieran (MSC/VLR, SGSN). Además pueden autorizar o no el roaming al usuario visitante que sea solicitado por el MSC/VLR o por el SGSN.

⁷⁷ SS7 (Signaling System No. 7) El sistema de señalización No. 7 es un sistema o protocolo de señalización internacional de nodo a nodo desarrollado por la ITU-T (por seguridad, la señalización entre dos puntos o usuarios en una red está formada por la señalización que se origina directamente en esos dos puntos, llamada señalización de acceso o también de usuario a red, y por la señalización entre los nodos de la red). Dicho estándar internacional se encarga del establecimiento, supervisión y liberación de conexiones entre usuarios, así como de servicios, buscando siempre contar con cierta flexibilidad para evolucionar conforme a los nuevos requerimientos de señalización desarrollados para dar soporte a nuevas funcionalidades de la red o a nuevos servicios, por lo que representa la base para lograr el control en tiempo real de las redes modernas, facilitando el intercambio de información entre los elementos inteligentes de la red tales como terminales, conmutadores y bases de datos, dentro y entre redes públicas y privadas como es el caso de las redes WANs.

El HLR es una base de datos que contiene información detallada de todos los usuarios dados de alta en una zona determinada de la red UMTS (como el tipo de usuario, es decir, los privilegios a los servicios que tiene acceso). El HLR también almacena información del tráfico (tanto de PS como de CS) de los suscriptores, además de manejar información sobre las direcciones IPs de los usuarios, siempre y cuando tengan una asignada. El HLR se comunica con el SGSN y el GGSN o con el MSC y el GMSC para permitir o no el acceso a los usuarios que solicitan servicios por conmutación de paquetes o por conmutación de circuitos respectivamente.

El centro de autenticación AuC se encuentra localizado generalmente junto al HLR y se encarga de almacenar una identificación para cada usuario registrado en este último. Esta identificación es usada para generar datos de seguridad para cada usuario, por lo que el HLR le pide esta información al AuC para autenticarlos. Si el usuario logra el proceso de autenticación, el HLR se comunica con el MSC/VLR o SGSN, dependiendo del caso, para concluir los procesos de seguridad de la conexión que tenga alguno de ellos. Es por esto que el HLR/AuC se encuentra sometido a una constante carga de tráfico de señalización para identificar a los suscriptores, mantener y canalizar las llamadas, además de proveer seguridad al sistema.

Alcatel propone una solución comercial llamada Evolium HLR/AuC 1422, la cual puede manejar desde 100 mil suscriptores hasta un millón de suscriptores, maneja velocidades de respuesta (trabajando a la máxima capacidad) menores a 160 ms para el requerimiento de autenticación y menores a 260 ms para un proceso de actualización en la localización de un determinado usuario. Consume 1100 W de potencia, su voltaje nominal es de 48 V, pesa 450 kg y sus dimensiones son 2.2m x 0.9m x 0.65 m. Soporta hasta 124 conexiones para utilizar la señalización SS7.

3.3.2.6 EIR

El desempeño del núcleo de red es de vital importancia, pues se debe dimensionar adecuadamente, tomando en consideración las necesidades de los Carriers y previniendo a futuro la congestión de la red. Por otro lado, la redundancia en el núcleo de red es un factor que no debe ser olvidado, debido a que una falla en cualquier elemento del CN equivaldría a dejar insatisfechos a un gran número de usuarios, tanto los que son móviles como los que intenten tener acceso a la red UMTS a través de redes externas. La selección del equipo UTRAN y CN dependerá de las perspectivas del Carrier (en cuanto a número de usuarios por ejemplo), así como de su costo y escalabilidad, sin pasar por desapercibido la compatibilidad que se requiera para ir migrando su infraestructura poco a poco, con el objetivo de dar una funcionalidad cada vez más completa a sus suscriptores por medio de diversos servicios, que en la tercera generación deben incluir a los de banda ancha.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*

Capítulo



**Tecnologías para la
implementación de
aplicaciones y servicios**

4.1 Imágenes fijas.

4.1.1 JPEG (Joint Photographic Experts Group)

El JPEG (Joint Photographic Experts Group) es un mecanismo de compresión de imágenes estandarizado (ISO 10918) y su nombre se debe al comité que escribió el estándar.

Debido a su manera de realizar la compresión, generalmente se recomienda usar el formato JPEG en imágenes que contengan escenas realistas (fotografías, paisajes, imágenes de alta definición, etc.). Sin embargo, no es bueno para dibujos sencillos, líneas o gráficas simples realizadas en computadora, debido a que el proceso de compresión JPEG no resulta eficiente en esos casos.

El uso de JPEG está estandarizado en una variedad de medios y servicios tales como Internet, Redes de Telefonía Celular de Tercera Generación, etc., debido a que resulta más eficiente para transmitir imágenes de alta calidad ocupando tamaños realmente pequeños y así aprovechar mejor el ancho de banda. Además, ofrece una calidad de imagen de 24 bits por píxel, lo que permite representar un mayor número de colores de la imagen (más de 16 millones de colores).

Existen 4 maneras de realizar la compresión en el formato JPEG:

- 1) Sistema básico secuencial, el cual es el más popular. Este sistema se basa en la Transformada Coseno Discreta (DCT)⁷⁷, y se llama secuencial debido a que analiza la imagen en un solo barrido (de arriba hacia abajo). Hay que considerar igualmente que este sistema es del tipo “lossy”, debido a que con él se pierde información al comprimir una imagen y al descomprimirla dicha información ya no se puede recuperar. No obstante, el formato JPEG ofrece una mayor compresión con una excelente calidad (10:1 a 20:1 con degradaciones imperceptibles en la imagen y 100:1 con una calidad baja en la imagen). Estas características son imposibles de obtener con otros métodos de compresión tal como el GIF.
- 2) Sistema secuencial sin pérdidas. Este sistema es utilizado en aplicaciones en las que es necesario que la información que compone a la imagen se recupere sin pérdidas. Debido a que otros métodos de compresión sin pérdidas ofrecen mayor eficiencia, este método no es muy usado.
- 3) Sistema progresivo basado en la DCT. Este método es muy similar al método básico, sin embargo, en lugar de barrer la imagen en una sola vez, ésta se analiza a través de una serie de barridos progresivos, los cuales, la van definiendo cada vez más (el objetivo es que cada barrido nuevo mejore al anterior).

⁷⁷ DCT (Discrete Cosine Transform)

- 4) Sistema de herencia. Este sistema permite manejar diferentes resoluciones contenidas en un sólo archivo de imagen, por lo que el decodificador realiza varios barridos hasta alcanzar la resolución requerida.

A continuación se detalla el sistema básico secuencial debido a que es el más utilizado.

4.1.1.1 Sistema básico secuencial

El método básico secuencial realiza una compresión con pérdidas. Esto se debe a que el método toma ventaja del simple hecho de que el ojo humano es más sensible a los cambios de intensidad que a los cambios de color, por lo que pequeñas variaciones de color son despreciadas y suprimidas de la información de la imagen. De esta manera se llevan a cabo parte de las pérdidas de este proceso.

4.1.1.1.1 Primer paso

Debido a que el formato JPEG toma en cuenta las características del ojo humano, el primer paso del proceso de compresión JPEG cambia el formato RGB⁷⁸ de la imagen al formato YCrCb con las siguientes expresiones.

$$\begin{aligned} Y &= 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B \\ U = Cb &= -0.1687 R - 0.3313 G + 0.5 B + 128 \\ V = Cr &= 0.5 R - 0.4187 G - 0.0813 B + 128 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= Y + 1.402 (V-128) \\ G &= Y - 0.34414 (U-128) - 0.71414 (V-128) \\ B &= Y + 1.772 (U-128) \end{aligned}$$

Donde Y es la luminancia⁷⁹, U es la crominancia⁸⁰ azul y V es la crominancia roja. La crominancia verde no es obtenida directamente, porque con las crominancias roja y azul se puede obtener la verde.

⁷⁸ RGB (Red Green Blue). El formato RGB maneja tres datos por píxel en la imagen, estos tres datos consisten de un byte cada uno y representan valores del 0 al 255 para representar el nivel de intensidad de los colores rojo, verde y azul que tiene cada píxel de la imagen. De esta manera se logra tener en cada píxel 16 millones de combinaciones posibles de estos tres colores (256x256x256).

⁷⁹ La luminancia es el eje del plano RGB donde los tres colores tienen valores exactamente iguales y es utilizada para indicar la intensidad de luz que emite una combinación de colores RGB.

⁸⁰ La crominancia es utilizada para dar color a cada píxel, indicando el nivel de la crominancia azul, roja y verde se puede crear cualquier tonalidad de color RGB.

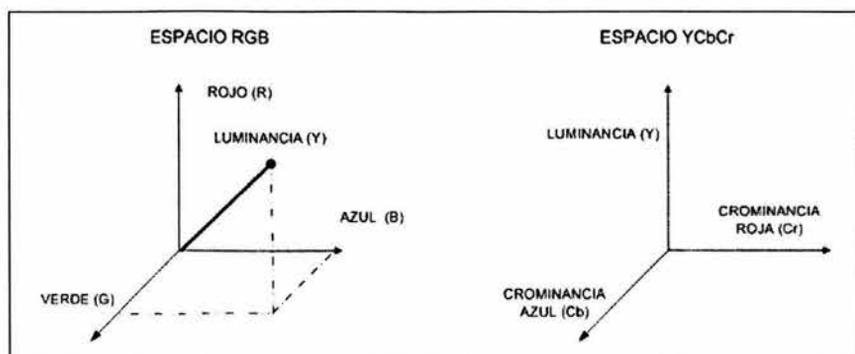


Figura 4.1.1. Espacio RGB vs YCbCr

Al convertir a YCbCr se obtiene en la luminancia la intensidad de luz que tiene cada píxel de la imagen. De esta manera, la componente Y tendrá mayor importancia debido a que el ojo humano es más sensible a los cambios de intensidad que a los cambios de color, por lo que al realizar un submuestreo, se limitará en $\frac{3}{4}$ partes la información de crominancia (ya que este proceso es irreversible para la decodificación, es también responsable de las pérdidas que se presentan en el proceso de compresión), tal como se muestra en la figura 4.1.2.

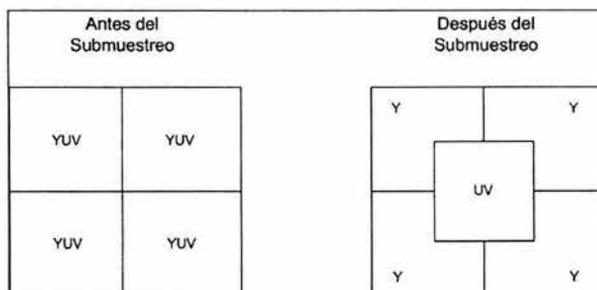


Figura 4.1.2. Reducción realizada en el Submuestreo.

Cabe mencionar que tanto la información de luminancia como la de crominancia son separadas totalmente para después llevar a cabo el modelo de compresión en cada una de ellas individualmente. Al efectuar lo anterior, se crean tres componentes: la de luminancia, la de crominancia azul y la de crominancia roja.

4.1.1.1.2 Segundo paso

La información de cada componente es dividida en bloques de 8 x 8 (píxeles), lo cual constituye un MCU⁸¹. De esta manera, el proceso de compresión se realizará por cada

⁸¹ MCU (Minimum Coded Units). Si fuese el caso de que hicieran falta columnas o renglones para completar un MCU, la NITFS (The National Imagery Transmission Format Standard) establece que se deberán agregar columnas de ceros a la derecha y renglones de ceros en la parte inferior de la información de cada componente que le hiciera falta.

MCU comenzando con los correspondientes al componente Y, luego al componente U y se finaliza con el componente V. Además, se debe realizar un cambio de nivel en el color, por lo que se efectúa una conversión en el rango de valores de cada píxel, es decir, en lugar de tener el rango $[0,255]$ se tendrá el rango $[-128,127]$. Este cambio de rango se realiza restando 128 a cada valor del MCU correspondiente y tiene el propósito de que se tengan bloques uniformes de valores nulos de los coeficientes obtenidos una vez realizada la DCT. Generalmente este paso sólo se aplica a los componentes de crominancia.

Antes de la conversión de rangos								Después de la conversión de rangos							
118	91	123	125	124	114	117	104	-10	-37	-05	-03	-04	-14	-11	-24
100	93	88	85	97	100	115	105	-28	-35	-40	-43	-41	-28	-13	-23
94	101	78	99	113	87	109	115	-34	-27	-50	-29	-16	-41	-19	-13
104	82	83	78	92	118	124	88	-24	-46	-45	-50	-36	-10	-04	-40
119	93	99	104	76	111	86	112	-09	-35	-29	-24	-52	-17	-42	-16
83	119	104	92	111	76	112	100	-45	-09	-24	-36	-17	-52	-16	-28
97	85	90	100	106	125	123	86	-31	-43	-38	-28	-22	-03	-05	-42
99	86	85	105	81	99	115	119	-29	-42	-43	-23	-47	-29	-13	-09

Tabla 4.1.1. Ejemplo de la conversión de rangos

4.1.1.1.3 Tercer paso

Se aplica la DCT a cada MCU para poder convertir un tono de imagen en una serie de amplitudes sobre un espacio de dos dimensiones. La DCT es usada para poder descartar la información de frecuencia más alta, ya que ésta tiene un menor impacto visual al ojo humano. Por otra parte, se conoce que la respuesta en frecuencia del sistema visual humano decae con el incremento de la frecuencia espacial. Además, este decaimiento es más rápido en los dos canales de crominancia. La función de sensibilidad del contraste, representada en la siguiente figura, demuestra este efecto. Lo anterior implica que una pequeña variación en la intensidad es más visible en regiones de variación lenta que en las regiones de variación rápida, y también más visible en la luminancia comparada con una variación similar en la crominancia.

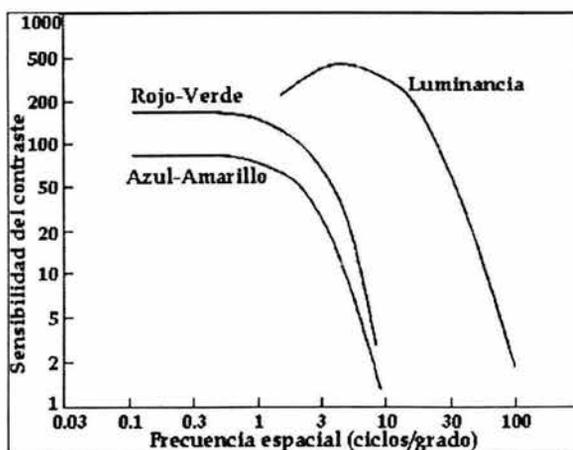


Figura 4.1.3. Respuesta visual a las variaciones de luminancia y crominancia

La expresión de la Transformada Discreta Coseno y su inversa son las siguientes:

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \left[\sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 f(x, y) * \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right]$$

$$f(x, y) = \frac{1}{4} \left[\sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 C(u)C(v)F(u, v) * \cos \frac{(2x+1)u\pi}{16} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{16} \right]$$

donde:

$$C(u), C(v) = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{para } u, v = 0;$$

$$C(u), C(v) = 1 \quad \text{c.o.c.}$$

Una vez aplicada la DCT, se crean 64 nuevos coeficientes:

-27.625	-32.686	15.582	16.972	-1.376	21.802	-7.132	2.729
15.022	5.594	-3.423	3.416	7.983	-1.074	3.717	10.550
21.737	-8.150	-13.486	-6.075	6.168	13.366	-0.490	3.289
23.404	24.748	-19.724	-10.992	-5.045	-3.321	7.425	9.585
12.124	4.600	4.754	4.605	6.875	20.625	30.096	-12.678
14.610	-9.347	-27.242	27.260	-9.347	7.631	-4.987	14.890
10.343	6.876	-4.990	-29.439	16.523	-18.653	-24.266	11.388
13.292	6.131	-5.968	-2.067	20.673	1.179	14.921	-16.733

Tabla 4.1.2. Matriz A: coeficientes obtenidos a través de la aplicación DCT.

El coeficiente que se encuentra en la esquina superior izquierda es conocido como componente DC, mientras que todos los demás son llamados coeficientes AC.

4.1.1.1.4 Cuarto paso

A este paso se le llama cuantificación, y consiste en dividir cada uno de los coeficientes obtenidos en la DCT entre un número proporcionado por una matriz de cuantificación, para posteriormente redondear el resultado al entero más próximo. Esta matriz está hecha para reducir la precisión de cada coeficiente mientras se encuentre en una frecuencia mayor, por lo que se escoge la tabla de acuerdo a la calidad de imagen resultante requerida. A continuación se muestran algunas tablas como ejemplo.

Matriz de cuantificación para el componente de Luminancia							
16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

Matriz de cuantificación para el componente de Crominancia							
17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

Tabla 4.1.3. Modelos de Matrices de Cuantización

Estas tablas de cuantificación son almacenadas en el Header del archivo JPEG para que sean usadas por el descompresor JPEG, realizando la operación inversa (multiplicación). Mientras más coeficientes sean nulos, se tendrá una compresión mayor, y por consiguiente una calidad de imagen menor.

Realizando el proceso de cuantificación de la Matriz A utilizando la matriz de cuantificación mostrada enseguida, se obtiene la siguiente matriz:

Matriz de cuantificación								Matriz cuantificada							
8	6	6	7	6	5	8	7	-27	-5	2	2	0	4	0	0
7	7	9	9	8	10	12	20	2	0	0	0	0	0	0	0
13	12	11	11	12	25	18	19	1	0	-1	0	0	0	0	0
15	20	29	26	31	30	29	26	1	1	0	0	0	0	0	0
28	28	32	36	46	39	32	34	0	0	0	0	0	0	0	0
44	35	28	28	40	55	41	44	0	0	0	0	0	0	0	0
48	49	52	52	52	31	39	57	0	0	0	0	0	0	0	0
61	56	50	60	46	51	52	50	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.1.4. Matriz cuantificada

4.1.1.1.5 Quinto paso

Ordenamiento de información (ZigZag). Este proceso consiste en ordenar la información de la matriz cuantificada siguiendo una trayectoria como la que se muestra en la siguiente figura.

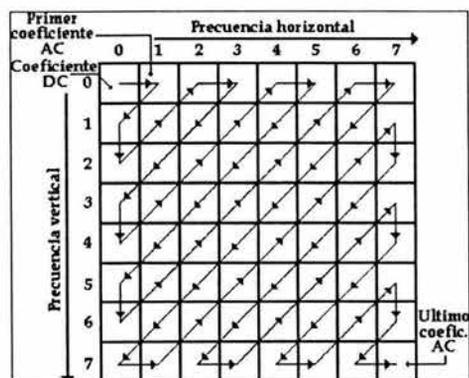


Figura 4.1.4. Orden secuencial del ordenamiento ZigZag

Por lo que el nuevo vector resultante sería: 27,-5,2,1,0,2,2,0,0,1,0,1,-1,0,0,4,0...0

Este ordenamiento tiene como fin el acomodar eficientemente los coeficientes para poder utilizar una codificación de Entropía⁸², debido a que así los últimos coeficientes serán los coeficientes nulos.

⁸² La codificación de Entropía es un tipo de codificación que siempre busca utilizar la menor cantidad de bits para representar a las combinaciones de símbolos de mayor ocurrencia y utiliza todos los bits disponibles para representar a aquellas combinaciones que no resultan tan comunes.

4.1.1.1.6 Sexto paso

El sexto paso es el de la codificación. El comienzo de la codificación consiste en formar parejas de números (a,b) que representen el vector obtenido en el paso anterior. Los elementos “a” indicarán cuántos ceros existen antes del valor indicado en el elemento “b”. A este proceso se le conoce como codificación “Run Length” o “longitud de racha”.

Las parejas de números formadas del vector anterior serían:

```
-27      0-5  0 2  0 1  1 2  0 2  2 1  1 1  0 -1
         2 4  0 0
```

El número -27 es el coeficiente DC⁸³, por lo que no se maneja como las otras parejas de números. La pareja (0,0) indica que a partir de ahí se tienen puros coeficientes nulos. El elemento “a” máximo es 15 (ya que tiene que ser codificado con 4 bits máximo), si existen más ceros antes de la ocurrencia del elemento “b”, se debe dividir en cuantas parejas sean necesarias, de tal manera que el número “b” sea 15 como máximo. Ejemplo:

```
Incorrecto:  0 80  32 2  5 6
Correcto:    0 80  15 0  15 0  0 2  5 6
```

Una vez obtenida la codificación Run Length, se procede a realizar un método de codificación de Entropía⁸⁴. Existen principalmente dos métodos: El aritmético y el de Huffman⁸⁵. En el ejemplo actual se empleó el de Huffman debido a su simplicidad y a que no tiene restricciones en su uso, pues carece de derechos de patente. Sin embargo, el método aritmético es más eficiente puesto que asigna probabilidades variables a sus elementos, al contrario del de Huffman que ya tiene establecidas las probabilidades de ocurrencia de los elementos de su código.

⁸³ Debido a que los coeficientes DC son muy similares entre sí, el coeficiente DC es codificado de diferente manera, por lo que se codifica la diferencia entre DC del MCU actual y del anterior MCU.

⁸⁴ Codificación de Entropía. Es una forma de compresión que recae en la probabilidad de aparición de los elementos a codificar. La codificación de Entropía usa códigos de longitud más pequeña para representar los elementos más comunes y emplea códigos de longitud mayor para representar elementos menos comunes.

⁸⁵ El método Huffman se basa en crear un árbol binario completo, que representa la codificación de los mensajes de la fuente, en el que cada nodo intermedio es menor que sus hijos (y la raíz el menor de todos). Los nodos-hoja contienen cada uno de los mensajes emitidos por la fuente. El código para cada mensaje se construye siguiendo el camino desde el nodo raíz hasta la hoja que representa el mensaje. Además, si el decodificador implementa el mismo árbol usado para comprimir, la decodificación no será más que leer bits e ir siguiendo el camino desde la raíz del árbol hasta las hojas en función del valor de esos bits. Al llegar a la hoja habremos llegado al mensaje. La codificación es inversamente proporcional a la probabilidad de aparición del mensaje. Al mensaje más redundante (que se repita más), se le dará una codificación más corta asignándole menos símbolos del alfabeto de salida para ahorrar así espacio. En cada paso se recogen los dos nodos con menor probabilidad del árbol y se crea un nodo padre para ambos que contendrá la probabilidad sumada de los dos. Los nodos con menor probabilidad irán quedando al fondo.

Debido a que se tienen dos tipos de coeficientes (DC y AC) se tienen que emplear diferentes formas de aplicar el método Huffman para obtener una compresión más eficiente. Además, debido a que se tiene la información de luminancia y de crominancia por separado, se deben de emplear también dos tablas de codificación Huffman diferentes. Todo esto deriva en la utilización de cuatro tablas de codificación Huffman para imágenes a color, es decir, dos para coeficientes DC y dos para los AC, toda vez que se debe tomar en cuenta si se trata de componentes de luminancia o crominancia. Si se tratase de imágenes en escala de grises, sólo se emplearían dos tablas, ya que lo único que importa es la luminancia.

4.1.1.2 Codificación de los coeficientes DC.

Para incrementar la probabilidad de que el valor del coeficiente DC sea pequeño se utiliza el modelo de predicción diferencial DPCM, el cual consiste en aplicar una simple diferencia entre el coeficiente DC del MCU actual y el coeficiente DC del MCU anterior. A este valor resultante se le conoce como diferencia DPCM o DIFF. En caso de que sea el primer MCU analizado, se toma como valor nulo al DC del MCU anterior.

Una vez que el valor DIFF es calculado, se compara con la siguiente tabla para identificar el grupo de símbolo (GS) al que pertenece y los bits adicionales que pertenecen al DIFF. Los bits adicionales describen en magnitud y signo al DIFF. Tanto el SG como los bits adicionales son codificados.

SG	Diferencia DPCM		Bits adicionales	
0	0		-	
1	-1	1	0	1
2	-3,-2	2,3	00,01	10,11
3	-7,...,-4	4,...,7	000,...,011	100,...,111
4	-15,...,-8	8,...,15	0000,...,0111	1000,...,1111
:	:		:	
16		32768	-	

Tabla 4.1.5. Diferencia DPCM

Como se logra ver en la tabla anterior, los números positivos siempre empezarán con un 1, mientras que los números negativos siempre empiezan con un 0, puesto que se realiza el complemento a dos para obtener los números negativos, es decir, se le suma un 1 al número positivo para obtener su simétrico. Asimismo, ninguna combinación se repite ya que 0 es diferente de 00. El número máximo del SG es 11, debido a que este modelo de JPEG sólo permite valores de 12 bits en el método DPCM. Las tablas de codificación varían dependiendo del componente que se maneje (luminancia o crominancia). No obstante, los valores de los bits adicionales pertenecientes a cada SG se mantienen intactos.

4.1.1.3 Codificación de los coeficientes AC.

La selección de la codificación de los coeficientes AC consiste en seleccionar el SG correspondiente al número “b”, así como sus bits adicionales de acuerdo a la siguiente tabla.

SG	Coeficientes AC		Bits adicionales	
0		0		-
1	-1	, 1	0	, 1
2	-3,-2	, 2,3	00,01	, 10,11
3	-7,...,-4	, 4,...,7	000,...,011	, 100,...,111
4	-15,...,-8	, 8,...,15	0000,...,0111	, 1000,...,1111
:	:	:	:	:
16		32768		-

Tabla 4.1.6. Coeficientes AC

Adicionalmente, se debe seleccionar el número de ceros NZ (Number of Zeros) correspondiente al número “a”. Una vez identificado el NZ y el SG, se procede a encontrar el número correspondiente a la combinación de éstos en la siguiente tabla:

		SG										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
NZ	0	EOB	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A
	1	N/A	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A
	2	N/A	21	22	23	24	25	26	27	28	29	2A
	3	N/A	31	32	33	34	35	36	37	38	39	3A
	4	N/A	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A
	5	N/A	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A
	6	N/A	61	62	63	64	65	66	67	68	69	6A
	7	N/A	71	72	73	74	75	76	77	78	79	7A
	8	N/A	81	82	83	84	85	86	87	88	89	8A
	9	N/A	91	92	93	94	95	96	97	98	99	9A
	10	N/A	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	AA
	11	N/A	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	BA
	12	N/A	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA
	13	N/A	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	DA
	14	N/A	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	EA
	15	ZRL	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	FA

Tabla 4.1.7. Selección de NZ y SG.

Al encontrar el número, éste se codifica de acuerdo a las tablas que provee el estándar JPEG, para así codificarlo tanto a él como a los bits adicionales del coeficiente AC determinado.

Es importante mencionar que se coloca primero el coeficiente DC codificado, y después todos los coeficientes AC existentes.

Por último, puede observarse que existe una desventaja al usar la compresión JPEG, ya que si a la imagen ya comprimida se le aplican modificaciones como cambios de tamaño, la imagen decodificada tendrá una calidad baja, por lo que es recomendable trabajar con una imagen en un formato que guarde todas las propiedades de la misma, tal como BMP, y una vez que se hayan realizado todos los retoques pertinentes, se proceda a la transformación a JPEG para realizar las transmisiones de esa imagen en una forma más eficiente.

4.2 Audio

4.2.1 MPEG-1 Layer 3 (MP3)

La historia del grupo MPEG se remonta al año de 1988, en el cual la ISO/IEC creó el Comité Técnico Unido sobre Tecnologías de la Información, Subcomité 29, Grupo de Trabajo 11 (ISO/IEC JTC1/SC29/WG11), mejor conocido como MPEG. Este organismo fue constituido para desarrollar estándares para la representación codificada de imágenes en movimiento, la información del audio asociado y su combinación para la lectura y grabación en un medio de almacenamiento digital.

En 1993 se finalizó el primer estándar definitivo, conocido como MPEG-1 (ISO/IEC 11172) con el cual se puede almacenar información digital a una tasa cercana a 1.5 Mbps. El MPEG-1 se divide en 5 capas (layers):

- 1) Sistema: Se refiere al sistema empleado para combinar uno o más flujos de datos provenientes de información de audio o video, por lo que se utiliza multiplexación e información de temporización y sincronización para lograr un flujo de datos único.
- 2) Video: En esta capa se determina un método de información codificada para comprimir secuencias de video.
- 3) Audio: En esta capa se determina un método de información codificada para comprimir secuencias de audio.
- 4) Pruebas: Trata del diseño de pruebas que verifiquen que el flujo de bits y los decodificadores cumplan con los requerimientos y especificaciones de las capas anteriores.
- 5) Simulación: Se trata de un reporte técnico y proporciona implementación completa por software de las tres primeras capas (Simulación por software)

La parte de Audio se encuentra dividida en tres capas (layers), las cuales manejan una frecuencia de muestreo de 32, 44.1 y 48 kHz. Con la capa I se logra una calidad de CD manejando una tasa de 384 kbps para su compresión. Con la capa II se logra la misma calidad usando 192 kbps, mientras que con la capa III se alcanza la calidad de audio de CD con tan sólo 128 kbps. Debido a que con la capa III se necesitan menos bits para almacenar información de audio con calidad de CD, ésta se volvió la más famosa y utilizada. A dicho formato se le dio el nombre de MP3.

El formato MP3 fue desarrollado por el Instituto Fraunhofer. La tasa de compresión que maneja es de 10 a 1 y de 12 a 1. Para poner un ejemplo, si se quisiera almacenar un minuto de cualquier canción con calidad estéreo, muestreada a 44.1 kHz⁸⁶ y utilizando 16 bits, se necesitarían alrededor de 10 MB (44,100 muestras/segundo * 2 canales * 2 bytes/muestra * 60 segundos/minuto). Empleando la compresión MP3 se podría obtener ese mismo minuto en tan sólo 1MB, manteniendo la calidad de CD casi idéntica, con solamente algunos cambios que resultan prácticamente imperceptibles.

La compresión del formato MP3 aprovecha las imperfecciones del oído humano, eliminando aquellos datos de sonidos que no son percibidos por él. El rango más sensible de percepción⁸⁷ en la audición humana se encuentra entre los 2 kHz y los 5 kHz y precisamente en este rango se encuentran situados los valores menores del umbral mínimo auditivo⁸⁸, el cual no tiene un comportamiento lineal (como se puede ver en la figura 4.2.1).

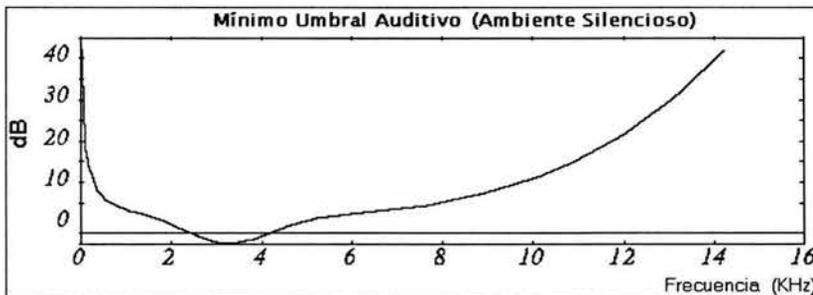


Figura 4.2.1. Mínimo Umbral Auditivo (dB vs kHz).

En base a esta característica de la psicoacústica, el formato MP3 no codificará los sonidos situados bajo el umbral mínimo, puesto que no serían percibidos por el oído humano. Dicha discriminación la realiza el Modelo Psicoacústico empleado por la codificación MP3.

⁸⁶ El tener un muestreo a 44.1 kHz significa que se pueden obtener 44,100 valores por segundo del sonido a procesar.

⁸⁷ El rango auditivo del ser humano es de 20 Hz a 20 kHz.

⁸⁸ El mínimo umbral auditivo (también conocido como umbral absoluto) corresponde al sonido de intensidad más débil que se puede escuchar en un ambiente silencioso.

4.2.1.1 Codificador

A continuación se muestra el diagrama de bloques utilizado por el codificador psicoacústico del MP3.

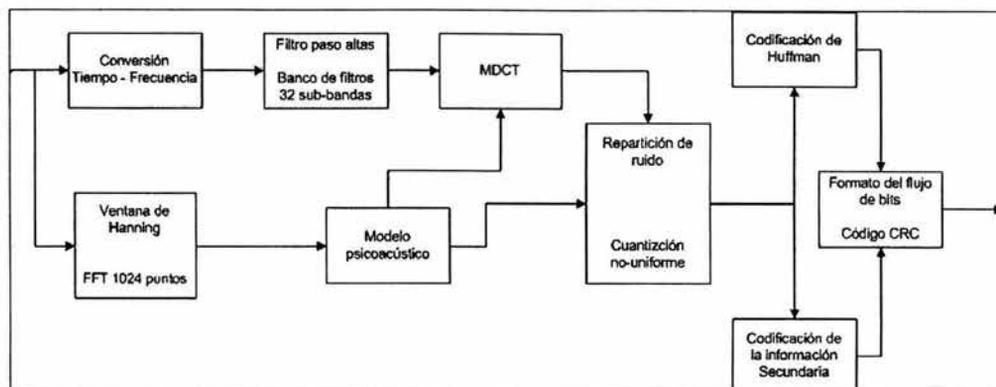


Figura 4.2.2. Codificador psicoacústico empleado por el codificador MP3

En el diagrama anterior, se observa que primeramente se realiza una conversión en la entrada para pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, y así llegar posteriormente a la etapa de filtrado (la etapa de filtrado consiste de un filtro paso altas y un banco de filtros polifásicos). El primer filtro está diseñado para tener una frecuencia de corte entre 2 y 10 Hz, evitando así el uso innecesario de bits para codificar una sub-banda de frecuencias en la que el oído no es tan sensible. Por otra parte, el banco de filtros polifásicos está diseñado para dividir la señal de audio en 32 sub-bandas, las cuales están igualmente espaciadas en frecuencia, por lo que no reflejan exactamente las bandas críticas del oído.

Las bandas críticas son aquellos rangos de frecuencia en los que el oído humano puede percibir un cambio de tono con tal intensidad, que en esos rangos le sería imposible escuchar otros tonos que no fueran tan penetrantes como el cambio⁸⁹ anterior. Algunos estudios han demostrado que en las frecuencias bajas, tonos con unos cuantos Hertz de separación pueden ser distinguibles (bandas críticas angostas), mientras que en altas frecuencias, se necesita que los tonos se encuentren separados por cientos de Hertz (bandas críticas amplias). El 75% de las bandas críticas están por debajo de los 5 kHz, por lo que el oído humano es más sensible a las bajas frecuencias que a las altas. Al ancho de la banda crítica se le llama “bark”, y dicha unidad puede ser aproximada por las siguientes expresiones:

- 1) Ancho de la banda crítica (Hz) = $24.7 (4.37f + 1)$
 - 2) 1 Bark (Hz) = $f/100$ para $f < 500$ (Hz)
 - 1 Bark (Hz) = $9 + 4 \log(f/100)$ para $f > 500$ (Hz)
- Donde: f es la frecuencia central en kHz.

⁸⁹ Al fenómeno de no percepción de tonos en una banda crítica, debido a un tono muy intenso dentro de ésta, se le llama Enmascaramiento.

Para poder ajustar de una mejor manera las bandas críticas (que se obtienen de la etapa de filtrado), con las bandas críticas del oído (las cuales no tienen un espaciado uniforme), se realiza la transformada discreta del coseno modificada o MDCT (Modified Discrete Cosine Transform), obteniéndose así un incremento en la resolución de frecuencia. El empleo de la MDCT no implica tantas pérdidas comparada con la etapa de filtrado, puesto que ésta contiene errores de filtros no ideales. Sin embargo, las pérdidas se consideran imperceptibles para la audición.

Paralelamente al filtrado, se lleva a cabo una conversión al dominio espectral utilizando la Transformada Rápida de Fourier (FFT⁹⁰) de 1024 puntos para así conseguir una buena resolución de frecuencia y poder calcular correctamente los umbrales de enmascaramiento que decidirán cómo tomar la información (ya sea como tono o como ruido). No obstante, antes de aplicar la FFT se debe aplicar una ventana de Hanning para evitar las discontinuidades en los extremos de la señal. Un problema habitual en la captura de datos es el truncamiento de la señal en el dominio del tiempo, resultando inevitable que se produzca una discontinuidad al principio y al final de los datos muestreados. Esto se debe a la bajísima probabilidad de capturar una señal periódica con un número completo de ciclos; por poner una analogía, es comparable a la probabilidad que tiene una persona de vivir un número exacto de años, es decir, la de morir el día de su cumpleaños. El recorte en la señal se vuelve imprescindible puesto que no podemos operar con un sistema continuo, o lo que es lo mismo, con un número infinito de muestras.

Para minimizar el problema arriba mencionado, se emplean las “ventanas”. Las más comunes son las de Dirichlet, Bartlett o Hanning. Para aplicar una “ventana”, se convoluciona la señal en el dominio del tiempo con una función como la ventana de Hanning (esto se hace con el propósito de evitar tratar el principio y el final de la captura como una señal periódica que añade discontinuidades en los extremos de la misma).

Una vez aplicada la FFT, se procede a encontrar el enmascaramiento tonal y el no tonal (ruido). De esta manera, la información tonal se codificará y la no tonal se despreciará. Existen dos tipos de enmascaramiento. El realizado por frecuencia es el efecto que se produce cuando un tono de mayor intensidad enmascara a un tono de menor intensidad que se encuentre muy cercano en frecuencia. El enmascaramiento temporal se presenta cuando un tono suave está muy cercano en el dominio del tiempo (unos cuantos milisegundos) a un tono fuerte. Si se está escuchando un tono suave y aparece un tono fuerte, el tono suave será enmascarado por el tono fuerte antes de que éste aparezca efectivamente (pre-enmascaramiento). Posteriormente, cuando el tono fuerte desaparece, el oído necesita un pequeño intervalo de tiempo (entre 50 y 300 ms) para poder seguir escuchando el tono suave (post-enmascaramiento). A causa del enmascaramiento, ciertas componentes en frecuencia admiten un mayor ruido del que generalmente consideraríamos tolerable, por lo que si el codificador contara con algoritmos adecuados para resolver las máscaras, se requerirían menos bits para su codificación.

El siguiente paso es la aplicación de un modelo psicoacústico, el cual analiza la señal y determina los niveles de enmascaramiento utilizando los datos psicoacústicos de que

⁹⁰ FFT (Fast Fourier Transform)

dispone. Los niveles obtenidos son tomados en cuenta al realizar la MDCT. Por otra parte, el modelo psicoacústico determina la distorsión permitida para así considerar los niveles de enmascaramiento en la etapa de repartición de ruido, con lo que si en una frecuencia dentro de alguna sub-banda existe una componente por debajo de dicho nivel, ésta se desecha.

El proceso de repartición de ruido se realiza en dos ciclos: el interno y el externo. El ciclo interno realiza una cuantización no uniforme. Una vez seleccionado un determinado intervalo de cuantización, a éste se le aplica codificación Huffman. Si al efectuar la codificación los bits requeridos son mayores a los disponibles, entonces se realiza el ciclo interno pero determinando un nuevo intervalo de cuantización. El ciclo termina cuando los bits requeridos son menores o iguales a los bits disponibles en la codificación Huffman.

El ciclo externo se encarga de verificar si el ruido codificado en la señal de cada banda es menor o igual al calculado por el modelo psicoacústico. De no ser así, se vuelven a realizar los dos ciclos.

La información secundaria indica qué tablas de Huffman deben usarse para la decodificación, así como los factores de ganancia que deben emplearse para su correcta reproducción.

4.2.1.2 Trama

El último paso en el proceso de codificación es la producción de un flujo de bits MP3 válido. La trama MP3⁹¹ consta de un encabezado, seguido de los datos de audio que vienen junto con la información para el chequeo de errores y los datos auxiliares. El encabezado describe la capa utilizada, la tasa de bits y la frecuencia de muestreo que se usaron en la codificación. Los datos codificados con Huffman y su información secundaria se encuentran localizados en la parte de datos de audio.

Encabezado	Chequeo de errores	Información secundaria	datos principales, no necesariamente en la misma trama. Longitud variable
32 bits	0 - 16 bits	136 - 565 bits	

Figura 4.2.3. Trama MP3

El encabezado (de 32 bits) es una parte muy importante dentro de una trama MP3, por lo que a continuación se describirá más a fondo la distribución de bits que maneja. Los primeros 12 bits del encabezado son puestos en 1 para identificar el comienzo de la trama. El siguiente bit es utilizado para identificar el audio (si se encuentra en 1 indica que tiene el formato MPEG-1). Los siguientes dos bits son usados para la descripción de la capa (01

⁹¹ Una trama MP3 está compuesta por 1152 muestras de audio + información de la trama. Cada subtraya aporta 36 muestras de audio, para formar un total de 1152 muestras por trama.

indica que se trata de la capa III). El bit que le sigue indica si está protegido o no (0 ó 1 respectivamente) por un código de redundancia cíclica (CRC) para la detección de errores. El CRC utilizado es de 16 bits (CRC-16) y el polinomio generador es el que se muestra a continuación:

$$\text{CRC-16} = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

Los cuatro bits siguientes se utilizan para proporcionar el índice de la tasa de bits manejada (0000 - formato libre, 0001 – 32 kbps, 1001 – 128 kbps, 1011 – 92 kbps, 1110 – 320 kbps, 1111 – No permitido). Dos bits posteriores a ellos indican la tasa de muestreo (00 – 44.1 kHz, 01 - 48 kHz, 10 – 32 kHz, 11 - Reservado). Más adelante se usa un bit de relleno (si se encuentra en 1 la trama se rellena con una ranura extra⁹²). El siguiente bit es de uso privado y generalmente no se utiliza, aunque sin embargo, los dos bits posteriores a él sí, e indican el modo del canal (00 – Stereo⁹³, 01 - Joint Stereo⁹⁴, 10 - Dual Channel⁹⁵, 11 - Single Channel⁹⁶). El bit que se encuentra a continuación se emplea para el uso de la marca registrada (si se encuentra en 1 indica que es ilegal copiar el contenido del archivo). Consecutivamente se tiene el bit que se utiliza para indicar si se trata de un medio original (0 indica que es una copia del medio original). Los últimos dos bits son usados para la información del énfasis, indicándole así al decodificador que el sonido debe ser re-equalizado. Cabe señalar que estos últimos bits son raramente utilizados.

El empleo del formato MP3 ha sido de gran aceptación en redes como Internet, debido al nivel de compresión que permite y a la gran calidad de audio que se alcanza con dicho formato, por lo que su uso en servicios móviles se considera bastante viable. El estándar de Audio MPEG-2 no ha sido tan empleado debido a que el MP3 ya está muy popularizado y a que sigue cubriendo las necesidades primarias de los usuarios.

4.3 Video

4.3.1 MPEG-4

MPEG-4 es un estándar desarrollado por el grupo MPEG (Moving Picture Experts Group), el mismo que desarrolló el MPEG-1 y el MPEG-2. Aunque el MPEG-4 se desarrolló para ser un estándar de codificación audiovisual para bajas velocidades, éste se ha convertido en una manera muy eficiente de comprimir los objetos visuales y sonidos (naturales o sintetizados) de una escena, para así poder transferir y comprimir flujos de datos interactivos de gran calidad.

⁹² Únicamente se usa para frecuencias de 44.1 KHz. Por ejemplo, un sonido 128 Kbps 44.1 KHz Capa II usa muchas tramas de 418 bytes de largo y unas pocas de 417 bytes para cumplir exactamente la tasa de transferencia de 128 Kbps. La ranura consume 8 bits (1 byte) para las Capas II y III.

⁹³ Stereo es un canal estereofónico que comparte bits en ambos canales.

⁹⁴ Joint Stereo es un canal estereofónico, sin embargo saca provecho de la correlación existente entre ambos canales para representar más eficiente la señal.

⁹⁵ Dual Channel corresponde al empleo de dos canales monofónicos independientes. Cada uno es un archivo de audio diferente y la mayoría de los decodificadores lo procesan como estereofónico.

⁹⁶ Single Channel corresponde a un canal monofónico.

Lo más novedoso del MPEG-4 es la manera de codificar y presentar una escena de video. Para esto, la escena en cuestión es codificada por separado (manejo de objetos⁹⁷), después se multiplexa y se transmite al receptor, el cual demultiplexa y decodifica todos los objetos por separado. Una vez que los objetos son decodificados, éstos se sincronizan para formar así la escena que se presenta finalmente en el receptor. La codificación de objetos por separado se realiza usando diferentes herramientas de codificación para audio, video y voz. Esta manera de codificar permite la agrupación con el propósito de obtener objetos más elaborados, los cuales, pueden ser utilizados para formar escenas complejas manipulables en el receptor. A esta manipulación se le llama interacción y dependerá de la libertad que el autor de la escena le dé al usuario final. Algunos de los ejemplos de interacción posibles pueden ser el cambio de ángulo, el cambio de punto de audición, el hecho mover objetos a diferentes posiciones en la escena, el tener la posibilidad de utilizar a los objetos como botones de acceso hacia algunos procesos, la selección del idioma deseado, etc.

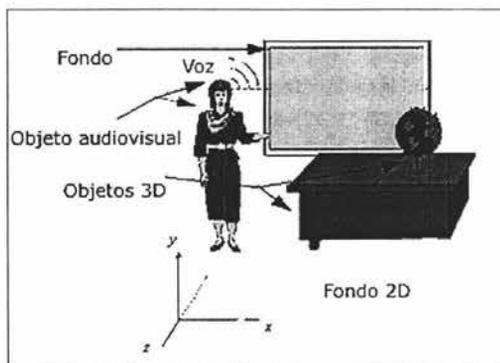


Figura 4.3.1. Composición de una escena por objetos

El MPEG-4 se basa en dos características principales. Una de ellas es la herramienta de descripción de escena BIFS⁹⁸, la cual tiene sus principios en el modelo VRML (Virtual Reality Modeling Language). El BIFS hace posible el manejo y la animación de objetos en escenas por separado, además de que realiza la actualización del contenido de la escena dinámicamente. La otra característica principal es el empleo de descriptores de objetos ODs (Object Descriptors), los cuales ofrecen un mecanismo flexible para ligar un objeto con su descripción en una escena. La anterior facilita el acceso a su descripción y expresa la dependencia mutua entre ésta y el objeto dentro de la escena. Vale la pena destacar que en los ODs se maneja la calidad de servicio QoS requerida.

Cada objeto MPEG-4 se encuentra descrito por cadenas o flujos de datos elementales (ES: Elementary Streams), los cuales contienen información sobre el comportamiento y

⁹⁷ Los objetos multimedia se encuentran clasificados en imágenes fijas, secuencias de video y audio. Estos objetos pueden ser de origen natural (fotografía de una persona) o sintéticos (dibujo realizado por computadora).

⁹⁸ BIFS (Binary Format for Scenes). Este formato permite manejar los cambios espacio-temporales de los objetos en una escena.

Una composición de un objeto visual complejo puede ser la que se muestra en la figura 4.3.3. De acuerdo a esta figura, una imagen se puede dividir en un fondo y en objetos que se encuentren adelante del mismo (visualmente hablando). En este ejemplo, primeramente se enviaría la codificación de la información del fondo y del objeto en una posición inicial. Si no se presentaran cambios radicales en la imagen del fondo, sólo se enviaría la información codificada de los cambios que se requirieran realizar en él, mientras que el objeto que se mueve sería transmitido como un objeto de forma arbitraria con movimiento en la escena. Lo anterior le permite al equipo receptor del usuario reconstruir la imagen del fondo de una manera muy eficiente.

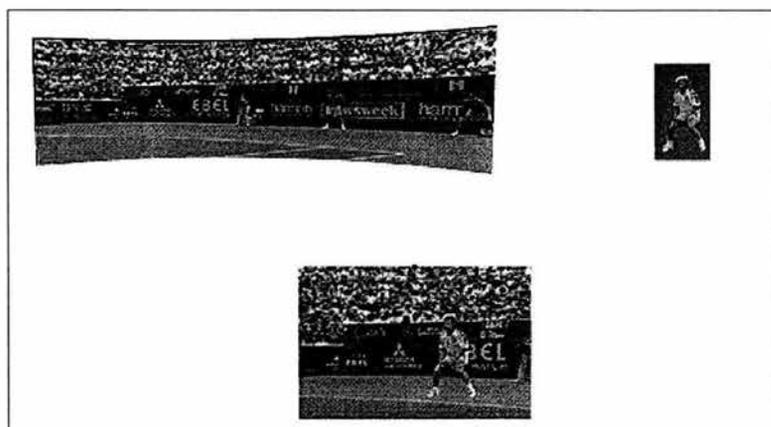


Figura 4.3.3. Ejemplo de composición de una secuencia de video.

La eficiencia en la compresión obtenida en MPEG-4 recae en el uso de las herramientas apropiadas para realizar la predicción de movimiento que se tienen asignadas a cada objeto. Algunos ejemplos son los siguientes:

- 1) Estimación de movimiento basada en bloques de 8x8 o de 16x16 píxeles para imágenes.
- 2) GMC (Global Motion Compensation) para objetos de video. El GMC está basado en una estimación de movimiento global, que codifica la trayectoria y el cambio de textura para predecir errores.
- 3) Compensación de movimiento global para sprites¹⁰¹ estáticos. Por cada imagen consecutiva en una secuencia, sólo 8 parámetros que describen el movimiento de la escena son codificados para reconstruir el objeto.
- 4) QPMC (Quarter Pel Motion Compensation). Esta herramienta mejora la precisión del método de compensación de movimiento, lo cual lleva a tener menos errores en la predicción, y por lo tanto se logra una calidad visual superior.

¹⁰¹ Un sprite estático es una imagen estática grande, como un panorama de fondo.

- 5) DCT adaptable a la forma. Al realizar la codificación de textura, la herramienta SA-DCT (Shape-Adaptative DCT) mejora la eficiencia de codificación, debido a que se encuentra basada en conjuntos ortonormales de funciones DCT adimensionales previamente definidas.

Por otra parte, el formato MPEG-4 utiliza el proceso Wavelet tiling, el cual se emplea para dividir imágenes muy grandes en otras más pequeñas, por lo que se logra la transmisión usando muy poca memoria. Ya en el decodificador se vuelve a unir dicha imagen y se presenta en la escena.

Adicionalmente, la codificación se puede realizar de tal manera que permita la obtención de la resolución deseada o requerida en la decodificación, y así emplear una escalabilidad en la calidad de ésta.

En lo referente a los objetos visuales sintéticos, el MPEG-4 maneja los siguientes: animación de cuerpo y cara humana y objetos 2-D y 3-D. Para cada uno de ellos, existen diferentes parámetros que se les asignan por default. Al existir parámetros que describen la composición y el movimiento de éstos, se logra una optimización en el manejo o combinación de los objetos visuales sintéticos con los objetos visuales naturales.

Es importante mencionar que el estándar MPEG-4 no sólo se enfoca en la codificación de video, sino también lo sincroniza con la codificación de audio. Al igual que en los objetos visuales, en los objetos auditivos también se manejan dos distintas fuentes: la natural y la sintética. Para la codificación de audio natural, el MPEG-4 emplea un rango en la tasa de bits que va desde los 2 kbps hasta los 64 kbps.

Específicamente para la codificación de voz se manejan tasas de 2 a 24 kbps. Si se usa la codificación HVXC¹⁰² se obtienen tasas de 2 a 4 kbps, y con la codificación CELP¹⁰³ se utilizan tasas de 4 a 24 kbps. Con HVXC se pueden llegar a manejar tasas de 1.2 kbps si se tiene el modo de tasa de bits variable. En lo que respecta a CELP, se pueden manejar dos frecuencias de muestreo (8 y 16 kHz) dependiendo de si se quiere utilizar voz en banda angosta o banda ancha.

En lo que respecta a la codificación de audio en general, se manejan tasas de 6 kbps en adelante para frecuencias de muestreo de 8 kHz como mínimo. En esta rama se utiliza la codificación HILN¹⁰⁴, la cual se basa en la descomposición de la señal en objetos de audio que son descritos por modelos propios para dicha fuente y que se representan por parámetros de modelos de ondas sinusoidales, de tonos armónicos y de ruido. La mejora al utilizar codificación HILN se tiene al no tomar a la señal de audio como una señal estacionaria. A cada uno de los objetos se les aplica una codificación similar a la realizada

¹⁰² HVXC (Harmonic Vector eXcitation Coding)

¹⁰³ CELP (Code Excited Linear Predictive). Una de sus características más importantes es la compresión de silencio, pues cuenta con un detector de actividad de voz que puede distinguir cuando éste existe, y así realizar la transmisión a una tasa más baja. El receptor al detectar este cambio de tasa de transmisión, adhiere el silencio.

¹⁰⁴ HILN (Harmonic and Individual Lines plus Noise)

en la codificación MP3. Las codificaciones HVXC y el HILN se integran en un sólo codificador, el cual selecciona automáticamente el tipo de codificación a realizar

Otra característica importante de la codificación de audio MPEG-4 es el manejo de escalabilidad en la tasa de bits, puesto que en el receptor se puede decodificar eligiendo la calidad de sonido. Así también, el transmisor puede elegir el nivel de complejidad en su codificación, permitiendo manejar distintas tasas de transmisión dependiendo de las necesidades del usuario final o de las condiciones del medio de transmisión. Debido a estas características, la utilización de un canal de regreso se vuelve imprescindible para que el decodificador esté en comunicación con el codificador, y así se establezcan los cambios en las tasas de transmisión que requiere el usuario final.

Asimismo, el MPEG-4 hace uso de codificadores TTS¹⁰⁵ que manejan tasas de transmisión desde los 200 bps hasta los 1.2 kbps, permitiendo enviar texto con parámetros prosódicos (duración, cambio de tono, etc.) para ser convertido por el decodificador como voz sintética que resulte lo suficientemente inteligible. El empleo de codificadores TTS hace posible que se tenga una buena sincronización en animaciones de caras u objetos 2D o 3D y permite manejar diferentes lenguajes para que el usuario seleccione el de su preferencia.

Finalmente, se puede decir que la característica más importante del MPEG-4 es el manejo de la interactividad del usuario final con la fuente multimedia. Gracias a lo anterior, se pueden realizar ajustes en las tasas de transmisión y en la calidad del video, sin pasar por desapercibida la generación de una escena que contenga objetos audiovisuales de la manera más eficiente para que el usuario final no reciba una en la cual no exista sincronización entre todos los objetos participantes. Además, el uso de herramientas que dependen del tipo de fuente multimedia utilizada, permite realizar una codificación muy eficiente, lo que posibilita la evasión de redundancias y el empleo de parámetros que describen el comportamiento de las fuentes multimedia sintéticas.

4.4 Multimedia

4.4.1 MMS

El servicio MMS¹⁰⁶, según el grupo 3GPP2¹⁰⁷, es el servicio encargado de proveer mensajes, los cuales son referidos como una combinación de uno o más elementos unidos en presentación multimedia. El MMS no se transmite en tiempo real y sus elementos se encuentran codificados en formato MIME¹⁰⁸, el cual es el formato utilizado en la tecnología de Internet para enviar mensajes.

¹⁰⁵ TTS (Text To Speech)

¹⁰⁶ (MMS Multimedia Messaging Service)

¹⁰⁷ (3GPP2 3rd Generation Partnership Project 2.)

¹⁰⁸ MIME (Multipurpose Internet Mail Extension.)

En la siguiente figura se muestran los elementos que intervienen en una arquitectura para proporcionar el servicio MMS. Las bases de la conectividad entre las diferentes redes deben estar dadas por el protocolo de Internet y sus protocolos asociados de mensajería.

El elemento MMS User Agent reside en un MS¹⁰⁹ o en un dispositivo externo conectado a un MS, y permite a los usuarios recibir, enviar o borrar un Mensaje Multimedia (MM¹¹⁰). Este elemento se encarga de encriptar y desencriptar el MM, así como de todo lo relacionado con el almacenamiento del mensaje en el MS y del manejo del estado de transferencia del mismo, para conocer si fue recibido correctamente por el usuario final al que iba dirigido.

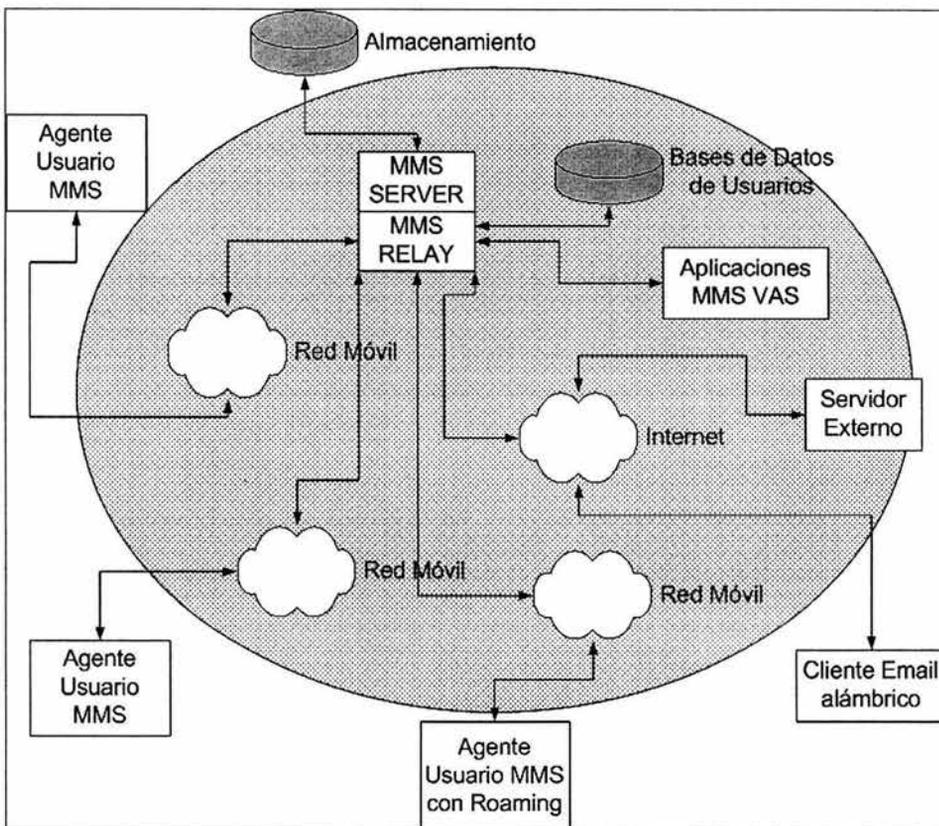


Figura 4.4.1. Arquitectura de los elementos que intervienen en el servicio MMS.

¹⁰⁹ MS (Mobile Station) Estación móvil que le permite al usuario obtener un enlace de comunicación inalámbrica con una estación base. Estas pueden ser portables e incluso instaladas en vehículos.

¹¹⁰ MM (Multimedia Message).

Para garantizar la compatibilidad entre los Mensajes Multimedia, se han establecido formatos para los medios. Dichos formatos se encuentran especificados por el grupo 3GPP2 en el documento “Media Formats and Codecs”. Los aspectos con los que debe cumplir el MM de acuerdo al documento antes mencionado son los siguientes:

- La codificación del MM debe ser del tipo MIME, para que pueda tener compatibilidad con el uso de texto en el SMS¹¹¹.
- El tipo de texto utilizado es el texto plano. Se debe usar cualquier caracter codificado que contenga un subconjunto de caracteres lógicos Unicode, como por ejemplo: US-ASCII, ISO-8859-1, UTF-8, etc. Los subtipos de texto que no sean reconocidos deben ser tratados como un subtipo plano para que la implementación MIME sepa cómo manejar ese subconjunto de caracteres. Cualquier otro subtipo o subconjunto de caracteres no reconocidos deben de ser tratados como octetos o cadenas.
- En cuanto al formato de conversación, el MMS debe emplear tanto al codificador AMR para banda angosta, como al AMR-WB para banda ancha si se requiere de un muestreo de 16 kHz.
- El formato de audio soportado por el MMS es el MPEG-4 AAC. La máxima tasa de muestreo soportada por el decodificador es de 48 kHz. Las configuraciones del canal soportadas son mono y estéreo.
- El formato utilizado por el sintetizador de audio es el SP-MIDI (Scalable Polyphony MIDI).
- Las imágenes estáticas usadas por el MMS deben de estar en formato ISO/IEC JPEG y JFIF¹¹².
- Los gráficos empleados en el MMS deben encontrarse en formato BMP, GIF o PNG.
- En caso de que la terminal soporte el uso de video, éste se puede utilizar en formato H.263 (Recomendado por la ITU-T¹¹³) o en el MPEG-4 Visual Simple Profile Level 0.
- Si la terminal soporta gráficos vectoriales de dos dimensiones, se debe usar el formato SVG-Tiny (Scalable Vector Graphics Tiny), aunque también se puede emplear el SVG-Básico.

¹¹¹ SMS (Short Message Service)

¹¹² JFIF (JPEG File Interchange Format)

¹¹³ ITU-T International Telecommunications Union – Telecommunications.

Cabe mencionar que si se utilizan elementos multimedia dependientes del tiempo, como lo son el video asociado con audio y texto sincronizado, se debe usar el formato MP4. Sin embargo, dicho formato tiene su propio tipo de MIME para que sea distinguido de los elementos multimedia de los archivos MPEG-4.

Debido a que el MMS puede interactuar con tecnologías WAP, se puede soportar el formato XHTML 1.1.

El elemento MMS Relay/Server es el encargado de almacenar temporalmente los mensajes y de atender los que son entrantes y salientes tomando en cuenta todas las posibles interacciones con otros sistemas de mensajería. Esta entidad puede ser un sólo elemento lógico o puede estar separado en un MMS Relay y en un MMS Server, dependiendo del modelo de negocios que se emplee en el sistema. Asimismo, se encarga de realizar procesos de notificación al MMS User Agent, de direccionar al MMS, de generar reportes de entrega y respuesta de cada MM y de llevar a cabo los procesos necesarios para el envío y respuesta de los MMs recibidos. Vale la pena señalar que el Relay/Server interactúa también con las aplicaciones de servicios de valor agregado VAS¹¹⁴ (cada usuario tiene acceso a diferentes VASs de acuerdo a su configuración), así como con el sistema de cobro utilizado por el proveedor de servicios.

Si el sistema cuenta con MMBoxes, el usuario podrá almacenar sus mensajes recibidos o enviados para usarlos en un futuro sin temor a que sean borrados (siempre y cuando no rebase el límite de almacenamiento asignado). La existencia del MMBox dependerá de la configuración del proveedor de servicios.

Los Servidores Externos pueden ser servidores de correo electrónico, fax o servidores de SMS que sean capaces de trabajar con los servicios MMS a través de la interacción de dichos servidores con el MMS Relay/Server e Internet.

Las Bases de Datos del Usuario, a las que tiene acceso el MMS Relay, permiten entre otras cosas el almacenamiento de la información del suscriptor para el control de acceso al servicio, el manejo de las capacidades a las que tiene derecho cada usuario, la obtención de información acerca del conjunto de reglas para poder administrar los mensajes recibidos, etc.

El servicio MMS goza de gran popularidad en aquellos países que cuentan con este servicio (sobre todo en la población juvenil), ya que sus características permiten aprovechar la generación de objetos multimedia y unirlos en un mensaje para el envío a una o más personas que tengan la posibilidad de recibirlo por Internet o vía redes celulares. En México este servicio no ha alcanzado gran popularidad debido a que el servicio es reciente y no se tiene la infraestructura suficiente para dar un servicio MMS de calidad.

¹¹⁴ VAS Value Added Service. Estos servicios son diferentes a los servicios básicos de telecomunicaciones que proporciona el proveedor, por lo que generalmente el derecho a utilizarlos se considera precisamente como un valor agregado.

4.4.2 Videoconferencia

Hablando en el contexto de telefonía celular, el servicio de videoconferencia se puede definir como la provisión de una transmisión Full-Duplex de video, audio y otros servicios en tiempo real a través de sistemas de comunicación inalámbrica. Debido a que este servicio debe proporcionarse en tiempo real, es de suma importancia suprimir hasta los mínimos retardos que se puedan presentar, por lo que las técnicas de codificación (principalmente de audio y video) deben ser muy eficientes para que se eviten al máximo los errores en los canales de transmisión inalámbrica.

En un principio, el servicio de videoconferencia fue planeado para la participación simultánea de dos usuarios. No obstante, la innovación se tiene al llevar a cabo una videoconferencia entre varios usuarios. En estos casos, la transmisión de información entre los suscriptores debe de ser simétrica. Además, este servicio debe contar con protocolos de control del sistema tanto para administrar llamadas entre los usuarios participantes, como para negociar el control de los diferentes codificadores empleados en la sesión de videoconferencia.

A continuación se muestra la estructura más simple del servicio de videoconferencia, en donde se puede observar que la entrada o salida de video y audio requiere de ser decodificada o codificada según sea el caso. Asimismo, se puede apreciar que se debe contar con una interfaz de control para poder realizar la administración de los codificadores y de las llamadas empleadas en cada sesión.

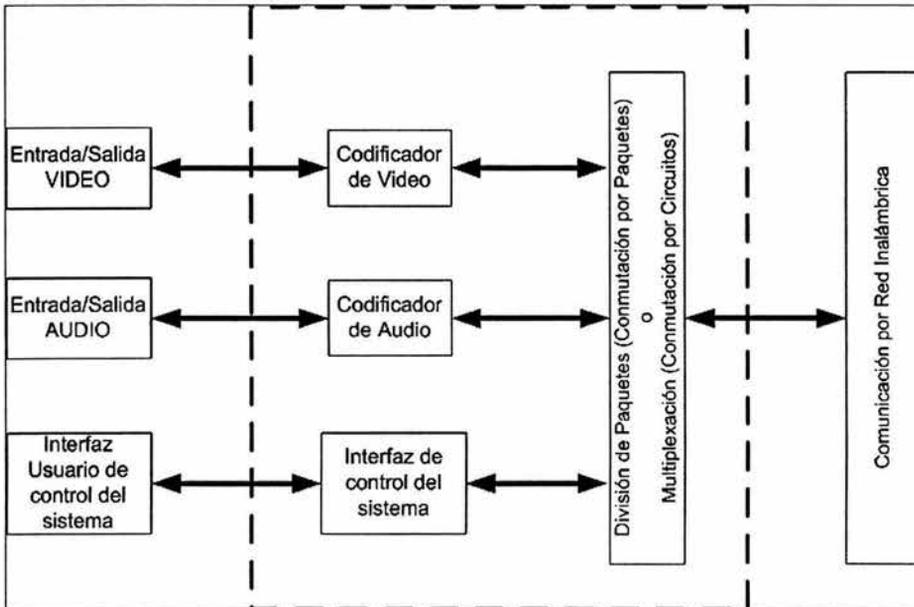


Figura 4.4.2. Estructura básica del servicio de videoconferencia.

Como se puede observar también en la figura anterior, es posible utilizar la red inalámbrica por conmutación de paquetes o por conmutación de circuitos, de tal forma que se pueda obtener un servicio sin importar el tipo de red inalámbrica que se maneja, ya que dependiendo del caso, se realiza una multiplexación o una división de paquetes antes de que se efectúe la comunicación con la red. Debido a esta adaptación, el servicio de videoconferencia tiene diferentes parámetros de calidad de servicio de acuerdo a la conmutación empleada.

Cabe señalar que la red que une a los usuarios no necesariamente debe ser inalámbrica en su totalidad, sino que esta red puede estar compuesta por redes ISDN¹¹⁵, PSTN¹¹⁶, Internet y redes inalámbricas, siempre y cuando se tengan los gateways apropiados para la interconexión entre éstas.

Para asegurar a los usuarios finales una buena calidad de servicio, se deben cumplir varios requerimientos mínimos del sistema, tales como retardo, tasa de errores por frame (FER¹¹⁷), tasa de errores por bits transmitidos (BER¹¹⁸), etc.

Algunos de los requerimientos mínimos son los siguientes:

- Se debe tener una transmisión Full Duplex entre los usuarios finales, no importando el tipo de conmutación empleada.
- El servicio debe ser compatible con sistemas de videoconferencia como el ITU-T H.324M/H.323 o el IETF RFC 2543 SIP, además, debe utilizar protocolos de control especificados en el ITU-T H.245 o H.225.0.
- La sincronización entre los componentes de audio y video es muy importante, por lo que la diferencia entre ambos debe ser menor a 20 ms.
- El servicio de videoconferencia debe funcionar con tasas de transmisión superiores a 32 kbps.
- La codificación de video debe ser el ISO¹¹⁹ MPEG-4 y/o el ITU-T H.263.
- Si se utiliza la conmutación por circuitos, el método estándar de multiplexación debe ser el especificado en el ITU-T H.223.
- Si se utiliza la conmutación por paquetes, el método para la división en paquetes debe ser el que se establece en el ITU-T H.225.

¹¹⁵ ISDN (Integrated Services Digital Network) Red digital de servicios integrados.

¹¹⁶ PSTN (Public Switched Telephone Network) Red telefónica pública conmutada.

¹¹⁷ FER (Frame Error Rate). La tasa de errores por frames transmitidos se considera cuando se emplea conmutación por paquetes.

¹¹⁸ BER (Bit Error Rate). La tasa de errores por bits transmitidos se considera cuando se utiliza conmutación por circuitos.

¹¹⁹ ISO (International Standards Organization)

- El retardo máximo entre la recepción de los servicios de cada usuario debe ser menor a 400 ms.
- El máximo Delay Jitter¹²⁰ permitido es de 200 ms a través de la red.
- El servicio de videoconferencia no debe consumir en gran medida los recursos del equipo móvil, tales como memoria, batería y procesamiento.

Como se especifica anteriormente, en servicios como el de videoconferencia y en la conversación de voz, los retardos en la comunicación deben de ser mínimos, en tanto que en los servicios como el MMS no se requiere de esta característica, puesto que la entrega de la información puede o no ser en tiempo real. Por otra parte, vale la pena señalar que para poder proporcionar servicios de difusión multimedia bajo demanda en redes como las de tercera generación, la utilización de procesos streaming resulta de gran importancia.

4.4.3 Servicios de streaming de multimedia y video.

Los servicios de Streaming Multimedia se basan en una descarga continua de video, audio y datos multimedia que son entregados a un dispositivo para que éste pueda reproducirlos al mismo tiempo que los va recibiendo, sin tener la necesidad de esperar a que exista una descarga total del contenido de la información. La transmisión en este servicio se lleva a cabo en un sólo sentido, con lo que en el receptor se debe de almacenar la información entrante en un buffer para minimizar la influencia del retardo de retransmisión (en caso de que sea necesario) y del “delay jitter”. Es importante mencionar que si la información se recibe con muchos errores, debe de realizarse la petición de retransmisión.

Como se sabe, los servicios de conversación telefónica están caracterizados por sus retardos no deseados. Para combatir estos retardos se utilizan métodos de corrección de errores como el BEC (Back Error Correction). Por otra parte, los servicios de mensajes multimedia son insensibles al retardo y consecuentemente operan de manera muy similar a los servicios de e-mail. Sin embargo, los requerimientos y propiedades de las aplicaciones que requieren de streaming, difieren de este tipo de servicios.

El streaming de multimedia puede ser utilizado en redes que utilicen conmutación por circuitos o por paquetes, por lo que es posible tener diferentes calidades de servicio, dependiendo del tipo de conmutación usada. Así también, se debe contar con un protocolo de control para establecer las conexiones entre las terminales involucradas y para manejar los codecs empleados en el servicio.

Para lograr una estandarización, el proyecto 3GPP (3rd Generation Partnership Project), el cual es un grupo de estandarización del IMT-2000, ha definido al proceso como PSS (Packet Streaming Service), con el fin de que se pueda implementar en las redes móviles de

¹²⁰ Delay Jitter. Es la diferencia del 95% de la distribución del retardo y el retardo promedio en una transmisión de información a través de una red.

Tercera Generación. Para poder estandarizarlo, dicho proyecto (el 3GPP) ha tomado en cuenta las especificaciones de las arquitecturas de las redes, así como de los canales de radio que pueden ofrecer servicios de Broadcast utilizando el streaming de una manera eficiente. Algunos documentos tratan de establecer formatos de streaming para redes celulares; no obstante, ninguno de ellos es totalmente definitivo. Una solución a este problema es utilizar el formato de streaming usado en la televisión digital, sin embargo, el MPEG-2 TS (Transport Stream) usado en estos sistemas, no se considera funcional en las redes celulares del futuro, debido a que éstas llegarán a ser redes basadas en el protocolo IP, y los headers utilizados en IP no son lo suficientemente grandes para soportar un header de compresión del MPEG2- TS.

Una característica fundamental del proceso de streaming es que puede emplear técnicas de retransmisión para recuperar información perdida, siempre y cuando no se trate de un servicio de videoconferencia, ya que dichos servicios requieren de una interacción de la información en tiempo real. La cantidad de tiempo tolerada entre los paquetes perdidos y la recepción de paquetes retransmitidos para reemplazar los extraviados depende del tamaño del buffer usado por el receptor.

El proceso de streaming en ambientes inalámbricos enfrenta diferentes retos que cambian dependiendo del usuario que solicite el servicio. Por ejemplo, los dispositivos de los usuarios no manejan la misma potencia ni tienen las mismas características de comunicación. Adicionalmente, los canales de comunicación tienen diferentes niveles de calidad, presentan diversas características que varían con el tiempo y poseen diferente ancho de banda. Debido a estos problemas, un sistema de streaming debe ser capaz de proporcionar el servicio en casi cualquier condición, sin descuidar particularidades como la eficiencia del uso de la red y la seguridad del streaming en sí.

En el contexto del video streaming, se debe contar con una gran escalabilidad del sistema, por lo que es importante tener un excelente transcoder¹²¹ que sea capaz de adaptarse a los nodos intermedios de la red. Al proceso anterior se le conoce como Transcoding.

El proceso de Transcoding permite mejorar el sistema en cuanto a escalabilidad y eficiencia, ya que puede adaptar espacialmente la resolución de las cadenas de video, dependiendo las capacidades de cada cliente, al ajustar dinámicamente la tasa de bits transmitidos, y así adecuarse a las características dependientes del tiempo en un canal cualquiera.

Sin embargo, no todo se puede solucionar con el Transcoding, ya que aunque existen excelentes algoritmos para realizarlo, éstos no soportan el procesamiento de cientos de miles de cadenas en nodos intermedios de red inalámbrica, más aún cuando estos nodos poseen baja potencia. Además, el llevarlo a cabo implica descifrar las cadenas de video,

¹²¹ El transcoder es el encargado de recibir una cadena de video comprimido y producir, en base al recibido, otra cadena de video comprimido a su salida. Entre algunos procesos que realiza el transcoder se encuentran operaciones de reducción de tasa de transmisión de bits, reducción de tasa de transmisión de frames, cambio de formatos de compresión, etc.

para posteriormente volver a encriptarlas con el Transcoding, por lo que cada nodo representa una amenaza para la seguridad de la información transmitida por la red.

En el streaming inalámbrico se necesitan transcoders que ayuden a realizar la escalabilidad y la eficiencia del ancho de banda para que todo tipo de usuarios puedan realizarlo en las mejores condiciones posibles. En una red híbrida¹²² generalmente es necesario realizar simultáneamente el streaming tanto para clientes que se encuentren en redes inalámbricas como para aquellos que estén conectados a redes alámbricas. Por todo esto, si un proveedor de servicios alámbrico desea realizar un streaming de video con un ancho de banda muy grande a un usuario alámbrico y a uno inalámbrico, el transcoder que se encuentre conectado al Gateway (Compuerta) que interactúa con ambos tipos de redes (alámbrica e inalámbrica), debe de realizar el Transcoding poniendo gran importancia en la reducción del ancho de banda para poder proporcionar el servicio al cliente inalámbrico. Por otra parte, el transcoder no tiene que realizar grandes cambios para el streaming al cliente alámbrico, debido a que éste último puede disponer de mayor ancho de banda que el usuario móvil.

En el caso de que se realice el streaming entre dos ambientes totalmente inalámbricos, se debe tomar en cuenta que el área de cobertura del transmisor es limitada por la potencia de la señal transmitida. Si se desea ampliar el área de cobertura, deben de utilizarse dispositivos repetidores entre el transmisor y el receptor. Si este es el caso, se puede realizar el proceso de Transcoding en los repetidores, siempre y cuando el receptor requiera del Transcoding para poder realizar el streaming en las mejores condiciones posibles.

Por lo anteriormente visto, el proceso de Transcoding es de vital importancia cuando se realiza el streaming en ambientes móviles inalámbricos. Sin embargo, la seguridad es otro factor de gran importancia. Un método convencional de seguridad en el streaming de video es el que se ilustra en la siguiente figura.

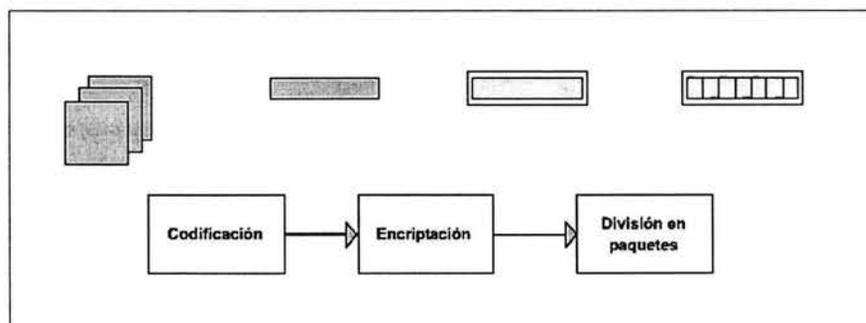


Figura 4.4.3. Método de seguridad convencional.

En este método, el video primeramente es codificado en un bitstream¹²³ usando algoritmos de compresión como MPEG, H.263 o un algoritmo de compresión de tipo intraframe como JPEG o JPEG2000. El bitstream resultante es encriptado y luego se divide

¹²² La red híbrida se compone de zonas de redes alámbricas que interactúan con zonas de redes inalámbricas.

¹²³ Cadena de bits.

en paquetes para que se pueda transmitir por la red usando un protocolo de transmisión como UDP. La falla de este método ocurre cuando se pierde uno de estos paquetes resultantes, puesto que es muy difícil recuperarlo, ya que si no se cuenta con información del paquete extraviado, es casi imposible descryptar y decodificar el video en el receptor.

Otra alternativa es utilizar métodos de seguridad como el que se muestra en la figura 4.4.4.

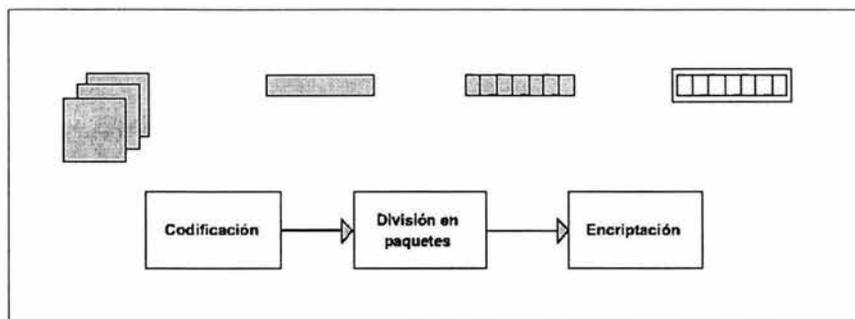


Figura 4.4.4. Alternativa del método de seguridad convencional.

En la figura anterior, se muestra un sistema de streaming de video que primero codifica la información empleando los mismos métodos de compresión que el sistema previo. No obstante, la división de la información en paquetes se lleva a cabo después de realizar la codificación, efectuándose así un tipo de acoplamiento entre el método de compresión utilizado y el protocolo de transmisión a emplearse. Por ejemplo, si la carga útil o “payload” es información codificada en MPEG, es recomendable emplear el protocolo RTP, el cual, debido a sus parámetros de streaming, facilita la recuperación de paquetes ya sea por pérdida o por retraso.

Una vez que la información es dividida en paquetes, se realiza la encriptación. Sin embargo, si se tiene que realizar el proceso de Transcoding, es necesario utilizar el primer método para eficientizar el procedimiento, debido a que tanto la decodificación como el proceso de información y la re-codificación son más fáciles de hacerse en el primer método. Por otro lado, y tal como se vio anteriormente, el realizar el Transcoding implica tener un punto muy grande de vulnerabilidad en el sistema, por lo que la seguridad y la eficiencia no pueden ser mejoradas simultáneamente. Una opción que se encuentra en desarrollo son los métodos de seguridad que realizan el Transcoding sin necesidad de descryptar la información, o que la descryptan parcialmente.

Hablando de la cuarta generación de sistemas de comunicaciones inalámbricas, se puede decir que ésta se encuentra planeada para mejorar las velocidades y las facilidades de transmisión en ambientes que requieren de una gran movilidad. En dicha generación se espera que se manejen tasas de transmisión superiores a los 20 Mbps. La empresa proveedora de servicios DoCoMo en Japón está planeando brindar servicios de cuarta generación en el 2006.

Este tipo de servicios son utilizados en video sobre demanda, televisión, noticias interactivas, y cualquier caso de difusión de datos multimedia, incluyendo los servicios de Broadcast y Multicast.

Finalmente, vale la pena destacar que en general, el servicio de streaming de video y de contenido multimedia, debe de cumplir con los siguientes requerimientos:

- La calidad de Servicio QoS se tiene que ajustar al ambiente en el que se encuentre operando la red en un determinado momento.
- El streaming de video y multimedia debe ser compatible con los formatos de streaming más comunes como ASF¹²⁴ y SMIL¹²⁵.
- Los codecs utilizados para video deben de ser compatibles con los estandarizados por grupos de trabajo como 3GPP2 y 3GPP, siendo el más común el MPEG-4.
- La codificación de audio de baja calidad se debe ocupar para tasas de transmisión cercanas a 8 kbps. Si se emplea la calidad FM-Stereo se deberá tener tasas de transmisión cercanas a 64 kbps. En el caso de manejar audio de alta fidelidad, se requerirá tener cerca de 128 kbps.
- La sincronización entre el video, el audio y los componentes multimedia transmitidos en el streaming es muy importante, por lo que se debe tener una diferencia menor a 20 ms entre dichos elementos.
- El máximo retardo total de transmisión debe ser de 30 segundos, incluyendo el tiempo de almacenamiento en el buffer realizado en la terminal receptora.
- La red debe ser capaz de operar con un delay jitter de tres veces mayor al tiempo de retransmisión requerido por la red.
- El servicio debe operar sobre canales de transmisión que soporten un BER del orden de 10^{-3} (tratándose de una red por conmutación de circuitos), o un FER del orden de 10^{-2} (para una red por conmutación de paquetes).
- El servicio debe ser capaz de negociar dinámicamente los parámetros del streaming, como lo son las tasas de transmisión durante cada sesión, de manera que se adapte a las necesidades de los usuarios y/o a las condiciones operacionales de los canales de transmisión.

¹²⁴ ASF (Advanced Streaming Format).

¹²⁵ SMIL (Synchronized Multimedia Integration Language).

4.4.4 Broadcast y multicast

El servicio de difusión Broadcast es definido como el envío de información a un grupo de usuarios teniendo en común una cierta localización. Este servicio se puede utilizar para informar condiciones de tráfico, alertas ambientales, etc.

El servicio de difusión Multicast se define como el envío de información a un grupo determinado de usuarios teniendo en común características específicas como lo puede ser el pertenecer a una empresa o el estar en un grupo de amigos que cuenten con este servicio. La difusión Multicast se puede utilizar para publicidad enfocada a mercados ya definidos. Dichos grupos o mercados pueden ser públicos o privados. Si el grupo es privado, se necesita que el administrador del grupo adhiera miembros a éste; en cambio, si el grupo es público, cualquier usuario puede inscribirse al mismo siempre y cuando su Handset permita la recepción de mensajes Multicast.

Los servicios de Broadcast y Multicast fueron creados con el propósito de optimizar el uso de los recursos de la red cuando se manda la misma información a varios usuarios. El tipo de información utilizada puede ser cualquier tipo de datos (además de audio), incluyendo multimedia y/o streaming.

Cuando se trata de la difusión Broadcast, es posible transmitir diferentes servicios en una cierta área, o proporcionar un servicio en diferentes áreas. La calidad de servicio para cada Broadcast puede ser elegida, dependiendo del servicio que se vaya a dar o del área en la que se va a transmitir. Además, se debe continuar con la transmisión incluso si se realiza un handover. Otra cosa importante es que el usuario puede o no permitir la recepción o cancelación de uno o varios servicios simultáneos de este tipo.

Si se considera la difusión Multicast, también se podrían brindar diferentes servicios en una zona, o un servicio para ciertas áreas. Cabe señalar que el tamaño de dichas áreas puede ser menor a las zonas de cobertura de cada célula, debido a la existencia de una congestión de tráfico y/o al agotamiento de los recursos de radiocomunicaciones de la red.

4.5 GPS

Actualmente, los servicios de posicionamiento se han convertido en una herramienta importante sobre todo para proporcionar servicios de seguridad. La exactitud que se ha logrado con este tipo de servicios ha venido incrementándose día a día. Generalmente el GPS ha sido utilizado en su mayor parte por las grandes empresas que pueden pagarlo. Sin embargo, ya existen soluciones para proporcionar el servicio de posicionamiento a través de redes celulares. Una de estas soluciones es GPSONe, desarrollada por Qualcomm.

Tradicionalmente los servicios inalámbricos de posicionamiento siguen dos métodos, uno de ellos se basa en servicios por red y otro da servicio directo por el Handset.

El servicio de posicionamiento basado en el Handset utiliza las bondades del GPS (Global Positioning System), haciendo uso de los 24 satélites y sus respectivas estaciones terrestres. Para localizar un objeto, se realiza una medición desde tres satélites para que de

esta manera el receptor pueda triangular su posición de acuerdo a las señales recibidas por los mismos. La desventaja de este método es la indisponibilidad que se tiene en áreas con obstrucciones físicas, como lo son edificios, topografía, etc. Además, resulta un poco cara su utilización.

Los servicios basados en la red celular utilizan señales que se transmiten desde la MS (Mobile Station) hacia múltiples estaciones base, localizando así la posición de los objetos. El problema es que este método sufre de efecto multitrayectoria, difracción, además de que no se puede tener gran precisión, principalmente en ambientes rurales.

4.5.1 GPSOne

GPSOne es una solución a los servicios de posicionamiento ideada por Qualcomm. GPSOne hace una fusión de los dos métodos anteriores, por lo que logra proporcionar servicios de posicionamiento tanto en ambientes rurales, como en urbanos, ya que no importa que existan pocas estaciones base u obstáculos físicos que impidan al usuario comunicarse con los satélites. GPSOne colecta información tanto de la constelación satelital GPS como de la red celular y la manda a una Entidad de determinación de Posición llamada PDE (Position Determination Entity) que se encuentra localizada en la red. De esta manera, se obtienen mediciones que pueden localizar posiciones en 3D con alta precisión. Por otra parte, se tiene una sensibilidad de 20 dB mayor a la proporcionada por el servicio GPS tradicional.

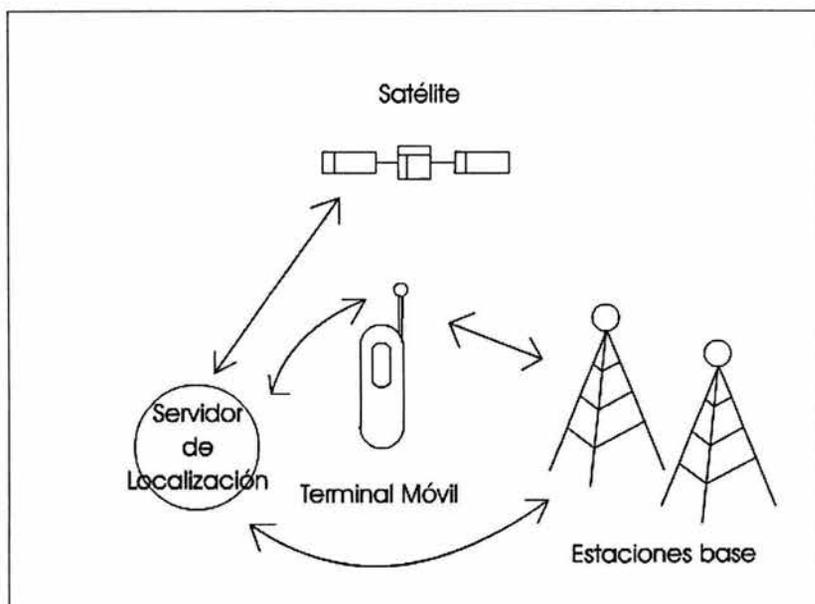


Figura 4.5.1. Estructura del servicio GPSOne.

Si el PDE se coloca en la estación base, se logran varias ventajas, y algunas de ellas tienen que ver con la reducción de los procesos de señalización existentes entre la estación base y el centro de conmutación, mejoras en el tiempo de disponibilidad del servicio, soporte de todo tipo de tecnologías de radiolocalización, además de que permite la transferencia de información de localización aunque se haya empezado una llamada.

Las modificaciones que debe contener el Handset para poderse comunicar al sistema GPSOne son relativamente simples, ya que no se necesitan realizar grandes cambios en las redes celulares con tecnología CDMA. Únicamente se necesita implementar un chipset de la serie MSMTM (Mobile Station ModemTM) de Qualcomm para poderse comunicar con el sistema GPSOne. No obstante, el sistema GPSOne puede también implementarse en redes celulares basadas en GSM.

Adicionalmente, es importante mencionar que todos estos servicios pueden ser utilizados con otros dispositivos como PDAs, por lo que se logra tener una interactividad no sólo entre handsets, sino entre otros dispositivos que pueden emplear otro tipo de redes inalámbricas o alámbricas.

Actualmente en países como Korea, el servicio de posicionamiento ha tenido gran aceptación al proveer servicios de emergencia, localizadores de niños y familiares adultos, mapas detallados, localizadores de direcciones, etc., entre muchas otras aplicaciones.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*

Capítulo



.....
Ejemplo de desarrollo de
aplicación para tercera
generación de telefonía
móvil (CDMA)

5.1 Plataforma (BREWTM): Binary Runtime Environment for Wireless

Actualmente existen varias plataformas que permiten ejecutar aplicaciones o servicios en un dispositivo móvil. Entre ellas, destaca la plataforma J2ME (Java 2 Micro Edition) de Sun Microsystems y la plataforma BREWTM de Qualcomm.

Debido a que uno de los objetivos planteados al inicio de la presente tesis tiene que ver con el hecho de aprovechar la participación de los autores de la misma dentro del Laboratorio de Desarrollo de Aplicaciones Avanzadas de Telefonía Celular que estableció la Facultad de Ingeniería de la UNAM (a través de su Departamento de Telecomunicaciones) junto con la empresa transnacional Qualcomm Incorporated, a continuación se presentará más a fondo la plataforma propia de dicha compañía, describiendo primeramente las ventajas y desventajas que presenta para poder desarrollar en ella servicios en las redes de tercera generación, que por sus tasas de transmisión ya mencionadas, caen dentro de la categoría de banda ancha.

Cabe señalar que aunque muchas fuentes de información consideran a las dos plataformas como competencia directa una de la otra, la realidad es que BREWTM es una solución que soporta múltiples lenguajes de programación, dentro de los cuales se incluye Java, C/C++, Flash y XML.

Básicamente, BREWTM es una solución que conjunta elementos tanto técnicos como de negocios con el único fin de satisfacer todas las necesidades que los desarrolladores de aplicaciones inalámbricas pudieran llegar a tener. Así pues, las aplicaciones populares J2ME o “midlets”, son un tipo de aplicación que BREWTM puede manejar por medio de una extensión de software que los mismos fabricantes de handsets pueden precargar en sus dispositivos o que se puede descargar posteriormente gracias al sistema de distribución BREW (BDS¹²⁵).

Con BREW, los operadores o carriers no solamente obtienen un lenguaje de programación, sino toda una opción que resulta abierta y flexible para la selección, despliegue y tarificación de múltiples servicios inalámbricos. Dentro de las funcionalidades que ofrece, se tiene el kit de desarrollo de software (SDK), para la creación de aplicaciones, y el sistema de distribución que controla el operador, es decir, BREWTM ya cuenta con un sistema para los procesos de descarga, tarificación y pago de servicios que el proveedor de telefonía celular no tendrá que implementar independientemente. De esta manera, lo que se espera es que la arquitectura de BREWTM permita a los desarrolladores crear aplicaciones rápidamente, para que los operadores puedan ofrecer con facilidad cualquier tipo de servicio que sus clientes requieran o demanden.

5.1.1 El software cliente de BREWTM (BREWTM Client Software)

El software cliente de BREWTM tiene la función de servir como un común denominador abarcando todos los tipos de dispositivos, desde las unidades más económicas enfocadas al

¹²⁵ BREW Distribution System

mercado masivo, hasta los altamente avanzados smartphones. Este software es un ambiente abierto basado en un lenguaje de programación universalmente aceptado: C/C++, el cual puede ser empleado conjuntamente con otras aplicaciones y elementos de software residentes en el teléfono, ya que el cliente BREW™ puede actuar como una plataforma extendida para otros ambientes (como las Virtual Machines), además de permitir cualquier tipo de navegador (HTML, WAP, cHTML, etc.) para ejecutarse en BREW™ como una aplicación más.

Un punto importante es que la flexibilidad de BREW™ se proporciona por medio de extensiones de software que le permiten soportar tecnologías que vayan surgiendo, así como las que ya se encuentran actualmente establecidas (Ver figura 5.1.1).

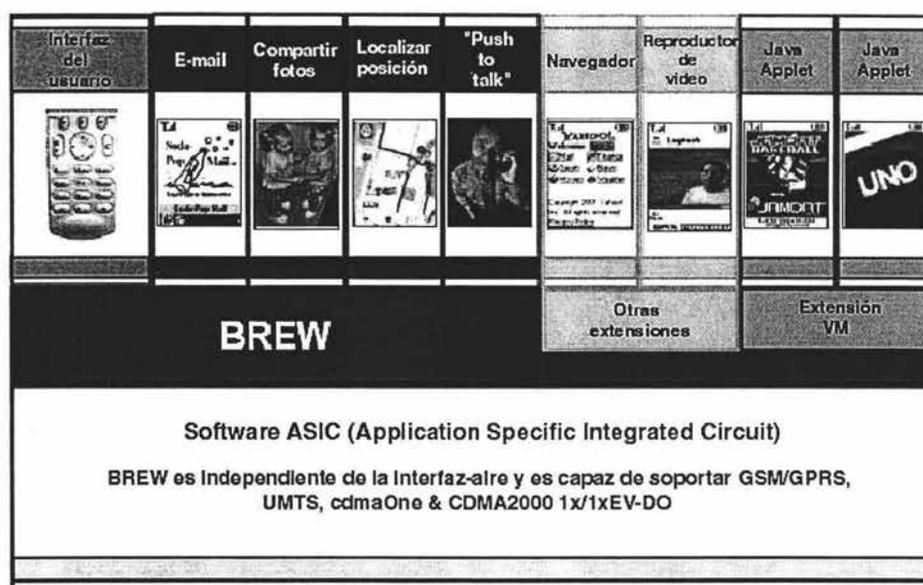


Figura 5.1.1. Arquitectura de un dispositivo BREW™

Otra de las cualidades de la plataforma BREW™ es que utiliza muy poca memoria y se integra de manera estrecha con el software del chip del sistema con el propósito de añadir la funcionalidad necesaria para las descargas OTA (over-the-air) y la administración de aplicaciones. En cuanto al soporte de la máquina virtual compatible con los MIDPs¹²⁶ de J2ME, se sabe que estos requieren de una considerable cantidad de memoria con o sin BREW™, por lo que el dispositivo en el que se desee emplear debe contar con la memoria suficiente para poder ejecutarla.

Asimismo, BREW™ cuenta con una tienda móvil virtual para la compra y administración de aplicaciones que tiene una interfaz diseñada con el objetivo de ser amigable para el usuario (user friendly), lo cual facilita la búsqueda y compra de servicios y

¹²⁶ Mobile Information Device Profile

aplicaciones directamente en el handset, sin importar el lenguaje de programación que se haya seleccionado, es decir, tomando en cuenta la versatilidad de BREW™ sobre los lenguajes que soporta para hacer desarrollos compatibles (ver figura 5.1.2). Lo anterior se hizo con la consideración de que al tener sistemas separados de compra como el navegador WAP, el ambiente Java o el de mensajes, el usuario podría quedar confundido en cierto sentido, haciendo que la compra de servicios le resultara un proceso complicado y que por lo tanto optara por no consumir.

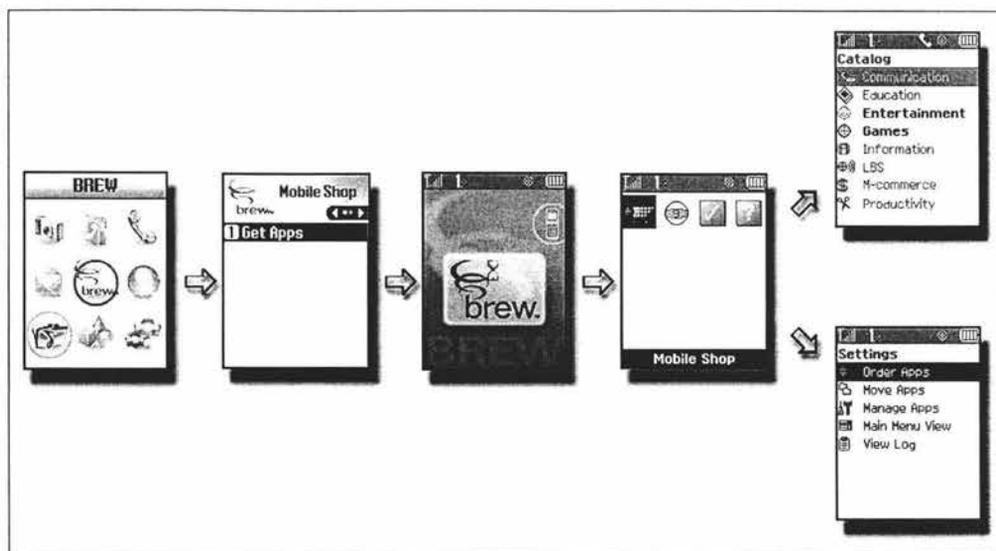


Figura 5.1.2. Tienda móvil de BREW™ (BREW™'s MobileShop)

Con la tienda virtual, el suscriptor únicamente tiene acceso al catálogo de aplicaciones disponibles en ese momento para el teléfono con el que desea realizar la compra, por lo que BREW™ resuelve de manera efectiva la búsqueda, compra, descarga, tarificación y demás retos que una solución de este tipo requiere. Así pues, todo lo que tiene que hacer el operador es seleccionar los servicios o aplicaciones que desea agregar a su catálogo para posteriormente ofrecer dichas opciones a sus clientes.

5.1.2 El sistema de distribución BREW™

Como se puede deducir de lo expuesto anteriormente, el sistema de distribución BREW™ (BDS) resulta un elemento clave dentro de las características de esta plataforma inalámbrica. En concreto, el BDS es un ambiente para la transmisión y tarificación de servicios de datos inalámbricos que permite a los carriers ofrecer rápidamente a sus usuarios diversas aplicaciones directamente en los dispositivos móviles.

El diagrama mostrado en la figura 5.1.3 presenta un panorama general acerca del flujo de operaciones que se llevan a cabo dentro del proceso del BDS. En la figura 5.1.4 se aprecia el flujo de la distribución en término de varios de los componentes del BDS.

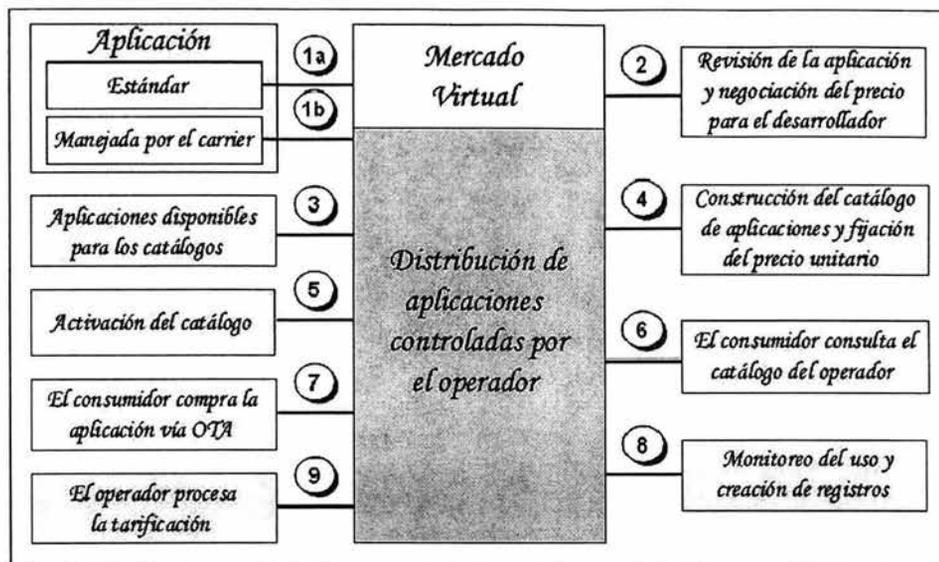


Figura 5.1.3. Flujo de operaciones clave dentro del BDS

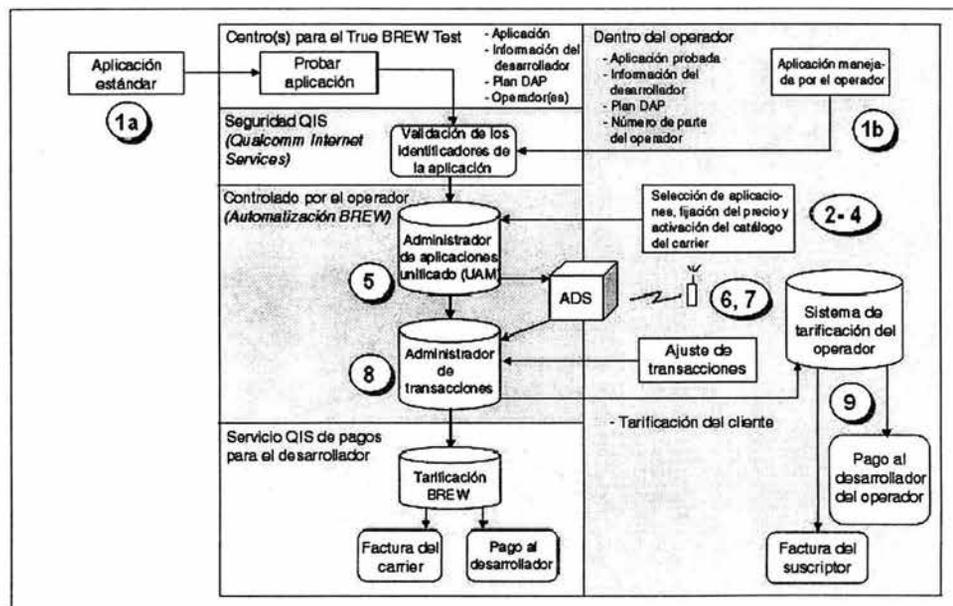


Figura 5.1.4. Funcionamiento del BDS

De igual manera, en las figuras 5.1.3 y 5.1.4 se muestran los pasos del ciclo de vida de una aplicación BREW™. A continuación se describirán más a detalle cada uno de estos pasos, así como sus correspondientes componentes.

5.1.2.1 Proposición de la aplicación (pasos 1a y 1b)

Una aplicación (estándar o manejada por el carrier) debe ser propuesta a través de una interfaz Web segura, para posteriormente ser procesada y almacenada en una especie de depósito llamado Administrador de Aplicaciones Unificado (UAM¹²⁷)

El UAM tiene la función de establecer un mercado virtual para la adquisición de aplicaciones. Dentro de él, los desarrolladores (a través de su Extranet BREWTM) tienen la posibilidad de ofrecer sus aplicaciones inalámbricas a los operadores. Así también, los operadores cuentan con una Extranet por la cual pueden negociar el costo de las aplicaciones dentro del UAM.

5.1.2.2 Negociación virtual (pasos 2 y 3)

Después de que una aplicación estándar es procesada por el UAM, el desarrollador tiene la posibilidad de crear un plan de cobro para el carrier¹²⁸. Una vez que el plan de cobro se ha establecido, la aplicación se vuelve disponible para que el operador o los operadores interesados puedan descargar una versión para probarla, y en caso de que la consideren apropiada de acuerdo a sus necesidades, inicien la negociación del plan directamente con el desarrollador.

No obstante, vale la pena destacar que aunque el UAM almacena el plan de cobro de la aplicación de un desarrollador, lo cual incluye lo que se conoce como el DAP¹²⁹, únicamente éste último es capaz de hacerle modificaciones al mismo. Generalmente las alteraciones al plan que realiza el desarrollador se dan como consecuencia de las negociaciones establecidas con el propio proveedor inalámbrico interesado.

5.1.2.3 Creación/edición del catálogo (paso 4)

El catálogo de un operador es una estructura jerárquica de categorías que contienen varias aplicaciones o servicios. Es responsabilidad del proveedor administrar dichas categorías y seleccionar las aplicaciones ofrecidas en su catálogo (para llevar a cabo la administración de éste, los operadores pueden acceder a la Extranet BREWTM). Algo importante a considerar es que el carrier tiene el control del precio de renta unitario que se presenta a sus suscriptores, pero no puede cambiar el plan de cobro del desarrollador. Asimismo, los catálogos pueden soportar el uso de lenguajes múltiples y tipos de moneda diferentes (dólares, pesos, yenes, etc.)

5.1.2.4 Activación del catálogo (paso 5)

Una vez que se completa la edición del catálogo, el operador tiene la posibilidad de establecer un tiempo o una fecha específica para activar el mismo en la granja de servidores

¹²⁷ Unified Application Manager

¹²⁸ La aplicación se puede cobrar de varias maneras: por probar una versión demo, por tiempo de utilización, por número de usos, por uso ilimitado, etc.

¹²⁹ Developer Application Price: Precio de la aplicación del desarrollador

ADS. Sin importar el punto anterior, solamente un catálogo puede estar activo en una granja de ADSs en un momento dado.

La granja de servidores ADS consiste en un conjunto de varios servidores pequeños empleados para suministrar las aplicaciones a los suscriptores de una manera segura. De igual manera, los ADS guardan y transmiten las transacciones de compra al TXN¹³⁰.

El número de servidores en una granja puede variar de acuerdo a los requerimientos de disponibilidad del carrier y pueden ser añadidos y removidos sin necesidad de interrumpir en ningún momento las descargas de los servicios OTA para los suscriptores.

5.1.2.5 Compra de la aplicación vía OTA (pasos 6 y 7)

Un usuario móvil puede tener acceso al catálogo activado en la granja de servidores ADS a través del software cliente de BREWTM ya descrito. Cada uno de los operadores puede darle a la experiencia de usar la tienda móvil virtual un nombre o una marca distintiva, como ya lo ha hecho Verizon Wireless en Estados Unidos con su servicio “Get It Now” o Bellsouth Colombia con su Bellsouth Interactivo (ver figura 5.1.5).

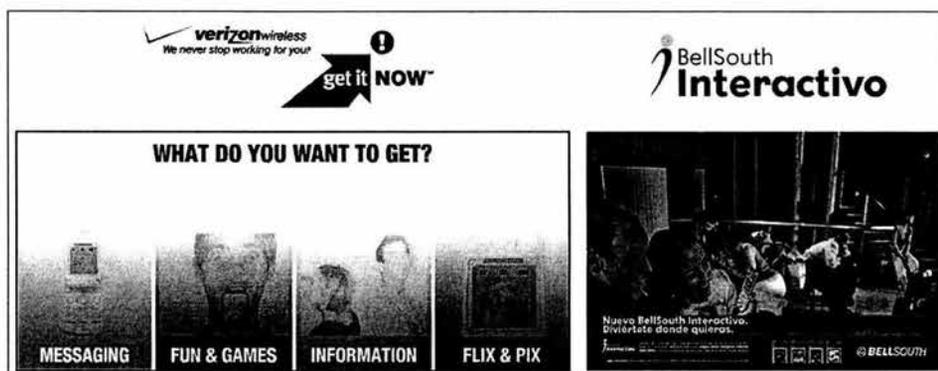


Figura 5.1.5. Marcas distintivas de servicios basados en la plataforma BREWTM

En caso de que un suscriptor decida descargar una aplicación, se desplegará un aviso de confirmación donde se le indicará los tipos de cobros disponibles (de acuerdo al plan de cobros del desarrollador) y el cargo que le generaría cada uno de ellos. Cuando se realiza la confirmación, la aplicación se descarga vía OTA desde el ADS.

Si la descarga se efectúa exitosamente y los archivos obtenidos son verificados correctamente, se le informará al ADS inmediatamente para poder enviar los eventos de la transacción al administrador de transacciones (TXN). Con el objetivo de ahorrarle cargos extra de tiempo aire innecesarios al consumidor, si se desea obtener una extensión en la

¹³⁰ El TXN (Transaction Manager) se encarga de monitorear y registrar la información para la tarificación. El operador tiene la opción de usar el TXN maestro (MTXN: Master TXN) localizado en el centro de datos BREW o instalar su propio TXN (llamado en este caso CTXN) para colocarlo en su red de servidores ADS.

licencia de una aplicación, ésta no se necesitará descargar e instalar nuevamente (solamente la licencia será actualizada).

5.1.2.6 Creación de registros de uso y exportación a los sistemas de tarificación (pasos 8 y 9)

El TXN procesa los eventos del teléfono recolectados por los ADSs y convierte cada registro en una valiosa fuente de información acerca del uso del mismo (como el ID del suscriptor, el tiempo de descarga, el tipo de evento, el nombre del desarrollador, el DAP y el precio de renta unitario). Los registros del TXN son posteriormente enviados al operador periódicamente y usados por los servicios de tarificación BREW™ para poder retribuirle al desarrollador su participación. Este último punto es crítico, ya que todos los aspectos financieros relacionados con BREW™, el desarrollador y el operador se basan en estos registros.

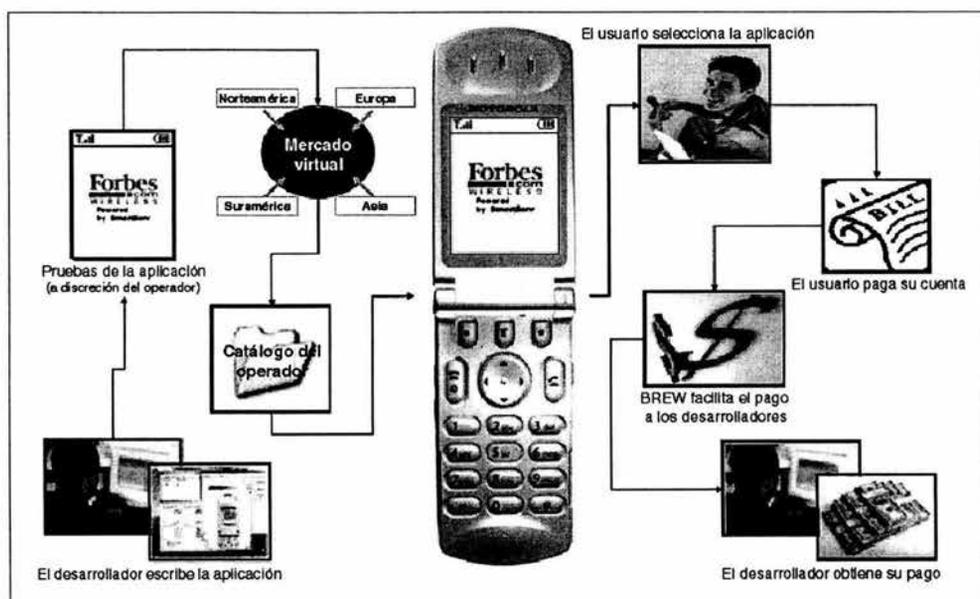


Figura 5.1.6. Modelo de negocios integrado de BREW™

5.1.3 El True BREW™ Test

Para poder verificar que una aplicación se encuentra lista para salir a la venta al mercado, ésta debe pasar por una serie de pruebas críticas de funcionamiento y funcionalidad que Qualcomm denomina como el True BREW™ Test.

Vale la pena mencionar que las pruebas de compatibilidad se llevan a cabo dentro de laboratorios de terceros con los que Qualcomm tiene acuerdos. La cantidad y tipo de pruebas que se realizan varían de aplicación en aplicación, pero en general abarcan lo siguiente:

- La forma en que la aplicación interactúa con la funcionalidad del núcleo del teléfono. Por ejemplo, el manejo de situaciones como un mensaje instantáneo u otras alertas que se puedan suscitar en el dispositivo cuando el usuario se encuentra en otra aplicación.
- La estabilidad del núcleo de la aplicación con el tiempo. Una gran cantidad de eventos se enviarán a cola de eventos para ver cómo son procesados por la aplicación y así detectar en dado caso alguna inestabilidad (por ejemplo por problemas de memoria).
- Un conjunto de pruebas estándar para cada una de las áreas de funcionalidad BREW™ usadas por la aplicación. Por ejemplo, se empleará una prueba del sistema de archivos estándar si la aplicación realiza llamadas a archivos. De manera similar, si una aplicación utiliza llamadas de red, se harán pruebas estándares de este tipo.
- Cualquier requerimiento específico de “look and feel” solicitado por un carrier al desarrollador.
- Interacción con los accesorios propuestos.
- Compatibilidad con el(los) dispositivo(s) para el cual está enfocada la aplicación.

Una vez que la aplicación en cuestión pasa exitosamente todas las pruebas a las que es sometida, ésta recibe el estatus de aplicación True BREW™ Certified, con lo cual puede ser ofrecida a los operadores con la garantía de que no realizará operaciones no esperadas que puedan poner en peligro las demás funciones del teléfono.

5.1.4 BREW™ vs. J2ME

No obstante que ya se mencionó el hecho de que Qualcomm no desarrolló BREW™ con la intención de competir directamente con J2ME, los operadores generalmente optan por usar una de las dos plataformas, por lo que a continuación se presenta un resumen de las ventajas y desventajas que se presentan al querer implementarlas.

5.1.4.1 Ventajas de BREW™

- Se enfoca para ser un ambiente que igualmente ejecuta aplicaciones pequeñas y ligeras, así como desarrollos complejos.
- Permite al desarrollador escribir la aplicación una sola vez. La aplicación correrá en todos los teléfonos compatibles sin ningún cambio esencial en el código.
- A diferencia de Java, BREW™ cuenta con un sistema de distribución y tarificación. Los usuarios pueden descargar las aplicaciones a sus teléfonos de una manera amigable al usar la “tienda móvil virtual” y además serán capaces de borrar aquellas

que no necesiten para ahorrar espacio en memoria.

- BREW™ dará oportunidad de entrar al mercado con sus creaciones a los desarrolladores de corporaciones tanto grandes como pequeñas.
- Funciona generalmente bajo CDMA aunque no es exclusivo. CDMA es la tecnología base para los dos estándares más prometedores de tercera generación: CDMA2000 y W-CDMA.
- BREW™ se ejecuta igual de bien tanto en unidades económicas como en las Premium o modelos de lujo.
- Con BREW™ un desarrollador puede realizar una aplicación y entrar al catálogo de un proveedor(es) determinado(s) sin tener que establecer una relación previa con él (ellos) ya que únicamente necesita tenerla con Qualcomm.
- El modelo de repartición de ganancias es atractivo tanto para los desarrolladores como para los carriers (80% por ciento para los desarrolladores y 20% para Qualcomm y el carrier). El tiempo aire generado por las aplicaciones sería íntegro para el proveedor inalámbrico.
- Se pueden generar aplicaciones exclusivas y específicas para empresas.
- Qualcomm certifica la funcionalidad de cada una de las aplicaciones, evitando asimismo problemas con virus.
- Un usuario puede comprar varias aplicaciones sin que todas al mismo tiempo residan en el teléfono.
- Existe una herramienta que permite correr aplicaciones J2ME y de otros lenguajes en ambiente BREW™.
- Es una opción real ante Java, ya que puede coexistir con él en los handsets.

5.1.4.2 Ventajas de J2ME

- Es una versión de Java especialmente diseñada para unidades móviles que actualmente cuenta con gran popularidad a nivel mundial.
- Lleva ya una delantera en el mercado debido a que salió inicialmente.
- Se dice que es relativamente más fácil de programar que BREW™.
- Mayor cantidad de teléfonos compatibles con Java (compañías como Nokia, Motorola, Symbian, Ericsson, J-Phone, NEC, Siemens, RIM y Sony soportan Java ampliamente).

- Sun Microsystems afirma que Java no es únicamente un producto más de su compañía, sino que por su popularidad está cerca de convertirse en un estándar de facto de la industria.
- Hay gran cantidad de desarrolladores trabajando en aplicaciones Java.
- Java autentifica las aplicaciones línea por línea para evitar problemas de virus o gusanos.

5.1.4.3 Desventajas de BREW™

- Salió después que J2ME.
- Sus detractores afirman que debido a que actualmente CDMA como tecnología tiene una menor cantidad de usuarios que GSM/GPRS, sería difícil que BREW™ lograra una gran penetración en el mercado.
- No se espera que fabricantes como Nokia lo adapten a sus teléfonos.
- A los carriers podría no agradecerles el tener que compartir su 20% de ganancias con Qualcomm.
- La dependencia con Qualcomm para el lanzamiento de una aplicación puede desalentar a los proveedores del servicio inalámbrico.

5.1.4.4 Desventajas de J2ME

- No cumple cabalmente su promesa inicial: “Write once, run everywhere”.
- Las aplicaciones Java requieren de una mayor cantidad de recursos (memoria y CPU) que BREW™, lo cual hace que las unidades compatibles sean más costosas, enfocándose así a un mercado menor.
- El carrier necesita un sistema de tarificación y distribución que debe ser seleccionado e implementado por él mismo.

La siguiente tabla tiene la finalidad de subrayar algunos de los puntos arriba mencionados:

Plataforma	Requerimientos de hardware	Portabilidad del código	Sistema de tarificación incluido	Compatible con 3G	Compatible con GSM
BREW™	Bajos	Mayor	Si	Si	Si
J2ME	Altos	Menor	No	Si	Si

Figura 5.1.1. Tabla comparativa

5.2 Manejo de contenido

Con el objetivo de desarrollar un servicio de tercera generación por medio de una aplicación basada en la plataforma BREW™, inicialmente es necesario conocer y manejar las ventajas y desventajas que proporciona dicho lenguaje para poder manipular contenido multimedia, es decir, el manejo del contenido es de importancia fundamental si se desean aprovechar eficientemente las altas tasas de transmisión que permite la tercera generación de telefonía móvil.

A continuación se describirán algunos puntos a considerar en la implementación de una aplicación multimedia en la plataforma BREW™, acompañados también de diversos ejemplos que hemos desarrollado trabajando en el laboratorio de aplicaciones avanzadas para telefonía celular dentro del proyecto UNAM-Qualcomm, por lo que vale la pena señalar que algunas de las imágenes que se presentarán corresponden a aplicaciones con serias intenciones de ser comercializadas con operadores tanto nacionales como extranjeros, y que fueron desarrolladas como parte del acuerdo entre las entidades arriba mencionadas.

Igualmente, con la idea de ejemplificar más claramente los puntos siguientes, hemos desarrollado una aplicación multimedia de muestra, cuyo alcance no va más allá de servir como un ejemplo de la manera en la que BREW™ trabaja, y de lo que se puede llegar a hacer con él, aprovechando su gran versatilidad, es decir, la aplicación realizada en esta tesis tiene el propósito de mostrar las capacidades multimedia que se pueden realizar en un handset de tercera generación que soporte BREW™. Dicho manejo de multimedia abarca imágenes, animaciones, audio y videos que deben de ser adaptados para su correcta reproducción en la plataforma en cuestión. Es importante recalcar que los formatos de archivos seleccionados dependen de la versión BREW™ utilizada y por otra parte también dependen del teléfono donde se vayan a reproducir, ya que algunos no soportan ciertos tipos de archivos.

Actualmente existen en el mercado varios handsets que soportan BREW™. Uno de ellos es el Audiovox/Toshiba CDM-9500, sobre el cual se desarrolló nuestra aplicación. Aunque no es un teléfono que goce de gran popularidad en el mercado como el Motorola T720, tiene mejores características que éste.

Comparando el Motorola T720 con el CDM-9500, se puede decir que el Motorola T720 tiene menor capacidad, ya que posee una pantalla a color con una resolución de 120x130 pixeles pudiendo manejar 4096 colores (12 bits de profundidad). En lo referente a la memoria RAM, el T720 cuenta con 355 kB y 1.71 MB de memoria Flash para el almacenamiento de aplicaciones.

Por otra parte, el modelo CDM-9500 posee una pantalla a color de matriz activa TFT, la cual maneja una resolución de 144x158 pixeles y soporta una profundidad de 16 bits, por lo que en dicha pantalla se pueden mostrar hasta 65,536 colores. Adicionalmente, cuenta con 447 kB en RAM y alrededor de 2.5 MB de memoria disponible en el sistema de archivos.

Para desarrollar una aplicación, el kit de desarrollo BREW™ SDK cuenta con varias herramientas que ayudan en la elaboración de una aplicación determinada. La herramienta más importante es el emulador, con el cual se puede probar directamente la programación de una aplicación, ahorrando así en tiempo de depuración de ésta, debido a que se prueba directamente en software y no en hardware. El emulador contiene diferentes modelos de teléfonos, así como sus características correspondientes, las cuales pueden ser modificadas para pruebas de trabajo real. Por otra parte, dicho emulador puede actualizarse al descargar los nuevos modelos de teléfonos que vayan saliendo al mercado. Además, cuenta también con opciones para simular llamadas telefónicas y mensajes SMS.

5.2.1 Interfaz

Como es de esperarse, uno de los aspectos esenciales para el éxito de una aplicación tiene que ver con su operabilidad. Debido a esto, se debe tener especial cuidado al diseñar aplicaciones para que éstas resulten lo más fácil posible de usar.

Así pues, al momento de tomar las decisiones que definirán la interfaz de una solución BREW™, es aconsejable tomar en cuenta que existen ciertos métodos, técnicas y recomendaciones que facilitan todos los aspectos de diseño que se requieran manejar.

5.2.1.1 Diseño en la etapa inicial

El proceso que involucra el diseño de la interfaz de usuario comienza después o en paralelo con la definición de las características de funcionalidad de la aplicación. Cualquiera que sea el caso, una planeación cuidadosa en las etapas iniciales del diseño de la interfaz facilita la creación de buenos productos con un alto nivel de operabilidad. De igual manera, esto puede ayudar a reducir el tiempo y el costo invertidos en el diseño de aplicaciones.

Normalmente, la interfaz se inicia con el entendimiento y la identificación de las siguientes particularidades:

- Usuarios a los que va dirigida.
- Tareas que los usuarios necesitan cubrir.
- Tipo de información que será usada en la aplicación.
- Situaciones en las que la aplicación será utilizada.
- Limitaciones técnicas (por ejemplo, la resolución y el tamaño de las pantallas de los teléfonos que estén en la mira del desarrollador).
- Tarifas que podrían afectar el diseño.

Las técnicas comunes para llevar a cabo los puntos anteriores incluyen la realización de entrevistas, creación de documentación, revisión de literatura sobre el tema, grupos de estudio enfocados y generación de “lluvias de ideas”. No obstante que el tiempo de desarrollo es en general limitado, cabe señalar que el emplear parte de éste en la etapa de diseño normalmente ahorra tiempo en las fases consecuentes.

A diferencia de las aplicaciones de escritorio, las aplicaciones BREW™ no tienen mucho espacio de pantalla para trabajar. Por consiguiente, se debe asegurar que el nombre de la aplicación no exceda los límites del display de cada handset en el que se quiera implementar. Qualcomm recomienda que las pruebas se realicen en los dispositivos y que no se confíe plenamente en los emuladores ya que éstos podrían no resultar del todo precisos (por las fuentes empleadas en el emulador). Hay que recordar también que el hecho de seleccionar un nombre que sea atractivo o que les sea significativo a los usuarios es algo que resulta bastante importante.

Aunque no es requisito, la inicialización de la aplicación con una pantalla de presentación que dure algunos segundos puede ser provechosa. La principal función de dicha pantalla es la asociación de la aplicación con una marca, ya que puede incluir el nombre y logotipo de la compañía creadora, sirviendo como identificación y para que el usuario pueda distinguir otras aplicaciones desarrolladas por la misma en un futuro.

5.2.1.2 Pantalla principal

La pantalla que le sigue a la de presentación es la llamada principal o raíz. Esta pantalla puede ser diseñada de muchas y diferentes formas, pero los elementos que usualmente se incluyen en ella son los siguientes:

- Elementos del menú que inician la función de la aplicación.
- La ayuda (o guía del usuario).
- Información del copyright (Acerca de...)
- Opciones o preferencias de configuración.
- Gráficos y sonidos de la marca en caso de necesitarse.

Para poder visualizar el menú de la pantalla principal o de cualquier otra pantalla que se considere, la plataforma BREW™ cuenta las siguientes opciones: menús estándar, menús en forma de lista, menús del tipo *softkey* y menús con íconos (*icon view*).

El menú estándar (figura 5.2.1b) presenta un elemento del menú por cada fila en la pantalla, conteniendo el texto del elemento, así como su ícono si lo utiliza. Para seleccionar los componentes se emplean las teclas de dirección hacia arriba y hacia abajo. El menú en forma de lista (figura 5.2.1c) muestra únicamente el elemento que se encuentra seleccionado en la pantalla (muy útil en aplicaciones en donde el tamaño de la pantalla es

verdaderamente limitado). Este tipo de menú no soporta imágenes o íconos y para navegarlo se emplean las teclas de dirección hacia arriba y hacia abajo. El menú *softkey* (figura 5.2.2a) despliega los componentes en la parte inferior de la pantalla, seleccionándolos con las teclas de dirección a la izquierda y a la derecha (soporta tanto texto como imágenes). El menú tipo *icon view*, es el más gráfico de todos y requiere de un ícono y un texto por cada elemento. En este caso, el texto aparece en la parte inferior de la pantalla y los íconos en la superior, pudiendo navegar los elementos usando todas las teclas de dirección (figura 5.2.2b).

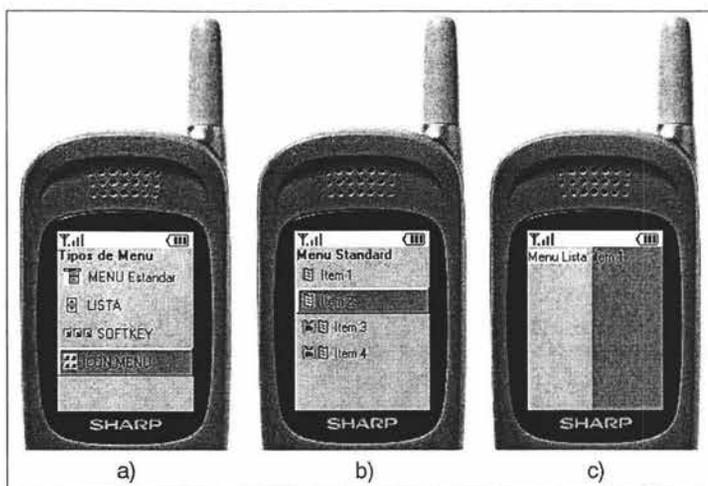


Figura 5.2.1. Ejemplos de los tipos de menú soportados por BREW™.

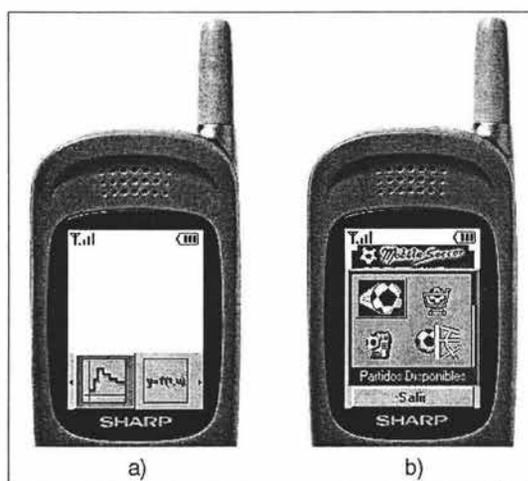


Figura 5.2.2. Ejemplos de los tipos de menú soportados por BREW™ (continuación).

En caso de que la aplicación en cuestión se considere sencilla, es deseable que el menú y todos sus elementos queden dentro de la pantalla principal (ver figura 5.2.3a). De cualquier manera, el menú no tiene que ocupar necesariamente la pantalla completa, por lo que, por ejemplo, para una aplicación como un juego, podría ser conveniente mostrar una secuencia de animación con un menú en lugar de un menú basado únicamente en texto posteriormente a la pantalla de presentación (ver figura 5.2.3b).

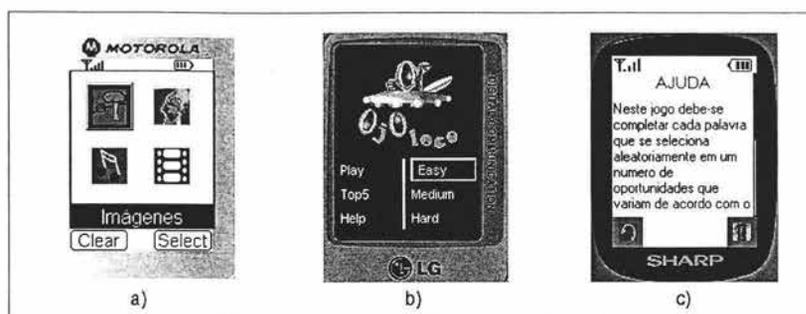


Figura 5.2.3. Menús en la pantalla principal.

En cuanto a la ayuda, las aplicaciones BREW™ que se descargan dinámicamente no pueden incluir una guía de usuario impresa. Por consiguiente, cuando se diseña una aplicación compleja en la que la interfaz del usuario no sea muy sencilla de entender por sí misma, es aconsejable proveer una sección con información para su correcta operación (ver figura 5.2.3c). Qualcomm recomienda que se incluya un enlace a esta información directamente en el menú de la pantalla principal.

Otra información que es importante incluir o desplegar en algún momento en cualquier aplicación BREW™ es la relacionada a la versión de la aplicación (además de la compañía creadora), a la de las condiciones y el estado del uso de la misma y al progreso del sistema en general. La identificación de la versión de la aplicación es especialmente útil si se requiere en algún momento de soporte técnico especializado o para cuando se desea realizar una actualización. Si la licencia de la aplicación expira después de un número determinado de usos o una cantidad específica de tiempo, se debe considerar desplegar el número de veces o tiempo restante para que el suscriptor, en caso de que así lo considere, pueda extender la licencia de utilización (esto depende del plan de cobros del desarrollador).

Idealmente, el tiempo de respuesta de una aplicación debe ser inmediato. Sin embargo, existen varios casos en los que una aplicación no puede reaccionar a un comando tan velozmente como se quisiera. La recomendación en esta situación es mostrar o proporcionar una realimentación visual cuando el usuario deba esperar a que la aplicación termine un proceso, es decir, presentar un mensaje del progreso o estado del sistema indicando qué tipo de acción se está ejecutando en un momento dado.

Un ejemplo de lo anterior podrían ser los eventos que se deben manejar al suspender o resumir una aplicación. Las condiciones más comunes para suspender o resumir una aplicación se enlistan a continuación:

- Advertencia de batería baja.
- Llamada telefónica entrante.
- Mensaje SMS entrante no dirigido a una aplicación BREW™.
- Activación del bloqueo del teclado.

En caso de que una aplicación suspendida inicie el proceso de ser resumida, se considera deseable mostrar una caja de diálogo en la que se le proporcione al usuario la opción de salir o continuar usando la aplicación. De igual manera, el hecho de hacer que la aplicación “recuerde” lo que el suscriptor estaba haciendo cuando el proceso de suspensión comenzó y resumir la aplicación en ese mismo punto puede resultar muy conveniente.

Al contrario de las típicas aplicaciones basadas en navegadores, las soluciones BREW™ pueden aprovechar el almacenamiento local en el dispositivo móvil y así enriquecer la experiencia del usuario. Por ejemplo, en una aplicación de información del tráfico, una cierta ruta puede ser almacenada, de modo que, no se tenga que introducir el nombre de las calles en el menú principal cada vez que se utilice (para esto, hay que ser especialmente cuidadosos en no emplear el reducido espacio de almacenamiento del handset en forma innecesaria).

5.2.1.3 Creación del diseño visual

No es un gran secreto que la apariencia de una aplicación puede resultar determinante para atraer a una gran cantidad de consumidores, por lo que un buen diseño en esta etapa puede ser la diferencia entre una aplicación sin mayor trascendencia y una aplicación exitosa.

Los aspectos a considerar en el diseño visual van desde el tipo de fuentes usadas, los colores y hasta la organización de los elementos en pantalla. Lamentablemente, una de las mayores limitaciones de BREW™ tiene que ver con las fuentes que soporta, ya que únicamente maneja el tipo de letra por default en el teléfono con tres estilos: la normal, la negrita y la grande. De cualquier manera, una opción para enfrentar este problema puede ser la utilización de imágenes que contengan el texto con la fuente y el estilo que se desee, aunque no se debe abusar de este recurso ya que afecta directamente al tamaño final que tendrá la aplicación en su conjunto.

Si se busca que una aplicación se implemente en teléfonos que no manejen la misma profundidad de color, se deben tomar en cuenta las consideraciones pertinentes para que la parte gráfica de la interfaz del usuario sea desplegada con algunos parámetros de legibilidad mínimos (ver figura 5.2.4). La realización de pruebas en la pantalla más grande y la más chica a utilizar es muy importante en este proceso y tiene como objetivo el asegurar una completa operabilidad y que los suscriptores no tengan problemas para continuar con el uso de la aplicación aún cuando cambien de handset.

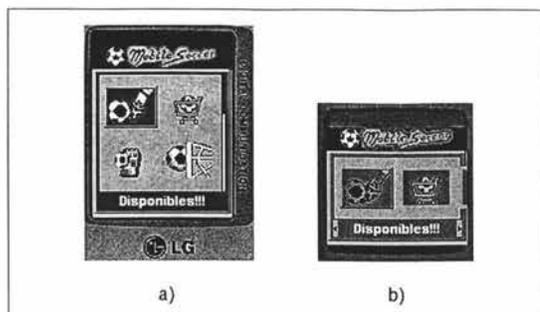


Figura 5.2.4. Aplicación BREW™ en diferentes tipos de pantallas.

Debido a que las pantallas usadas para BREW™ son relativamente pequeñas, es común encontrarse con dificultades para ajustar todos los elementos dentro de los límites de una sola pantalla. Es por esto que la estructuración de la información se vuelve esencial y puede llevar a la necesidad de dividir el contenido complejo de las funciones de una aplicación en algunas secciones significativas para los usuarios. En este punto, lo aconsejable sería tener acceso a consumidores potenciales para preguntarles su opinión, ya que en muchos casos, dichas sugerencias o comentarios suelen ser de gran ayuda y pueden haber sido pasados por alto.

5.2.1.4 Consideraciones internacionales

Para cubrir las necesidades de los usuarios que hablan diferentes idiomas y que provienen de diferentes países y culturas (si se tiene como objetivo cubrir esos mercados), la internacionalización de la aplicación será obligatoria.

La internacionalización se refiere al proceso de diseñar el núcleo de la aplicación tomando en cuenta los requerimientos de los usuarios extranjeros. Como ejemplo, se debe tener cuidado al considerar el ingreso de texto hacia la derecha o a la izquierda, el formato de la fecha empleado (mm/dd/aa, dd/mm/aa), la moneda que se use en caso de realizar transacciones u operaciones financieras, el idioma, etc.

Para el idioma, se debe llevar a cabo la traducción y el reemplazo de los textos, íconos y sonidos de la aplicación requeridos. En general, la diferencia de lenguajes es la razón más común para efectuar la regionalización de los productos de software (figura 5.2.5a y 5.2.5b). Debido a este punto, el diseño empleando el estándar de codificación Unicode, que también soporta BREW™, es la mejor manera de asegurar el correcto despliegue de los caracteres en diferentes regiones.

Asimismo, si una aplicación hace uso de efectos de sonido, se recomienda agregar la opción de desactivarlos, ya que las preferencias en ese sentido pueden variar de cultura en cultura (figura 5.2.5c).



Figura 5.2.5. Internacionalización de aplicaciones

5.2.2 Imágenes y Animaciones

Como es de esperarse, BREW™ puede desplegar en pantalla tanto gráficos como imágenes. Los gráficos están compuestos por figuras geométricas y su ventaja es que requieren de menor memoria para su despliegue. Asimismo, los gráficos se pueden realizar directamente en el teléfono de manera dinámica, por lo que el usuario puede tener la opción de manipularlos y crearlos si la aplicación lo permite. La limitante en este sentido es que los elementos de este estilo resultan ser muy sencillos. Por otra parte, las imágenes que se pueden desplegar en BREW™ deben estar en formato BMP, PNG, JPEG y BCI¹³¹. Es importante mencionar que el uso de dichos formatos está sujeto a la versión BREW™ empleada para el desarrollo de la aplicación, ya que no todas las versiones soportan en su totalidad los formatos anteriores. Por ejemplo, la versión 1.1 únicamente puede desplegar imágenes que se encuentren en formato BMP y BCI, por lo que la calidad y/o eficiencia de las imágenes utilizadas no es la mejor, debido a que un BMP abarca mucho espacio en memoria (se recomienda usar resoluciones de 4, 8 o 12 bits por pixel). Adicionalmente, el BCI se crea a partir de un BMP, por lo que la calidad de la imagen no mejora, aunque sí se reduce el espacio en memoria requerido para su despliegue, debido a que éste maneja compresión.

En lo que se refiere al uso de animaciones, existen dos formas de mostrarlas en el ambiente BREW™. Una de ellas es desplegar secuencialmente imágenes que formen en conjunto una animación determinada. La otra opción es usar el formato BCI que es manejado dentro del kit de desarrollo BREW™ SDK.

Si se utiliza la primera forma, se debe tomar en consideración el hecho de que para que se pueda apreciar bien la animación, las imágenes deben ser desplegadas en las mismas coordenadas de la pantalla. Por otro lado, los formatos pueden ser BMP, JPG y PNG, aunque sin embargo, el uso de éstos, al igual que con las imágenes solas, depende de las características de los handsets en los que se desplieguen y de la versión de BREW™ que sea utilizada, ya que en algunos teléfonos con la versión BREW™ 1.1, sólo se pueden mostrar en pantalla animaciones con imágenes en formato BMP. Si este es el caso, el despliegue de los elementos implica manejar archivos que resultan relativamente grandes

¹³¹ BCI (BREW Compressed Image)

para la memoria que se tiene normalmente en un handset, debido a las características inherentes de dicho formato. Así pues, todo esto repercute en el incremento del tiempo de transmisión de las imágenes y en la velocidad en que éstas son cargadas y desplegadas por el dispositivo, debido al procesamiento que se debe realizar.

Cabe señalar que al utilizar el formato BCI para las imágenes y animaciones se logran los siguientes beneficios:

- 1) A diferencia del formato BMP, el formato BCI maneja compresión, por lo que se reduce el tamaño de los archivos a guardar o desplegar en el handset. Lo anterior repercute en la de velocidad de transferencia que el teléfono requiere para transmitir o recibir los datos y en el tiempo necesario para desplegar los elementos en pantalla.
- 2) El utilizar la herramienta BCI integrada en el BREWTM SDK permite combinar imágenes en formato BCI, PNG y BMP en un solo formato BCI, logrando así la creación de animaciones con fuentes en distintos formatos y comprimiéndolos para tener una mejor eficiencia en el manejo de imágenes dentro del ambiente BREWTM.
- 3) Al crear un BCI, se puede especificar el tiempo de duración de cada frame que conforma la animación (el tiempo de duración se refiere al tiempo en el cual cada imagen es mostrada antes de que sea remplazada por la siguiente). Esto permite crear un archivo BCI conteniendo una animación que será desplegada de la misma manera en cualquier handset que opere en el ambiente BREWTM, siempre y cuando el archivo BCI no sea modificado.
- 4) El reproducir una animación en formato BCI facilita al desarrollador su manipulación en pantalla, debido a que se trabaja con un solo archivo y no con varias imágenes.

No obstante, el empleo de BCI no siempre trae ventajas, puesto que las imágenes que lo conforman deben tener la misma profundidad de color (1, 4, 16 o 24 bits). Si esto no es así, se deben convertir todas las imágenes para que manejen una misma profundidad antes de que sea creado el archivo correspondiente. Además, el manejo de imágenes en formato JPG en la creación del BCI únicamente se puede llevar a cabo en la versión 2.0 del SDK en adelante (la versión 1.x sólo acepta BMPs y PNGs para la elaboración de archivos BCI).

En la aplicación desarrollada en esta tesis, se eligió trabajar con animaciones en formato BCI, debido a que si se trabajaba sólo con el despliegue de una secuencia de imágenes, éstas deberían estar en formato BMP, puesto que la versión BREWTM utilizada es la 1.1. El empleo de BMPs nos obligaba a consumir mucha memoria en el teléfono, por lo que no hubiera sido posible mostrar tantos ejemplos de audio, animación, imágenes, video, etc. en un mismo dispositivo.

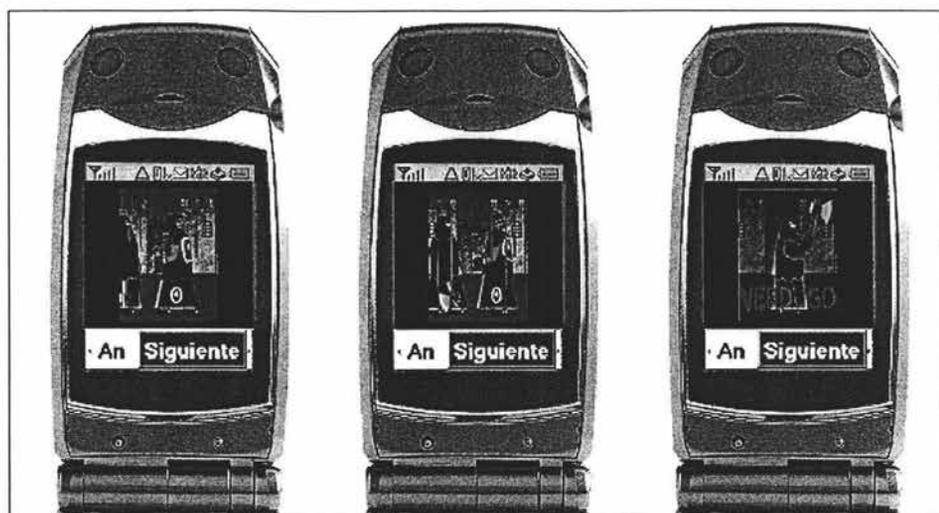


Figura 5.2.6. Escenas de una animación mostrada en la aplicación.

Por otro lado, se consideró igualmente conveniente el empleo del formato BCI en las animaciones de muestra de la aplicación, para que de esta forma se pudieran manejar el tiempo de duración de cada uno de los cuadros que conformaban a las mismas, logrando así una mejor calidad en la reproducción. Lo que se muestra en la figura 5.2.6 son fragmentos de escenas utilizadas en un juego desarrollado en el Laboratorio de Aplicaciones Avanzadas para Telefonía Celular, los cuales requerían del manejo de tiempo individual para cada cuadro (frame) con el objetivo de que se lograra el efecto deseado en los usuarios.

5.2.3 Audio

El empleo del sonido en una aplicación es de gran importancia, debido a que éste es un medio que logra complementar de manera excelente el desempeño y la interfaz del usuario que se haya diseñado previamente. Existen varios tipos de sonidos que pueden ser utilizados en una aplicación, tales como voz, música, efectos de sonido (beeps) y sonidos reales (por ejemplo, el ladrido de un perro).

A continuación se enlistan algunos propósitos en específico para el manejo de sonidos en una aplicación:

- Atracción de la atención de los usuarios. Ésta es una de las funciones más comunes del sonido en una aplicación, en donde se puede hacer uso de beeps y ringers. Planteando una situación de descarga o la evolución de algún otro proceso, si dicho evento tardase más de diez segundos, el usuario podría dejar de ver la pantalla y poner atención en las cosas a su alrededor, por lo que si a la finalización del evento se reproduce un beep, el usuario podría enterarse de que la descarga ha finalizado y así, éste volvería a poner su atención en la aplicación. De igual manera, se puede emplear la vibración del teléfono si es que el usuario lo desea, puesto que en

ocasiones, la emisión de sonidos resulta desagradable, sobre todo cuando el suscriptor se encuentra en eventos sociales que no permiten la distracción de los asistentes.

- Clasificación de información. Un ejemplo de este uso puede ser el empleo de sonidos para clasificar diferentes ringtones a determinados números telefónicos o identificadores de llamadas. Otro ejemplo puede ser el empleo de sonidos para diferenciar entre el uso de botones en alguna aplicación (“anterior, siguiente”). Sin embargo, no se considera recomendable utilizar una gran variedad de sonidos para esta tarea, debido a que es difícil que el usuario común recuerde y asocie todas las funciones o botones con su respectivo sonido, logrando así una ineficiencia en la clasificación sonora de la información.
- Representación de progreso de alguna situación o evento. Un ejemplo de este uso puede ser el empleo de sonidos de graves a agudos para indicar el progreso de algún evento. Esta opción es poco utilizada, debido a que si el evento requiere de mucho tiempo, el sonido puede resultar molesto, además de que el usuario no podría saber con exactitud qué tanto se ha desarrollado la operación, por lo que generalmente se recurre a métodos visuales como el despliegue de una barra de progreso porcentual en la pantalla.
- Mejora del ambiente. Esta opción es utilizada generalmente en los juegos, debido a que con el sonido se puede establecer un determinado ambiente según sea la situación involucrada.
- Establecimiento de identidad con algún objeto o producto. Muchas compañías tienen un sonido distintivo que las identifica. Dicho sonido puede ser alguna melodía que haga que el usuario asocie el nombre de la empresa con algún producto o servicio determinado.
- Representación de datos. Este uso no es muy común; sin embargo, puede ser utilizado para complementar o sustituir la representación de información mostrada visualmente si es que no se tiene espacio suficiente en pantalla para mostrar de manera visual dicha información. Algún ejemplo puede ser el uso de sonido para indicarle al usuario que la aplicación está llegando a su fecha de expiración. No obstante, el empleo de esta opción no es muy aconsejable, debido a que no todos los usuarios podrían entender la razón de la reproducción del sonido, a menos que resultara obvio para ellos.

Asimismo, es recomendable no basar el funcionamiento de la aplicación en la reproducción de sonidos, ya que se pueden presentar ambientes ruidosos en los que el usuario esté imposibilitado para escucharlos e interpretarlos correctamente. Además, se debe tomar en cuenta que existen muchos usuarios que pueden sufrir de problemas auditivos. Cabe señalar que únicamente en el caso de que una aplicación vaya dirigida a personas con problemas visuales, entonces sí sería aconsejable basarla en el empleo de sonidos.

Adicionalmente a la reproducción de beeps y vibraciones, BREWTM soporta un método de codificación de audio desarrollado por Qualcomm llamado QCP¹³², el cual comprime una señal de audio en un formato digital compacto que puede reducir el tamaño y el tiempo de transmisión en un factor de 10 comparándolo con el formato WAV. La extensión de dicho formato es “.qcp”, y la tasa que maneja es de 13 kbps. Así también, BREWTM soporta formatos como MIDI y MP3. Cabe aclarar que el manejo de MP3 depende del teléfono a utilizar, puesto que algunos no lo soportan.

Para obtener el formato QCP se utiliza el convertidor PVC (PureVoice Converter), el cual acepta como entrada un archivo de audio WAV (PCM) en modo mono, con un muestreo de 8 kHz y manejando 16 bits para la codificación.



Figura 5.2.7. Menú de reproducción de audio.

En lo referente al audio manejado en la aplicación presentada para esta tesis, debido a que sólo se puede manejar una sola calidad (16 bits y 8kHz de muestreo en codificación PCM), se realizaron conversiones de audio WAV-QCP de varias melodías que tuvieran características contrastantes. Por ejemplo, una de las melodías utilizadas es totalmente instrumental y otras contienen voces tanto masculinas como femeninas. Asimismo, se utilizaron también melodías en inglés, de tal manera que lográramos obtener una variedad de ejemplos para mostrar las capacidades de reproducción, en cuanto audio se refiere, de un handset de tercera generación como lo es el Audiovox 9500.

Es importante mencionar que se editaron todas las melodías para mejorar el nivel de sonido, la disminución de ruido y cumplir con el muestreo y los bits de codificación requeridos para poder transformar los archivos en QCP. Vale la pena destacar que la edición también incluyó la fragmentación de los temas musicales para tomar sólo algunas

¹³² Este formato es soportado por todos los chipsets MSM (Mobile Station Modem)

secciones, de manera que, lo archivos WAV que sirven como fuente no fueran tan largos y así se redujera el tamaño de los archivos QCP una vez que fueran convertidos. La intención era lograr el almacenamiento de más archivos de muestra en un mismo teléfono sin abarcar tanta memoria.

5.2.4 Video

Como se ha visto, el video es un objeto multimedia que exige gran ancho de banda y procesamiento para su correcta reproducción. Actualmente, la versión BREW™ 3.0 ya puede manejar video en formato MPEG-4. No obstante, en la versión BREW™ 1.1 este formato no puede ser procesado, por lo que en sustitución a dicha situación, Qualcomm ofrece la posibilidad de mostrar escenas de videos por medio del formato BCI, lo que hace que la reproducción de video se reduzca a una presentación de imágenes sucesivas manejando el tiempo de aparición de cada una ellas (las que componen al archivo BCI).

A la reproducción del archivo BCI se le puede agregar una reproducción simultánea de audio, dando así la sensación de reproducción de un video. Sin embargo, lo anterior complica la cuestión referente a la sincronización del audio con la reproducción del archivo BCI, ya que este proceso puede resultar en un efecto no deseado para los usuarios. Por otra parte, la resolución suele no ser muy buena, aunque sin embargo, es aceptable, debido a que teléfonos como el CDM-9500 cuentan con una pantalla TFT que maneja una profundidad de 16 bits. Debido a que no se utiliza un método de compresión tan bueno como el MPEG-4, los archivos que conforman el video resultan de gran peso en cuanto a bytes se refiere.



Figura 5.2.8. Escenas de video utilizado en la aplicación creada.

Otro punto importante que puede limitar la distribución de video es la condición de la red celular por la que se intente distribuir, debido a que aunque en México ya se cuenta con redes CDMA2000 1X que soportan una velocidad máxima de alrededor de 307 kbps, comercialmente o en la práctica real, dicha tasa puede verse disminuida por muchos

factores como lo es la movilidad, lo cual dificulta la distribución en tiempo real o bajo demanda en la versión 1.1.

De cualquier manera, se puede considerar que las redes celulares tendrán que evolucionar a WCDMA o CDMA2000 1X EV-DO, tal como está sucediendo en Asia, por lo que el manejo de multimedia será total, dando así posibilidades de proporcionar servicios de videoconferencia (video en tiempo real) y video bajo demanda, con lo cual, los handsets necesitarán ser capaces de manipular cualquier tipo de formato de objetos multimedia que requieran utilizarse.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*



.....

Conclusiones y comentarios

Una de las principales cuestiones y necesidades que se tienen que considerar para desplegar servicios de banda ancha en telecomunicaciones móviles de Tercera Generación es la necesidad de adoptar la tecnología digital por completo, es decir, no obstante que en la actualidad aún se encuentra en operación el servicio de voz en telefonía celular por medio de tecnología analógica y que algunas unidades o dispositivos móviles ofrecen la operación mutua entre sistemas analógicos y digitales, la implementación de servicios de alta calidad sólo se podrá dar con un tratamiento de señales sofisticado, permitiendo mejoras sustanciales en la transmisión de voz o audio al llevar a cabo su procesamiento mediante filtrado de efectos no deseados como la estática, el ruido de fondo, etc., el uso más eficiente del espectro para dar cabida a un mayor número de usuarios, técnicas de corrección de errores y en general, una gran cantidad de características que sólo la transmisión de información en forma digital podrá permitir. En este punto, se puede pensar que la obsolescencia de las señales analógicas en las comunicaciones inalámbricas será incontenible y que los proveedores de servicio deberán estar conscientes de la necesidad de operar sus redes de forma completamente digital en un futuro cercano si es que desean seguir siendo competitivos en un mercado cuyas preferencias serán dominadas por los servicios de valor agregado proporcionados a sus usuarios.

En la actualidad, tecnologías maduras y con gran presencia en Latinoamérica y Europa como GSM y GPRS, con una tasa de transferencia promedio de 14.4 kbps la primera y una tasa máxima de alrededor de 171.2 kbps la segunda (las velocidades promedio de GPRS en la práctica son de 14.4 kbps en el reverse link y de 28 a 64 kbps en el forward link), se verán limitadas en cierta forma para ofrecer, por ejemplo, servicios de video de cualquier índole a una gran cantidad de suscriptores, por lo que en este caso, las tecnologías de tercera generación serán imprescindibles.

Es en este contexto donde la evolución a 3G con estándares como CDMA2000 o WCDMA toma especial importancia, por lo que un análisis de las características de cada uno de ellos, tomando en cuenta las necesidades y recursos de cada operador, resulta esencial.

Como es sabido, la técnica de acceso al medio más eficiente en el uso del espectro es la que se lleva a cabo mediante la división de códigos (CDMA), con lo que, sin importar si en la actualidad un Carrier opera su red con GSM o GPRS (usando TDMA) o CDMAone (IS-95), la utilización de una variante del estándar CDMA para proporcionar altas tasas de transferencia, y por consiguiente, servicios de banda ancha, será inevitable.

Cabe señalar que el estándar que se espera domine en algunos años el ámbito celular será WCDMA, debido en gran parte a que es una migración más directa para redes GSM que cualquier variante CDMA2000 (tomando en cuenta que GSM es la tecnología de mayor uso a escala mundial, con más de 1000 millones de usuarios).

Hablando más específicamente de los servicios de banda ancha, y de acuerdo al análisis realizado, se puede considerar que el límite inferior para una correcta implementación de algunos servicios de este tipo (de nivel bajo y de nivel medio) serán los 384 kbps. No obstante, es importante tomar en cuenta que de acuerdo a la Unión Internacional de Telecomunicaciones, los servicios de tercera generación comienzan a partir de los 144

kpbs, por lo que con dicha velocidad de transferencia se deberán soportar los servicios de nivel bajo básicos expuestos en el presente trabajo.

La gran relevancia de los servicios de banda ancha recae en el hecho de que se prevé que en alrededor de 10 años o menos éstos jugarán un papel muy importante dentro de las comunicaciones móviles (este aspecto será más perceptible en zonas urbanas o en *hotspots* localizados en grandes ciudades). Sin embargo, la realidad es que en la actualidad existen ciertas dificultades que han contribuido al retraso del despliegue de las redes de acceso a gran velocidad. Dentro de estas dificultades, sobresale la identificación específica de los servicios y aplicaciones potenciales que pudieran generar las ganancias que justifiquen la inversión de los operadores. La solución a esta interrogante podría ser el dejar un poco de lado la insistencia de desarrollar los servicios únicamente desde el punto de vista técnico de las telecomunicaciones o de ingeniería, por lo que consideramos que un buen estudio de mercado influiría positivamente en el desarrollo de una aplicación, ya que de esta forma se tomarían en cuenta las necesidades reales de los usuarios y por consiguiente se tendría una mayor probabilidad de ofrecer servicios que pudieran ser aceptados de una manera exitosa por el público para el que finalmente irían dirigidos.

Otro punto de suma importancia para el despliegue de los servicios de banda ancha es la identificación y dimensionamiento de los parámetros de caracterización. Dentro de estos parámetros se deben incluir los relacionados a las características del tráfico, los requerimientos de la comunicación, los componentes del servicio y los ambientes de operación. La trascendencia de tomar en consideración todos estos parámetros tiene que ver con la Calidad de Servicio (QoS) necesaria para una correcta implementación. Lo anterior debe abarcar cuestiones como la latencia/retraso de la red o la movilidad del usuario que afecta directamente la tasa de transmisión. Por ejemplo, la red deberá ser capaz de ofrecer a los usuarios con movilidad rápida servicios como las guías urbanas para la localización de direcciones, manejo de flotas y carga, servicios de emergencia, datos gráficos para viajes, información del transporte público, periódicos electrónicos, consejos sobre tráfico, televisión de alta definición (HDTV), bibliotecas audiovisuales, vigilancia de propiedades, etc.; los que tengan movilidad lenta servicios como los bancarios, necesidades especiales (de salud), asistencia para reparaciones, interconexión para el diseño asistido por computadora (CAD), videoteléfono de alta definición, etc., y los de movilidad variable ciertas aplicaciones como la teleconsulta y las LANs (WLANs) inalámbricas. Asimismo, dentro de cada uno de los servicios mencionados se tendrán que examinar y advertir características como la dependencia intrínseca del tiempo, los requerimientos de entrega, la direccionalidad, la simetría en la comunicación, la interactividad y el estimado de usuarios potenciales.

Igualmente, es deseable tener lo más claro posible una visión acerca de los probables escenarios de despliegue disponibles, debido a su implicación directa en el análisis del tráfico. Tomando varias fuentes, fue posible identificar los siguientes escenarios: centros de ciudades de negocios, áreas urbanas residenciales, caminos primarios (incluyendo autopistas), vías ferroviarias, zonas comerciales o lugares públicos extensos, oficinas (edificios no residenciales), industrias (plantas o fábricas grandes) y casas (habitaciones en residencias).

Al incorporar la detallada clasificación y los requerimientos de las aplicaciones presentadas en la presente tesis junto con la información disponible sobre las predicciones de crecimiento y penetración en los mercados relacionados a los diferentes escenarios considerados en los artículos consultados, se puede concluir que algunas estimaciones optimistas para los próximos años en los servicios de banda ancha de nivel alto (> 2 Mbps) tendrán que ver con un crecimiento de alrededor de 17% en el mercado residencial y de 25% en el de negocios, como consecuencia de un esperado decrecimiento en los de nivel medio ([384,2000] kbps) de 50 a 42% y a un estancamiento de los de nivel bajo ([144,384] kbps) en su uso de cerca de 33%. De cualquier manera, no se debe pasar por alto el hecho de que las aproximaciones se hicieron con la idea de que se va presentar mundialmente un fenómeno similar al ocurrido en Asia con sus servicios móviles de nueva generación en los años venideros.

En cuanto a los fabricantes de teléfonos se refiere, la evolución de tecnología para manejar mayores tasas de transmisión en las redes de telefonía celular representa un gran reto, sobre todo en la mejora de eficiencia que se debe tener en el hardware (procesador, memoria, pantallas, antena, etc.) y en la elección de un sistema operativo que pueda explotar todos los recursos de sus dispositivos móviles, sin olvidar, claro, la necesidad de alojar y manipular múltiples protocolos y tecnologías para los diferentes tipos de datos multimedia, tales como: MPEG-4, MP3, JPEG, etc. Además, si su objetivo es crecer en el mercado de venta de teléfonos celulares, del cual se esperan ganancias del orden de 994 millones de dólares para el año 2004, los fabricantes deberán manejar tecnologías como voz sobre IP (VoIP), GPS, bluetooth, reconocimiento de escritura y de voz, soporte para tarjetas multimedia MMC, encriptación de información, etc., entre otras.

Una tendencia a seguir en los teléfonos celulares es la de manejar un procesador que esté compuesto de un sistema en un solo chip (SOC), por lo que la arquitectura deberá contar además con un microcontrolador, que preferiblemente sea de arquitectura RISC. En cuanto al DSP a utilizar, se debe considerar al que maneje un rango considerable de funciones por medio de software y un rango mínimo con hardware adicional, para así soportar una mayor flexibilidad dirigida a los diseñadores. Asimismo, el DSP debe soportar la compatibilidad para compilar código C eficientemente, alto desempeño, bajo consumo de energía y densidad de código compacta para llevar su eficiencia al máximo. Por otra parte, los teléfonos 3G deben ser capaces de soportar hasta 3000 MIPS, sin olvidar que deben de reducir su potencia consumida para maximizar la duración de la batería.

Otro punto importante a considerar es el empleo de memoria ROM y RAM. En cuanto a memoria no volátil, puede utilizarse memoria flash, mientras que para la RAM, existen dos posibilidades: la SRAM y la DRAM. La memoria SRAM tiene problemas con la densidad, el consumo de energía, el tiempo de acceso aleatorio (55 ns, el cual es demasiado para los 20 ns requeridos para 3G), el costo y los requerimientos de desempeño de la tercera generación. Por otra parte, la DRAM maneja grandes densidades y tiene un bajo costo, aunque su principal desventaja tiene que ver con la necesidad del establecimiento de un ciclo periódico de reescritura de la memoria para preservar los datos, ya que maneja lectura "destruictiva", lo cual es causante de varios procesos extras para su funcionamiento. Sin embargo, vale la pena destacar que los diseñadores de circuitos integrados DRAM han

hecho invisibles para los diseñadores de sistemas las dificultades intrínsecas que se tienen al manejarla. Por estos motivos, se ha llegado a considerar que podría ser práctico el reflejar toda o una parte de la memoria flash en la DRAM, la cual cuenta con un mayor desempeño para la ejecución de código.

La memoria establecida en los primeros handsets de 3G, como el Motorola T720 con 355 kB en RAM y el CDM-9500 con 447 kB resulta ser superior a la empleada comúnmente por los teléfonos 2G (250 kB), aunque estos dispositivos solamente soportan algunas características de video que pueden ser desplegadas en un rango de 250 kB a 500 kB, puesto que se recomienda que la memoria en teléfonos 3G debe estar entre 500 a 750 kB como mínimo, debido a que llevar a cabo el despliegue y la captura de video, así como la navegación Web, puede llegar a requerir de hasta 2MB en RAM.

Las tareas de optimización en el hardware por parte de los fabricantes de handsets 3G también debe incluir la pantalla, debido a que ésta juega un papel muy importante en la interacción con el usuario. La optimización de la pantalla abarca la reducción de su tamaño físico, lo cual lleva a emplear pantallas TFT LCD utilizando la tecnología p-Si, puesto que ésta hace posible hacerlas más delgadas, permitiendo la reducción del tamaño y peso del handset, elementos que resultan determinantes en los dispositivos móviles. Dicha reducción debe implicar un mejoramiento en la tecnología de fabricación para manejar una menor cantidad de corriente de alimentación, además de incrementar la resolución. Debido a esto, los fabricantes siempre buscarán reducir el tamaño de los transistores para que éstos puedan estar más cercanos entre sí, teniendo como consecuencia el mejoramiento de la resolución de la pantalla buscado, cuidando siempre el precio de fabricación que esto pudiera implicar.

Todas estas optimizaciones son redundantes si no se toma en cuenta al elemento que da la propiedad de “inalámbrico” al handset: la antena. La tendencia de fabricar teléfonos cada vez más pequeños hace que el uso de antenas externas resulte menos conveniente, por lo que últimamente se han incrementado los diseños de antenas internas para que éstas sean lo más pequeñas posibles y que mantengan un cierto nivel de desempeño mínimo.

El factor principal a considerar en las antenas es lograr un patrón de radiación que resulte lo más óptimo posible en un ambiente de movilidad variable (patrón hemisférico, el cual cubre con las necesidades de tener ganancia positiva en el hemisferio de interés), sin descuidar el manejo de la diversidad espacial y de frecuencia que permitan reducir la interferencia e incrementar el manejo de las distintas bandas utilizadas para la telefonía celular, convirtiendo así al handset en un dispositivo capaz de funcionar en cualquier sistema de comunicación móvil.

El objetivo primordial de la optimización de los elementos de hardware en un handset es que el usuario final reciba un teléfono pequeño, ligero, con mayor duración de la batería y que le proporcione los servicios que requiera para desarrollar sus actividades de una manera más eficiente, amigable y efectiva, por lo que los fabricantes deberán aceptar los retos que implica el conjuntar un dispositivo que cumpla con las características anteriores sin descuidar el costo final del producto y el sistema operativo a utilizar para la explotación de todos los recursos implementados.

Hablando de los sistemas operativos utilizados en dispositivos móviles, éstos deben considerar en su diseño aspectos clave como el hecho de que los handsets requieren ser pequeños y móviles, además de que se debe tomar en cuenta que van dirigidos a un mercado masivo que incluye empresas, usuarios profesionales y usuarios consumidores en general. Asimismo, el sistema operativo debe sacar ventaja de que los teléfonos móviles se conectan ocasionalmente (pueden ser utilizados cuando se conectan a la red telefónica inalámbrica, localmente a otros dispositivos o sin la necesidad de establecer conexión alguna). Por otra parte, al diseñar un sistema operativo se debe estar conciente de que los operadores deberán diferenciar sus productos de manera que presenten innovaciones en un mercado de cambios vertiginosos, con lo cual, la plataforma de desarrollo del sistema deberá de estar abierta para permitir tecnología independiente, así como fabricantes de software, de manera que sea posible para terceros desarrollar aplicaciones, tecnologías y servicios.

En cuanto a las herramientas principales para la creación de las nuevas aplicaciones móviles, éstas deberán ser independientes de la plataforma que se maneje, como lo intentan ser J2ME y el ambiente de aplicaciones móviles BREW™ de Qualcomm.

Actualmente, la mayoría de los operadores no están atando sus servicios de próxima generación a un sistema operativo específico, aunque ya se vislumbra a los dos gigantes futuros de este mercado: Symbian y Microsoft. No obstante, en el presente las probabilidades se encuentran a favor de Symbian, debido a que cuenta con un amplio apoyo de la industria móvil, a diferencia de Microsoft. Igualmente, la opción de Linux podría encontrar un buen nicho de mercado debido a que no es un sistema propietario. Considerando al Palm OS, se puede decir que éste tiene un buen potencial de crecimiento, ya que seguramente mantendrá una buena parte del mercado gracias a su fuerte posición dentro de los PDAs.

El reto que tienen los prestadores de servicios de telefonía celular es lograr la evolución a WCDMA o CDMA2000 1X EV-DV, según sea el caso, para proveer un servicio competitivo a sus usuarios que les resulte al mismo tiempo atractivo y de gran utilidad en sus tareas cotidianas. Sin embargo, la tendencia de esta evolución dicta a que se realice de una manera muy lenta (hablando en el contexto Latinoamericano), debido a que no se tienen los recursos óptimos (principalmente monetarios) para efectuar de manera tajante el cambio de tecnología, puesto que podría implicar un cambio en la estructura bastante significativo para proveedores GSM, no así para los proveedores CDMA. Por otra parte, el usuario debería estar dispuesto a pagar el precio de uso de estas tecnologías, además de tener la necesidad generalizada para utilizar los servicios de telefonía celular de tercera generación.

La necesidad de una correcta planeación por parte de los Carriers en cuanto a sus redes se refiere para que éstas no deban ser rediseñadas por completo al realizar la evolución de tecnología pertinente es un punto de gran relevancia, puesto que significaría más gastos en dicha operación. Lo aspectos importantes en la planificación de la red abarcan su diseño y despliegue de una manera óptima tanto del CN como del acceso UTRAN (en UMTS), tomando en cuenta las cantidades de tráfico a manejar en cada zona y sus respectivas consecuencias que repercuten en el CN, las configuraciones de los Nodos-B a utilizarse en

cada región, así como las capacidades de sus interfaces y enlaces para manejar dicho tráfico, sin dejar por desapercibido la posible interacción con redes 2G o 2.5G que requieran estar conectadas al CN a causa de la evolución escalonada que tendrán que sufrir las redes 3G con el objetivo de dar una funcionalidad cada vez más completa a sus suscriptores por medio de diversos servicios, que en la tercera generación deben incluir a los de banda ancha.

Adicionalmente, es de vital importancia el considerar el uso de redundancia tanto en el UTRAN como en el CN, la cual es de mayor trascendencia debido a que la falla éste equivaldría a dejar insatisfechos a un gran número de usuarios, tanto móviles como los que intenten tener acceso a la red UMTS a través de redes externas. También se debe identificar cuáles servicios se deben proveer por medio de conmutación por paquetes o por circuitos para así lograr una optimización en el uso de la red.

La implementación de los Nodos-B y sus configuraciones utilizadas tienen que corresponder a la distribución de población y el cambio geográfico en el entorno que se espera tener en una determinada región. Así también, se deben planear las consecuencias que esto implica al diseñar correctamente el tráfico a manejar por el RNC y su respectivo CN, de tal manera que, si los enlaces son diseñados con una capacidad insuficiente, puede suceder que el RNC y/o el CN se vean limitados por la densidad de información en sus puertos y no por su capacidad de procesamiento. Además, para la planificación de los enlaces se debe tomar en cuenta que la unión de los Nodos-B con el RNC puede realizarse con dispositivos que sean capaces de multiplexar el tráfico, como multiplexores ATM o conmutadores ATM. No obstante, la tendencia es utilizar IP como tecnología de transporte.

Hablando de otros requerimientos, se puede decir que actualmente los institutos de estandarización ya cuentan con los formatos necesarios para tener una comunicación de banda ancha en redes celulares obteniendo servicios que proporcionen gran calidad en cuanto a objetos multimedia se refiere.

Es destacable la manera en que la mayoría de dichos formatos se valen de las imperfecciones de percepción de los sentidos humanos para lograr una gran compresión de la información sin que se note la diferencia con respecto a los archivos que se encuentran originalmente digitalizados.

Formatos como el MPEG-4, JPEG y MP3 ya se han establecido en la industria como tecnologías maduras que dan todas las ventajas que una comunicación inalámbrica requiere para aprovechar mejor el ancho de banda, tales como una gran compresión, excelente definición y fidelidad de video, imágenes y audio, de tal manera que la pérdida de información producida por la reducción en el tamaño de los archivos es prácticamente imperceptible. Además, es importante señalar que dichos formatos poseen métodos de corrección que permiten tener seguridad en la transferencia de los datos, e inclusive, un formato como el MPEG-4 maneja flujos de información que hacen posible la interacción del video con el usuario (selección de idioma, cambio de ángulo de visión, cambio de punto de audición, etc.).

Estas virtudes mezcladas con las grandes tasas de transmisión de las redes de telefonía celular de tercera generación forman una base sólida para proveer servicios tales como broadcast de multimedia, mensajes multimedia, distribución de video bajo demanda, videoconferencia, servicios de localización, etc., entre otros, proporcionando así las mejores condiciones para cada aplicación, es decir, las características de la transmisión de información se adapta al servicio que se desee proporcionar. Por ejemplo, los servicios MMS pueden aceptar mayores retardos debido a que no es necesario que se proporcionen en tiempo real. En cambio, un servicio como el de videoconferencia no puede aceptar grandes retardos y/o errores en la transferencia de información, lo cual implica la necesidad de tener prioridades en la descarga de los datos, además de contar con formatos que proporcionen una gran compresión y seguridad como el MPEG-4, el cual emplea técnicas de codificación que resultan muy eficientes para evitar al máximo los errores en los canales de comunicación inalámbricos.

Asimismo, en servicios de broadcast, multicast, videoconferencia y multimedia bajo demanda, se pueden emplear procesos de streaming, los cuales demandan gran eficiencia en la utilización de los nodos de la red. En cuanto a los servicios de posicionamiento, éstos se han enfocado principalmente al sector de la seguridad, aunque sin embargo, no están limitados sólo a éste debido a la gran precisión en la localización como la que maneja la solución GPSOne, la cual hace una fusión de los servicios prestados por satélites y por las redes celulares para proporcionar un nivel de servicio no importando si éste se desarrolla en ambientes urbanos o rurales.

Así pues, como se ya ha mencionado, hoy en día las plataformas que permiten ejecutar aplicaciones y servicios en un dispositivo móvil que destacan por su popularidad en el mercado son la J2ME de Sun Microsystems y la plataforma BREWTM de Qualcomm. Vale la pena mencionar que aunque ambas soluciones presentan características en común, en general son vistas como competencia directa una de la otra, ya que los operadores normalmente optan por implementar una de las dos.

Como es de esperarse, cada una de las opciones arriba mencionadas tiene ciertas ventajas y desventajas que pueden definir su selección por parte de los Carriers. Dentro de las ventajas de BREWTM, se puede mencionar que ésta solución cuenta ya con un sistema de distribución y tarificación integrado, con lo cual los usuarios son capaces de descargar, almacenar y administrar sus aplicaciones con una interfaz amigable, evitando así procesos más complicados y posiblemente confusos como la utilización múltiple de diversos sistemas de compra (incluyendo el navegador WAP, el ambiente Java o el de mensajes cortos) en un mismo dispositivo. Adicionalmente, es importante resaltar el hecho de que aunque por obvias razones BREWTM fue pensado para funcionar en redes CDMA2000, no es exclusivo de este estándar, ya que ha sido probado con éxito sobre redes GSM y es posible su utilización en redes WCDMA. Las desventajas que hay que considerar van relacionadas con la cuestión de que la mayoría de los usuarios a escala mundial emplea el servicio de comunicación móvil a través de redes GSM, por lo que aunado a la situación de que salió al mercado posteriormente a J2ME, su introducción y popularidad no se ha dado con los niveles que ha alcanzado la plataforma de Sun.

Al contrario de BREW™, los operadores que opten por usar J2ME se verán en la necesidad de implementar un sistema de distribución y tarificación propio, lo cual podría parecer como algo desfavorecedor en cuanto a factores económicos se refiere. No obstante, su mayor punto a favor recae en la gran cantidad de desarrolladores, aplicaciones disponibles y usuarios potenciales que presenta.

Considerando las cuestiones un poco más técnicas, las aplicaciones J2ME generalmente requieren de mayores recursos de hardware, debido a la necesidad de ejecutar la máquina virtual de Java. Por su parte, BREW™ se integra de una manera más directa a la estructura interna de los handsets, haciendo que una misma aplicación se pueda ejecutar igual de bien tanto en una unidad económica como en un modelo de lujo.

Un aspecto importante a resaltar es que las primeras versiones de BREW™ resultan un poco limitadas en cuanto al manejo de multimedia, aunque sin embargo, sí la incorporan través de conversiones a formatos propios que hacen posible su manipulación en aplicaciones inalámbricas.

Versiones más recientes ya pueden manejar de manera directa otros formatos multimedia más estandarizados, cubriendo así todas las necesidades en la provisión de servicios de banda ancha en redes de tercera generación.

En Latinoamérica, la evolución a redes de tercera generación es una realidad, por lo que se deben contar con aplicaciones que satisfagan las necesidades del mercado latino y que compitan de manera internacional, es decir, que se encuentren al nivel de las aplicaciones asiáticas y norteamericanas principalmente, y qué mejor opción que una universidad tan prestigiada como la UNAM con su Facultad de Ingeniería colabore directamente a dicha evolución en México y en toda Latinoamérica, debido a que con este proyecto estudiantil se capacitó a becarios, como nosotros, para elaborar aplicaciones de tercera generación que próximamente se espera estén disponibles en el mercado nacional e internacional.

Con todo lo expuesto anteriormente, podemos concluir que se cumplieron los objetivos planteados al inicio de esta Tesis, ya que nuestro trabajo de investigación nos permitió poner en práctica nuestros conocimientos en ingeniería para poder conocer los requerimientos tecnológicos necesarios para la implementación de servicios de banda ancha en telefonía celular de Tercera Generación. De igual manera, se documentó el trabajo técnico desarrollado en el Laboratorio de Aplicaciones Avanzadas para Telefonía Celular de la Facultad, el cual consistió en el desarrollo de aplicaciones móviles que aprovecharan las ventajas tecnológicas que la Tercera Generación permite. En cuanto al impacto positivo para nuestra institución, cabe destacar que la labor desarrollada en nuestro proyecto ha sido subrayada por medios de comunicación a través de diversos artículos como los publicados por periódicos de circulación nacional como *El Economista* y los portales de Internet *esmás.com* y *yahoo.com*, por mencionar algunos.

Finalmente, vale la pena destacar que no cabe duda que los servicios de banda ancha juegan y jugarán un papel determinante en la sociedad, debido a que cambian el comportamiento de ésta al facilitarles actividades de información, entretenimiento, seguridad y trabajo, entre otras, sin olvidar claro está, que ésta gran gama de opciones trae

como consecuencia un cambio en la visión de nuestro entorno y un incremento laboral en el área de las telecomunicaciones, cuestión que resulta de especial interés para gente como nosotros que busca desarrollarse profesionalmente en dicha área que resulta tan desafiante, pero que a su vez, promete acercarnos cada vez más y como nunca antes al tan anhelado “Don de la ubicuidad”.

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*



Referencias

Bibliografía

1. Tomasi, Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Ed. Pearson. Segunda edición. México, 1996.
2. Stremmer Ferrel, G. Sistemas de Comunicación. Fondo Educativo Interamericano. México, 1985.
3. Haykin, Simon S. Communications Systems. Ed. J. Wiley. Tercera edición. E.U.A., 1994.
4. Rey, Eugenio. Telecomunicaciones móviles. Editorial Alfaomega. México, 1995.
5. Ryberg, Tobias. Mobile Operating Systems. Baskerville Executive Briefing. E.U.A., 2003.
6. Hill, Gregory. Antenna Terms and Definitions. Ethertronics. E.U.A., 2002.
7. Floyd, Thomas L. Electronics Fundamentals. Circuits, devices and applications. Ed. Prentice-Hall. Cuarta edición. E.U.A., 1998.
8. Hewitt, Paul G. Conceptos de Física. Editorial Limusa. Quinta edición. México, 1993.
9. Félix Estrada, Alejandro et. al. Lecciones de Física. Compañía Editorial Continental S. A. de C. V. Vigésimocuarta reimpresión. México, 1992.

Hemerografía

1. Fernando J. Velez et. al. *Mobile Broadband Services: Classification, Characterization and Deployment Scenarios*. Revista IEEE Communications Magazine. Abril, 2002
2. Thomas Brooks et. al. *Communications Core Meets 3G Wireless Handset Challenges*. Revista Wireless Systems Design. Octubre 2002.
3. John Blyler. *Cellular Memory Swaps in the Next Generation*. Revista Wireless Systems Design. Septiembre 2003.
4. Paul OuYang. *Changing the Memory Landscape in 3G Wireless Handsets*. Revista Communication Systems Design. Mayo, 2001.
5. Jorge Varela Dorbecker. *¿Hacia dónde van los teléfonos 3G?*. Revista RED. Edición especial: ABC de las telecomunicaciones.
6. Portelligent. *Cell Phone Teardown Analysis Highlights Handset Business Challenges for 3G Systems*. Comunicado de prensa. Octubre, 2002.

7. Kerry Greer. *Stretching the Limit of Embedded Antenna Design*. Revista Wireless Design and Development. Marzo, 2002
8. Robert McGarvey. *BREW This*. Revista Wireless, Business & Technology. Vol. 1 Num. 8. Octubre, 2001.
9. Qualcomm. *BREWTM and J2METM. A Complete Wireless Solution for Operators Committed to JavaTM*. White Paper. 2003.
10. Qualcomm. *BREWTM Distribution System (BDS) Overview*. White Paper. 2003.
11. Qualcomm. *BREWTM Developer Training Guide*. BREWTM Documentation. 2002.
12. Qualcomm. *BREWTM API Reference*. BREWTM Documentation. 2001.
13. Qualcomm. *BREWTM User Interface Design Guidelines*. BREWTM Documentation. 2002.
14. Qualcomm. *gpsOneTM enhanced by SnapTrackTM*. 2003. Qualcomm Incorporated.
15. Susie J. Wee and John G. Apostolopoulos. *Secure Scalable Video Streaming For Wireless Networks*. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Salt Lake City, Utah, Mayo 2001.
16. Lucent Technologies. *Flexent[®] Radio Network Controller for UMTS*. Brochure number: RNC 02/2003.
17. Lucent Technologies. *Flexent[®] OneBTSTM Base Station family for UMTS*. Brochure number: oneBTS 07/2002.
18. Lucent Technologies. *Flexent[®] Serving GPRS Support Node (SGSN) for UMTS*. Brochure number: SGSN 09/2002
19. Lucent Technologies. *The Flexent[®] Super-Distributed Home Location Register (S-DHLR)*. Brochure number: S-DHLR rev.1 04/2003.
20. Nortel Networks. *Nortel UMTS Internet Base Station (iBTS) Outdoor*. 2003 Nortel Networks 66155.13-072503.
21. Nortel Networks. *Nortel UMTS Internet Base Station (iBTS) Indoor*. 2003 Nortel Networks 66157.13-072503.
22. Nortel Networks. *Nortel UMTS Radio Network Controller (RNC)*. 2003 Nortel Networks 66158.13-072403.

23. Nortel Networks. *Nortel UMTS Internet Base Station (iBTS) Street*. 2003 Nortel Networks 66159.13-072503.
24. Nortel Networks. *Nortel UMTS Internet Base Station (iBTS) Mono*. 2003 Nortel Networks 66184.13-072503.
25. Alcatel. *Evolium™ Mobile Switching Center/High Capacity*. 3CL 00448 0005 TQZZA
26. Alcatel. *Home Location Register & Authentication Center*. 3CL 00406 002 TQZZA.
27. A. B. García, M. Álvarez-Campana, E. Vázquez, J. Berrocal. *Diseño de redes de acceso en sistemas móviles UMTS con soporte de calidad de servicio*. Depto. Ingeniería de Sistemas Telemáticos, Universidad Politécnica de Madrid.
28. G. Stephanopoulos, N. Stylianides, G. Tselikis, M. Dopfer. *Signaling Measurements in 3rd Generation UMTS Core Network*. National Technical University of Athens, 4Plus S.A, SIEMENS ICM.
29. Web ProForum Tutorials. *Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) Tutorial*.
30. Ericsson. *Basic Concepts of WCDMA Radio Access Network*. ©Ericsson Radio Systems AB 2001.
31. H. Ramzi. *UMTS radio access network dimensioning*. Alcatel Telecommunications Review 2001.
32. Kristiaan Venken, Ignacio Gómez Vinagre, Rolf Sigle, José Díaz Cervera. *Enabling network redundancy in the Radio Access Network*. 3G Mobile Communication Technologies. IEEE 2002, Conference Publication No. 489.
33. Ericsson. *Planning of UMTS Core Networks*. Ericsson Research, Traffic Analysis and Network Performance Laboratory. IEEE 2002.
34. G. Clark and Y.K. Ling. *Transport Solutions for 3G Cellular Radio Access Network*. 3G Mobile Communication Technologies. IEEE 2002, Conference Publication No. 489.
35. 3GPP. *Technical Specification Group Services and Systems Aspects; Network architecture*. 3GPP TS 23.002
36. 3GPP. *Technical Specification Group Radio Access Network; UTRAN Overall Description*. 3GPP TS 25.401.

37. Johannes Kneip, Bernd Schmale, Henning Möller, Robert Bosch Gmbl. *Applying and Implementing the MPEG-4*. IEEE.
38. ISO/IEC. *MPEG-4 Overview*. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N4030.
39. 3GPP. *Multimedia Messaging Service*. ARIB STD-T63-22.140.
40. 3GPP. *Multimedia Messaging Service (MMS) Functional description*. ARIB STD-T63-23.140.
41. 3GPP. *Multimedia Broadcast / Multicast Service*. ARIB STD-T63-22.146.
42. 3GPP. *Technical realization of Cell Broadcast Service (CBS)*. ARIB STD-T63-23.041.
43. 3GPP2. *Multimedia Messaging System MMS Specification Overview*. 3GPP2 TSG-X.S0016-000-A.
44. 3GPP2. *Broadcast/Multicast Services*. 3GPP2 TSG-S.R0030.
45. 3GPP2. *File Format for Multimedia Services (FFMS)*. 3GPP2 TSG-S.R0074.
46. 3GPP2. *MMS Functional Description*. 3GPP2 TSG-X.S0016.200.
47. 3GPP2. *Multimedia Messaging Services (MMS) Requirements*. 3GPP2 TSG-S.R0064-0.
48. 3GPP2. *Multimedia Streaming Services*. 3GPP2 TSG-S.R0021.
49. 3GPP2. *Video Conferencing Services*. 3GPP2 TSG-S.R0022.
50. 3gpp2. *Video Streaming Services*. 3GPP2 TSG-S.R0021.

Referencias electrónicas

- The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
 - <http://www.ieee.org/ieeexplore>
- Comisión Federal de Telecomunicaciones (Cofetel)
 - http://www.cft.gob.mx/html/9_publica/normas/1994/nomem113_94.rtf
 - <http://www.cft.gob.mx/html/agitec/cuadro/nacionalmhz/61.html>
 - http://www.cft.gob.mx/html/9_publica/espectro/30jun97.html#1
 - http://www.cft.gob.mx/html/9_publica/espectro/30jun97_1.html
 - http://www.cofetel.gob.mx/html/4_tar/celulares/celdx/indecel.html

- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
 - http://www.sct.gob.mx/concesiones/comunicaciones/telefonía_celular.pdf
- GSMspain
 - http://www.gsmSpain.com/info_tecnica/egprs/diferencias.php
- 3G Americas
 - http://www.3gAmericas.org/pdfs/EDGE_Technical_Spanish.pdf
- Centro de Investigación de las Telecomunicaciones (Cintel)
 - <http://www.cintel.org.co/glosario/glosario.htm>
- Mpirical
 - http://www.mpirical.com/companion/GSM/PCS_-_Personal_Communication_System.htm
- Telcel
 - <http://www.telcel.com/glosario.html>
- Kyocera
 - http://200.218.7.68/help/faq/wireless_qa.shtml
- Telenor
 - http://www.telenor.no/fou/prosjekter/optimum/titan/project_.htm
- Strategic Advancement Asia (SAA)
 - http://www.saasia.net/cw/rtt_3ghw.htm
- Portelligent Incorporated
 - http://www.portelligent.com/press/Portelligent_3G_Press_Release_USVer.pdf
- National Semiconductor
 - <http://www.national.com/appinfo/power/files/AVS.pdf>

➤ Qualcomm Incorporated

- <http://www.qualcomm.com/press/pr/news/news421.html>
- <http://www.qualcomm.com/press/pr/releases2003/press1247.html>
- <http://www.qualcomm.com/press/pr/releases2003/press1217.html>
- <http://www.qualcomm.com/brew/about/java/whitepaper03.html>
- <http://www.cdmatech.com>

➤ 3G Forum

- <http://www.3g.co.uk/PR/July2000/3749.htm>
- <http://www.3g.co.uk/PR/July2003/5586.htm>

➤ MobileMag

- <http://www.mobilemag.com/content/100/102/C2148/>

➤ WirelessWeb Europe

- <http://wireless.iop.org/articles/feature/2/6/2/1>

➤ CommsDesign

- <http://www.commsdesign.com/story/OEG20010518S0035>
- <http://www.commsdesign.com/story/OEG20011214S0010>
- <http://www.commsdesign.com/story/OEG20030731S0005>
- <http://www.commsdesign.com/story/OEG20030512S0054>
- http://www.commsdesign.com/design_center/g3wireless/design_corner/showArticle.jhtml?articleID=17100057

➤ Micron Technology Incorporated

- [http://download.micron.com/pdf/news/wsd\(sept2003\).pdf](http://download.micron.com/pdf/news/wsd(sept2003).pdf)

➤ StarCore

- http://www.starcore-dsp.com/technology/papers/brooks_oct00.pdf

➤ Ferret

- <http://www.ferret.com.au/articles/9b/0c01439b.asp>

➤ Electronic Design

- <http://www.elecdesign.com/Articles/Index.cfm?ArticleID=4204&pg=1>

- University of Teesside
 - <http://wheelie.tees.ac.uk/users/a.clements/ARMinfo/ARMnote.htm>
- Electronics Talk
 - <http://www.electronicstalk.com/news/aen/aen106.html>
- MobileTechNews
 - <http://www.mobiletechnews.com/info/2003/09/03/223613.html>
- Antenova
 - <http://www.antenova.com>
- Ascom
 - http://www.ascom.com/ecore/WebObjects/ecore.woa/de/showNode/siteNodeID_72681_contentID_225321_languageID_30.html
- Broadcast Papers
 - <http://www.broadcastpapers.com/broadband/RFSRoundTable200304.htm>
- BaseStation EarthStation
 - <http://www.base-earth.com/jan-feb2000/csi.html>
- Skycross
 - http://www.skycross.com/WDD_032002.asp
- Hanyang University. Communication Signal Processing Lab.
 - <http://dsplab.hanyang.ac.kr/wor1.html>
- Cellular Online
 - http://www.cellular.co.za/phones/motorola/2003/motorola_a760.htm
- CNETAsia
 - <http://asia.cnet.com/newstech/communications/0,39001141,39142021,00.htm>

- Asahi
 - <http://www.asahi.com/english/business/TKY200312030149.html>
- Linux Devices
 - <http://linuxdevices.com/news/NS5841516614.html>
- Symbian
 - <http://www.symbian.com/technology/symbos-v7s-det.html>
 - <http://www.symbian.com/technology/why-diff-os.html>
- Telecoms Intelligence
 - <http://www.telecomsintelligence.com/Mobile%20OS%20mkt.pdf>
- Microsoft Corp.
 - <http://www.microsoft.com/windowsmobile/products/smartphone/about/2002/windowpowered.msp>
- Nokia
 - https://secure.forum.nokia.com/main/0,6566,1_80_30,00.html
- Ericsson
 - http://www.ericsson.com/about/publications/contact/arc/contarc/pdf/c03_02/13.pdf
 - <http://www.ericsson.com/EDGE>
- Comhat-Provexa
 - http://www.comhat-provexa.com/docs/white_paper.pdf
- World Markets Research Centre
 - <http://www.wmrc.com/businessbriefing/pdf/wireless2002/technology/CSA.pdf>
- The International Engineering Consortium (IEC)
 - <http://www.iec.org/online/tutorials/tdma/index.html>
 - <http://www.iec.org/online/tutorials/gsm/>
 - http://www.iec.org/online/tutorials/broadband_media/

➤ GSM World

- <http://www.gsmworld.com/technology/index.shtml>
- <http://www.gsmworld.com/technology/gprs/intro.shtml>

➤ CDMA Development Group

- <http://www.cdg.org/technology/2g.asp>
- <http://www.cdg.org/technology/roaming.asp>
- <http://www.cdg.org/technology/3g.asp>
- http://www.cdg.org/technology/3g/advantages_cdma2000.asp
- <http://www.cdg.org/technology/3g/evolution.asp>
- <http://www.cdg.org/technology/3g/spectrum.asp>
- <http://www.cdg.org/technology/3g/migration.asp>
- <http://www.cdg.org/technology/index.asp>
- http://www.cdg.org/technology/cdma_technology/tech_focus.asp
- http://www.cdg.org/technology/cdma_technology/capacity.asp
- http://www.cdg.org/technology/cdma_technology/smart_antennas/index.asp
- http://www.cdg.org/technology/cdma_technology/mobile_receive_div/index.asp

➤ Toshiba Matsushita Display Technology Co. Ltd.

- http://www.tmdisplay.com/tm_dsp/tsb/eng/b2c/top_wpsi.htm

➤ VisionTouch

- http://www.visiontouch.com/6_TFT/cncep/p-si_vs_a-si_tech/p-si_vs_a-si_tech.htm

➤ World Technology Evaluation Center (WTEC)

- http://www.wtec.org/loyola/dsply_jp/c5_s5.htm

➤ Avdeals

- http://www.avdeals.com/classroom/what_is_tft_lcd.htm
- http://www.avdeals.com/classroom/fabricating_tft_lcd.htm
- http://www.avdeals.com/classroom/tft_device_design.htm

➤ North Dakota State University. NDSU Computer Science Department

- <http://www.cs.ndsu.nodak.edu/~revie/amlcd/>

- EPStar
 - <http://www.epstar.fi/ep/Index.po?page=services/mobilecore>
- UMTS World
 - <http://www.umtsworld.com/technology/overview.htm#a4>
- UMTS Forum
 - <http://www.umts-forum.org>
- Kanetkar's Institute of Computing and Information Tech
 - <http://www.funducode.com/freec/Fileformats/jpegformat.htm>
- Terra
 - <http://www.terra.es/personal/fcyborg/mp3/mp3-funcionamiento.html>
- Fraunhofer Institut Integrierte Schaltungen
 - <http://www.iis.fraunhofer.de/amm/techinf/layer3/index.html>
 - <http://www.iis.fraunhofer.de/amm/index.html>
- HispaMP3
 - <http://www.hispamp3.com/tallerm3/tutoriales/mp3profundidad/2.shtml>
 - <http://www.hispamp3.com/tallerm3/tutoriales/mp3profundidad/3.shtml>
- Otras
 - <http://mparra.4t.com/jpeg/docs/comoTrabajaJpeg.html>
 - http://www.Data_Compression-info.com

*Servicios de banda ancha para
telecomunicaciones móviles de
tercera generación*



Apéndice

Lista de acrónimos

1XEV-DO	Evolution-Data Only
1XEV-DV	Evolution-Data & Voice
3GPP	3rd. Generation Partnership Project
3GPP2	3rd. Generation Partnership Project 2
8PSK	8 Phase Shift Keying
ABR	Available Bit Rate
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AGU	Address Generator Unit
ALU	Arithmetic Logic Unit
AMLCD	Active Matrix Liquid Crystal Display
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
AMR	Adaptative Multirate Vocoder
API	Application Program(ing) Interface
ARM	Advanced RISC Machine
ASF	Advanced Streaming Format
a-Si	Amorphous Silicon
Asy	Asymmetric
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AuC	Authentication Center
BBS	Base Station System
BCC	Business City Center
BEC	Back Error Correction
BHCA	Busy Hour Connection Attempt
BHR	Busy Hour Rate
Bid	Bidirectional
BIFS	Binary Format for Scenes
BMP	Bit Mapped Graphics
BREW	Binary Runtime Environment for Wireless
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Stations
CAD	Computer Aided Design
CBD	City Business District
CBR	Constant Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CELP	Code Excited Linear Predictive
CN	Core Network
Cofetel	Comisión Federal de Telecomunicaciones
COM	Commercial zones

CRC	Cyclic Redundancy Checking
CS	Circuit Switched
CS-MGW	Circuit Switched – Media Gateway
DAMPS	Digital Advanced Mobile Phone Service
DCS	Digital Cellular System
DCS1800	Digital Communications System 1800
DCT	Discrete Cosine Transform
DDR SDRAM	Double Data Rate SDRAM
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DIFF	DPCM difference
DMIF	Delivery Multimedia Integration Framework
DNS	Domain Name System
DPCM	Differential Prediction Model
DRAM	Dynamic RAM
DSL	Digital Subscriber Line
DSP	Digital Signal Processor
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EEPROM	Electrically Erasable Programmable ROM
EHF	Extremely High Frequencies
EIR	Equipment Identity Register
ELF	Extremely Low Frequencies
EMS	Enhanced Messaging Service
ES	Elementary Streams
ETSI	European Standard Institute
F-DCCH	Dedicated Control Channel
FER	Frame Error Rate
FFT	Fast Fourier Transform
F-SCH	Supplemental Channel
FTP	File Transport Protocol
GGSN	Gateway GPRS Service Node
GIF	Graphics Interchange Format
GMC	Global Motion Compensation
GMSC	Gateway MSC
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GSMK	Gaussian Minimum Shift Keying
HDA	High Dielectric Antenna
HDTV	High Definition TV

HDV	High Definition Video
HF	High Frequencies
HID	High Data Rates
HIF	High fidelity
HILN	Harmonic and Individual Lines plus Noise
HLR	Home Location Register
HOM	Home
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HVXC	Harmonic Vector eXcitation Coding
HW	Highway scenario
ICL	Image Conversion Library
ICMP	Internet Control Message Protocol
ICO	Icon File Extension
IDCT	Inverse Discrete Cosine Transform
IEC	International Electrotechnical Commission
IMA	Inverse Multiplexing ATM
IND	Industry
IPSec	Internet Protocol security
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	Isochronous traffic
ISO	International Organization for Standardization
ITU	International Telecommunications Union
ITU-T	International Telecommunications Union – Telecommunications
IVI	Interactive Video
IWF	Interworking Function
J2ME	Java 2 Micro Edition
JDC	Japanese Digital Cellular
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LAN	Local Area Network
LC	Liquid Crystal
LCD	Liquid Crystal Display
LF	Low Frequencies
LNA	Low Noise Amplifier
LOD	Low Data Rates
LoS	Line of Sight
MBS	Mobile Broadband System
MCP	Multi-Chip Package
MCS	Modulation Coding Scheme

MCU	Microcontroller Unit
MCU	Minimum Coded Units
MDCT	Modified Discrete Cosine Transform
MDDI	Mobile Display Digital Interface
MED	Medium Data Rates
MF	Medium Frequencies
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
MIME	Multipurpose Internet Mail Extension
MIPS	Million Instructions Per Second
MLA	Meander Line Antenna
MLC	Multi-Level Cell
MM	Multimedia Message
MMC	Multimedia Card
MMS	Multimedia Messaging Service
MO	Mobile Originated
MP3	MPEG-1 Audio Layer3
MPEG	Moving Picture Experts Group
MR	Main Road scenario
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Center
MSM	Mobile Station Modem
MT	Mobile Terminated
NADC	North American Digital Cellular
NISO	Non Isochronous traffic
NITFS	The National Imagery Transmission Format Standard
NRT	Non Real Time
NTB	Non Time Based
OD	Object Descriptor
OEM	Original Equipment-Manufacturer
OFF	Offices
OMAP	Open Multimedia Applications Platform
OMC	Operations and Maintenance Center
OSS	Operation and Support System
OTA	Over The Air
OTD	Orthogonal Transmit Diversity
OTSR	Omni Transmit Sectorial Receive
PCB	Printed Circuit Board
PCM	Pulse Code Modulation
PCS	Personal Communication System

PCU	Packet Control Units
PD	Pedestrian scenario
PDA	Personal Digital Assistant
PDE	Position Determination Entity
PIFA	Planar Inverted 'F' Antenna
PIM	Personal Information Management
PLMN	Public Land Mobile Network
PMLCD	Passive Matrix Liquid Crystal Display
PNG	Portable Network Graphics
PoS	Packet over Sonet
ppi	Pixels Per Inch
PPP	Point to Point Protocol
PPS	Packet Streaming Service
PRI	Private
PS	Packet Switched
p-Si	Polycrystalline Silicon
PSRAM	Pseudo Static RAM
PSTN	Public Switched Telephone Network
PUB	Public
QoS	Quality of Service
QPMC	Quarter Pel Motion Compensation
QPSK	Quadrature Phase Shift Key
QVGA	Quarter Video Graphics Array
RACE	Research in Advanced Communications in Europe
RAM	Random Access Memory
RGB	Red Green Blue
RISC	Reduced-instruction-set-computer
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem
ROA	Primary Roads
ROM	Read Only Memory
RT	Real Time
RTP	Real-Time Transport Protocol
R-UIM	Removable User Identity Module
R-UIM	Removable User Identity Module
SA-DCT	Shape-Adaptative DCT
SD	Secure Digital
SDK	Software Developer Kit

SDRAM	Synchronous Dynamic RAM
SG	Symbol Group
SGSN	Serving GPRS Service Node
SHF	Super High Frequencies
SIM	Subscriber Identity Module
SMIL	Synchronized Multimedia Integration Language
SMS	Short Message Service
SNR	Signal to Noise Ratio
SOC	System On a Chip
SP-MIDI	Scalable Polyphony MIDI
SRAM	Static RAM
SS	Switching System
SS7	Signaling System 7
SSL	Secure Socket Layer
ST	Static scenario
STS	Space Time Spreading
STSR	Sectorial Transmit Sectorial Receive
SVG-T	Scalable Vector Graphics Tiny
Sym	symmetric
TB	Time Based
TCP	Transmission Control Protocol
TCH	Traffic Channel
TDMA	Time Division Multiple Access
TFT	Thin Film Transistor
TIFF	Tagged Image File Format
TLS	Transport Layer Security
TRA	Trains
TS	Transport Stream
TTS	Text To Speech
UB	Urban scenario
UBR	Unspecified Bit Rate
UCT	Universal Coordinated Time
UDP	User Datagram Protocol
UE	User Equipment
UHF	Ultra High Frequencies
UICC	USIM Integrated Circuit Card
UIQ	User Interface Quartz
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
ULF	Ultra Low Frequencies
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

Und	Unidirectional
URB	Urban Residential Areas
USAT	USIM Application Toolkit
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VAS	Value Added Service
VBR	Variable Bit Rate
VER	Bit Error Rate
VGA	Video Graphics Array
VHF	Very High Frequencies
VLf	Very Low Frequencies
VLR	Visitor Location Register
VO	Visual Objects
VOI	Voice
VoIP	Voice over IP
VP	Voice Frequencies
VRML	Virtual Reality Modeling Language
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
WAP	Wireless Application Protocol
WBMP	Wireless Bitmap
WCDMA	Wide Code Division Multiple Access
WIM	Wireless Identity Module
WLAN	Wireless Local Area Network
WMF	Windows Meta-File
WTLS	Wireless Transport Layer Security
x-Si	Single Cristal Silicon