



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA

**IMPLANTACIÓN DE TERCERA GENERACIÓN  
DE COMUNICACIONES INALÁMBRICAS EN  
MÉXICO.**

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES  
P R E S E N T A N :  
OLIVER JACQUES CONTRERAS DE LA PARRA  
JUAN CARLOS SERRATO VITAL

DIRECTOR: ING. JOSE LUIS MARTÍNEZ FLORES

MÉXICO, D.F.

2002

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

## **AGRADECIMIENTOS**

Juan Carlos agradece:

A mi mamá, porque gracias a tu esfuerzo y sacrificio he logrado alcanzar mis metas. Te ofrezco esto con todo mi amor, respeto y agradecimiento. A mis abuelos, por apoyarme y exigir lo mejor de mí en cada momento.

A Mónica, por haber sido la inspiración de mi vida.

A Oliver, por el esfuerzo conjunto que nos ayudó a la conclusión del trabajo de toda una vida. Recuerda que es solo una meta más, de muchas que nos faltan.

A José Luis Martínez Flores, por el sacrificio que representó ayudarnos a terminar nuestra carrera, sin beneficio alguno.

Quiero agradecer en particular a Ricardo, Carlos, José Alberto, Elizabeth, Martha, Alejandro Calva, Alejandro Landin, Claudia, Maritza, Aida, Karla, Elena, Sergio, Marco, Rodrigo, Paulina y Erika, por los momentos, las anécdotas y principalmente por la amistad.

A mis amigos de la quinta generación de Ingeniería en Telecomunicaciones, que generaron un ambiente de trabajo, superación y amistad, día con día.

A mis amigos del football, por el carácter, la motivación y el anhelo de superación, que forjaron en mí persona.

A la U.N.A.M. por darme las armas necesarias para encarar la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Oliver agradece a:

A mis padres, por su esfuerzo, su ejemplo y su amor, porque merecen todo y desde aquí y siempre mi más profundo respeto, afecto y mi infinito agradecimiento. A mi hermana, cuya cómplice amistad y gran cariño siempre han sabido infundir ánimo aún en el medio de las tormentas, ánimo que se reivindica en todo momento. Espero que sepas que siempre cuentas conmigo. Por cierto, ¡sigues tú!

A mis compañeros y amigos de la quinta generación de Ingeniería en Telecomunicaciones. Particularmente y en estricto orden alfabético: Alejandro, Arturo, Carlos, Cecilia, Claudia, Daniel, Edita, Eduardo, Francisco, Gabriel, Guillermo, Juan Carlos, Marco, Nadia, Omar, Rafael y Roberto, quienes siempre estuvieron en los momentos de flaqueza y también en los buenos ratos, que fueron muchos y ustedes los hicieron posibles. Con su amistad, su confianza y su capacidad lograron mucho más de lo que siquiera pueden imaginar. Les deseo todo el éxito en lo que emprendan en su vida y les ofrezco mi amistad, mi apoyo y estoy seguro de que pueden lograr mucho.

En especial a Cecilia, porque su carácter sensible, sincero y tierno me llevó a pulir el *Übermensch* de mi propio carácter, proporcionándome una inyección de vida. Deseo con mi corazón que conserves los muchos buenos recuerdos y alcances las más altas estrellas de tal modo que vivas plenamente y feliz.

A Gabriela, porque su interés y presión constante que tanto me abrieron los ojos antes, finalmente alcanzaron frutos en una etapa culminante con este trabajo.

A los que nos han dejado, al Ing. Luis Marcial por iniciar el camino con entusiasmo y ser el primero en creer en ello. Al Ing. Ángel Flores por su ejemplo de gallardía y su elevado espíritu humano con el cual infundió de manera inobjetable su amor y respeto por el ser humano aculturado y despierto a la vida.

A Juan Carlos, por permanecer y contribuir de forma exhaustiva, con gran ánimo y calidad a la conclusión de este trabajo. Porque con esa misma confianza y decisión prosigas y logres tus objetivos. ¡Lo hicimos hermano!

A la Facultad de Ingeniería de mi venerada casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrigarme de forma tan cálida y abrir para mí una puerta definitiva hacia la vida profesional y humana. Las herramientas que me proporcionó mi alma mater son útiles para lograr obras que la honren.

**Implantación de Tercera Generación de Comunicaciones Inalámbricas en México**

-	Introducción	
1.	Acceso a Datos	1
1.1	Necesidad de Acceso a Datos	2
1.2	Redes de Datos Remotas	3
1.3	Comunicaciones Inalámbricas	5
1.4	Demanda de Acceso a Datos	7
2.	Conceptualización de Tercera Generación de Comunicaciones Móviles	13
2.1	Surgimiento de la Recomendación Mundial	13
2.2	Estimación de Crecimiento y Requerimiento de Redes de Comunicación Inalámbrica	19
2.3	Requerimientos de Espectro	22
2.3.1	Espectro Armonizado	22
2.3.2	Bandas Básicas y Bandas de Extensión	36
2.4	Definición de las Interfases de Radio Terrestres.	37
2.4.1	Características Clave	37
2.5	Detalle de las Tecnologías de Radiotransmisión Terrestres.	44
2.5.1	La Norma UWC – 136.	49
2.5.1.1	Requerimientos de la Norma	49
2.5.1.2	Estructura del Canal de Control: Manejo de Tráfico	52
2.5.2	CDMA de Banda Ancha	53
2.5.2.1	Canales de Transporte	54
2.5.2.2	Canales Físicos	55
2.5.2.2.1	Canales Físicos para UTRA	55
2.5.2.2.2	Canales Físicos para IMT2000	58
2.5.2.3	Multiplexaje de Servicios y Codificación del Canal	60
2.5.2.4	Tasa Variable y Transmisión con Código Múltiple	61
2.5.2.5	Dispersión y Modulación	62
2.5.2.5.1	En el Enlace de Subida	64
2.5.2.5.2	En el Enlace de Bajada	65
2.5.2.6	Acceso Aleatorio	66
2.5.2.7	Canal RACH	67
2.5.2.7.1	RACH para UTRA	67
2.5.2.7.2	RACH para IMT2000	68
2.5.2.8	Control de Potencia	68
2.5.2.8.1	En Trayectoria Cerrada	69
2.5.2.8.2	En Trayectoria Abierta	69
2.5.2.9	Identificación de Celdas	70
2.5.2.10	Handover	72
2.5.2.11	Sincronía entre Celdas en Modo TDD	72

2.5.3	CDMA2000	74
2.5.3.1	Similitudes y Diferencias con CDMA de Banda Ancha	74
2.5.3.2	Estructura de los Canales de Transporte y los Canales Físicos	75
2.5.3.3	Dispersión y Modulación	76
2.5.3.4	Acceso Aleatorio	77
2.5.3.5	<i>Handover</i>	77
2.6	Resumen	78
3.	Proceso de Implantación en México	79
3.1	Antecedentes	79
3.2	Etapas de la Implantación	87
3.3	Análisis de Posibles Escenarios	96
3.3.1	Implantación con CDMA en la banda de 850 MHz.	96
3.3.1.1	Descripción	96
3.3.1.2	Ventajas y Desventajas	102
3.3.2	Implantación con CDMA en la banda de 1900 MHz.	103
3.3.2.1	Descripción	103
3.3.2.2	Ventajas y Desventajas	105
3.3.3	Implantación con GSM en la banda de 850 MHz.	106
3.3.3.1	Descripción	106
3.3.3.2	Ventajas y Desventajas	109
3.3.4	Implantación en la banda de 2100 MHz	110
3.3.4.1	Descripción	110
3.3.5	Análisis de Interferencias por Canal Adyacente	114
3.4	Optimización de la Red	119
3.4.1	Canceladores de Interferentes	121
3.4.2	Arreglos de Antenas Adaptativas	123
3.4.3	Cobertura en Interiores	127
4.	Simulación	131
4.1	Definición de Objetivos	131
4.2	Desarrollo	131
4.3	Resultados	146
-	Conclusiones	147
-	Anexos	
A.	Tecnologías de Transmisión de Datos en Sistemas de Comunicaciones Móviles	A-1
A.1	EGPRS	A-1
A.	GPRS	A-9
B.	CDMA: IS – 95B	B-1

## Implantación de tercera generación de comunicaciones inalámbricas en México

- **Glosario**
- **Bibliografía**

### INTRODUCCIÓN

La rapidez de evolución de las tecnologías de comunicaciones móviles inalámbricas actualmente hace posible suponer una comparación con las redes de comunicaciones alámbricas tales como la RDSI, aunque bajo condiciones muy particulares.

Si bien la tecnología puede estar disponible y su efectividad puede ser comprobada, haciendo posible la comparación antes citada, es importante resaltar el entorno en el que dicha tecnología sería implantada, es decir el mercado al cual va dirigida y por ende, las tecnologías existentes operando en dicho entorno.

Esto se debe a que un cambio de tecnología requiere no sólo de cierto grado de compatibilidad o trayectoria de evolución con los sistemas operando en el tiempo presente, sino también de la contribución del suscriptor quien es el usuario final de tales recursos para lo cual es necesario una estrategia de mercadotecnia para llevar a cabo este cambio de la forma más transparente posible.

En México el advenimiento de la llamada segunda generación de comunicaciones digitales no ha reemplazado en su totalidad la infraestructura AMPS que los operadores tenían hasta ese momento; la digitalización de la red se ha dado en un proceso lento que aún no concluye.

Este precedente inmediato puede situarnos en el mercado en el cual pretendemos inferir la trayectoria evolutiva antes mencionada. Tal es así, que a lo largo del presente trabajo hemos de referirnos al estándar conjunto que define las características y requerimientos generales de la llamada tercera generación de comunicaciones digitales denominado IMT2000: un conjunto de recomendaciones creadas y discutidas con el aval de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y retomadas por asociaciones creadas expresamente, con la finalidad de implantar la tecnología antes mencionada.

Con respecto de la instalación y operación, si bien una de las metas ulteriores de la evolución de las comunicaciones móviles es lograr la condición de modo viajero global con una terminal única, para lo cual se requiere una convergencia tecnológica en una gran variedad de aspectos, en las redes evolucionadas: frecuencias de operación, anchos de banda de las portadoras, modulación, técnicas de acceso, formato de las tramas lógicas de datos y protocolos empleados. Sin embargo no es fácil lograr esta compatibilidad a partir de las muy diversas redes actuales en los aspectos antes mencionados, considerando la migración a partir de dichas tecnologías.

Un ejemplo patente de lo anterior es claro en México, en donde conviven redes AMPS de primera generación con redes de segunda generación con distintas técnicas de acceso: TDMA, y CDMA. Si bien para cada una existe una trayectoria de evolución, los tiempos y costos para lograrlo pueden resultar prohibitivos en algunos casos.

No se debe perder de vista, sin embargo, el propósito de la migración de la tecnología, en este sentido no únicamente está el hecho del modo viajero global, sino también la oferta de servicios de transmisión de datos avanzados que actualmente no es posible proveer con las limitaciones de ancho de banda y, consecuentemente, tasas máximas de transmisión alcanzadas por las redes de comunicaciones móviles en operación en México.

Pretender establecer de forma más específica que tipo de servicios han de ofrecerse, requiere una revisión del mercado y también permite establecer los tiempos y la suficiencia de la tecnología ha implantar para tal efecto. En este sentido, uno de los objetivos del presente texto es considerar el mercado mexicano como punto de partida para la instalación y operación.

Asimismo, como consecuencia de la diversidad de las redes de comunicaciones móviles existentes, se definen tecnologías de tercera generación incompatibles entre sí pero emergentes de la recomendación ya mencionada, que suponen una trayectoria de evolución más transparente para cada técnica de acceso empleada en la actualidad.

Por este motivo resulta fundamental establecer claro el concepto de tercera generación de comunicaciones móviles, así como su realización en las diferentes tecnologías de radiotransmisión derivadas de dicho concepto de tal modo que nos sea posible, con estas bases, decidir la tecnología más apropiada para México teniendo en cuenta la tendencia mundial y la situación particular.

Finalmente, la simulación de la instalación de la tecnología auxiliados por medio de una herramienta de predicción de desempeño en cobertura, de una forma similar al diseño de red, nos permitirá anticipar las características de una red para un mercado en particular, y en última instancia la viabilidad de dicha instalación, reafirmada ciertamente por las características de la tecnología, la adaptación a las tecnologías existentes y la aplicación en el mercado.

## **1.- Acceso a Datos**

Una de las principales metas de la transmisión de datos en telecomunicaciones es el uso eficiente de los recursos disponibles para el transporte de la información; para hacer esto posible, en las redes modernas de comunicaciones dicha información debe ser codificada en primera instancia, es decir, convertida a una señal eléctrica para ser transportada.

A lo largo de la historia de la humanidad existen innumerables ejemplos de cómo se fue perfeccionando la comunicación a distancia para transmitir información, tan específica como señales militares, o tan general como una conversación entre dos personas que no se encuentran físicamente en el mismo lugar. Cuando a principios del siglo XVIII se concretaron leyes y estudios para el entendimiento del fenómeno de la electricidad, los inventores iniciaron una afanosa búsqueda para emplear la electricidad en beneficio de la transmisión rápida de mensajes sobre largas distancias.

A principios de la década de los 90's en el siglo XVIII, Claude Chappe, científico e ingeniero francés, propuso e inició la construcción de un sistema telegráfico visual basado en luces de semáforo, capaz de hacer llegar un mensaje a algunos kilómetros de distancia en varios minutos. Algunas de éstas altas torres, similares a las localizadas en las vías férreas, estaban separadas hasta 32 km. Desde entonces se requirió de cierta codificación para enviar e interpretar la información, este hecho causó una transmisión lenta de la información debido a la necesidad de verificar el contenido de cada mensaje.

El primer sistema telegráfico práctico se introdujo en el siglo XIX, cuando dos de tales invenciones se dieron a conocer hacia 1837: Sir Charles Wheatstone y Sir William F. Cooke, en Gran Bretaña, y Samuel F. B. Morse en Estados Unidos. Ambos sistemas eran medios unidireccionales en un solo tiempo, pero el caso de Morse, cuyo sistema y alfabeto codificado se adoptó en todo el mundo, brindó un gran empuje a la conformación de redes públicas, alámbricas, para la transmisión de datos.

En las décadas subsecuentes se produjeron mejoras como el telégrafo cuádruple introducido en 1874 por Thomas A. Edison, por medio del cual fue posible, por primera vez, enviar información en modo dúplex, es decir en ambas direcciones simultáneas. Puede decirse que el telégrafo de Morse fue el inicio de las redes públicas para comunicación de datos, derivaciones modernas de ésta son el teletipo, telex y la transmisión por facsímil, aún cuando este último está basado en un invento de Alexander Bain, patentado desde 1842, es decir, antes de la aparición del teléfono como sistema público de comunicación.

Se pueden mencionar estos ejemplos debido a que la sobreviviente actual de las técnicas de envío de información a través de las líneas analógicas telefónicas, la transmisión por facsímil, es hoy un campo emparentado con la transmisión de multimedia y más cercano con la transmisión de gráficas creadas por medio de computadoras conectadas a red.

En cuanto a la transmisión de voz humana, investigada en la búsqueda de mejorar el sistema telegráfico que únicamente enviaba mensajes letra por letra, logró un auge comercial y cambió el mundo de las redes públicas de comunicaciones cuando Alexander Graham Bell, en 1876, patentó el teléfono eléctrico a la vez que Edison encontró un modo de reproducir las ondas sonoras, incluidas las del habla.

La naturaleza de las señales eléctricas empleadas en la transmisión es diversa, como se muestra históricamente desde que Alexander Graham Bell inventó el teléfono y Guglielmo Marconi logró, hacia 1901 la primera comunicación inalámbrica transcontinental entre Inglaterra y Canadá.

La evolución de estos servicios de comunicaciones tuvo que ver primero con la infraestructura y la arquitectura de la red necesaria para proveerlo, de naturaleza analógica en las primeras generaciones, y posteriormente, con la aparición y popularización de los microprocesadores y los dispositivos electrónicos y de comunicación, por lo que resultó técnicamente posible transformar esta información de señal eléctrica analógica a una señal digital que permita la integración de otros servicios, que amplíe la gama del servicio para una red determinada y que permita la convergencia de éstos, de modo que se tenga un conjunto de servicios de voz y acceso a datos, de forma remota, independientemente de la localización del usuario.

Aunque esto es posible desde el punto de vista técnico, cabe considerar la inversión monetaria que tiene que realizarse para lograr este cambio y esta convergencia y considerar si es, por lo tanto, económicamente viable. Sin embargo, esto tiene que ver con el concepto de aldea global que se menciona en la literatura como una tendencia.

De aquí se explica el hecho de que no todas las redes sean totalmente digitales, sin que por ello existan mecanismos para permitir servicios adicionales al servicio primario de la red (como en el caso de la Red Telefónica Pública Conmutada, RTPC), implicando también servicio de transporte de datos; es decir, que las redes de comunicación actuales implican una convergencia de servicios (de voz, de datos) y esquemas de transmisión.

### 1.1.- Necesidad de Acceso a Datos

Paralelamente a las redes públicas, principalmente proveedoras de servicios de voz, se creó un mercado alternativo y hoy convergente, iniciado entre organizaciones científicas, educativas y mercantiles, en las que se dio una creciente demanda de acceso a información. Conforme las redes de información se extendieron, involucraron dispositivos electrónicos tales como computadoras, periféricos y otros equipos de comunicación e implicaron una convergencia tecnológica y de servicios que, idealmente, se manifiesta como una interconexión total, como la posibilidad de emplear la RTPC, redes WAN extendidas en todo el mundo integradas incluso por nodos satelitales para el transporte de información. Lo cual hoy es una realidad.

En principio, sin embargo, la transmisión se efectuaba mediante una línea dedicada a una comunicación punto a punto con un servidor central (*mainframe*), que concentraba grandes volúmenes de información la cual era accedida desde la propia consola de dicho servidor, o bien en forma remota desde alguna terminal cuyas instrucciones eran escritas en dicha terminal pero eran interpretadas y ejecutadas en el servidor central, concentrando todo el procesamiento en los dispositivos lógicos de dicho servidor. Por este proceso de consulta y acceso se requería una línea dedicada entre el servidor central y cada terminal para enviar instrucciones, cuya velocidad de respuesta estaba limitada por la capacidad de respuesta del servidor, esto implicaba la necesidad de servidores con capacidades de almacenamiento y procesamiento muy superiores a las de máquinas convencionales disponibles para trabajo individual; lo maravilloso estriba en que estas grandes capacidades podían ser utilizadas y compartidas en el trabajo diario de cada usuario conectado remotamente al servidor, de forma simultánea.

Estos accesos se desarrollaron entre 1950 y 1970 a través de servidores centrales de grandes dimensiones, gran consumo de potencia y severamente limitados por la capacidad que podían manejar en comparación con los desarrollos actuales; únicamente las grandes compañías podían pagar y mantener tales servidores. Sus usos principales radicaban en procesamiento en lotes masivo de datos científicos, financieros o comerciales.

Los recursos de almacenamiento para éstos también dependían del servidor central y, al igual que otros procesos, eran laboriosos, muy propensos al deterioro o la corrupción de los datos almacenados en ellos y consumían muchas horas en el proceso.

Posteriormente las tareas de un procesamiento centralizado se dividieron, liberando al servidor de tareas continuas tales como refrescar la pantalla de cada terminal remota o interpretar cada instrucción, de lo cual se encargaban las propias terminales; permitiendo con ello que los recursos compartidos se enfocaran a las tareas esenciales mediante este nuevo enfoque de procesamiento distribuido.

En este punto, puede hablarse de una red en el mismo sentido en que ahora se conoce, definida como un conjunto de dispositivos interconectados que comparten recursos, en ese caso cada dispositivo comparte sus recursos, para garantizar el funcionamiento de la red. Esta revolución tecnológica en las redes de datos se inició hacia mediados de los años 70s y fue la aparición de la microcomputadora la que fomentó dicho cambio.

Este mismo fenómeno potenció la aparición de cientos de programadores y de bases de datos aisladas, para aplicaciones de pequeña y mediana escala; en estos ámbitos fue reconocida, en primera instancia, la necesidad de compartir recursos; aunque esto podía ser realizado transportando disquetes, el acceso a datos actualizados en tiempo real o accesos simultáneos a la información fomentaron decididamente una demanda creciente de transferencia de grandes volúmenes de datos a grandes velocidades y sobre áreas geográficas muy extensas. En principio, el medio de transporte empleado para estos datos fue cobre, típicamente cable coaxial con pérdidas muy grandes por atenuación y por consiguiente que requerían regeneración de la señal transmitida en distancias relativamente cortas.

Debido a que una conexión de red clásica con un solo par trenzado que interconecta equipos de cómputo para acceso a datos no permite distancias mayores a 20 metros, a partir de dicho punto es requerida una técnica de transmisión como las que desde entonces han sido implantadas y mejoradas para conformar una red más compleja, punto a punto o punto a multi - punto, así como también protocolos para hacer más eficiente y organizado el uso de los recursos en la red y posibilitar la interconexión de equipos electrónicos y de comunicaciones más diversos en una sola red. Los principios básicos de transmisión fueron aplicados también a comunicación de datos en redes de cómputo.

Los protocolos son especialmente importantes debido a que en comunicación de datos existe una demanda mayor respecto al control de los elementos de la red que lo que puede tenerse en una comunicación de voz o analógica.

## **1.2.- Redes Remotas de Datos**

En la conformación de una red de datos existen dos opciones para el acceso y la comunicación de los equipos, referidos a una señal centralizada de reloj que provea la sincronía, los datos pueden ser transmitidos de un modo síncrono empleando una señal a la que todas las terminales pertenecientes a la red se subordinen, o bien de un modo asíncrono enviando ráfagas de información y recibiendo confirmaciones sobre el estado de esas ráfagas tras haber alcanzado su punto destino, o reenviando la información en caso de no recibir dichas confirmaciones.

El caso de la comunicación síncrona tiene que ver con el empleo de líneas dedicadas y recuerda hasta cierto punto la forma en que operaba un servidor centralizado; esta sincronía se emplea actualmente cuando se hace uso de un circuito conmutado, como los empleados en la RTPC, o bien en líneas dedicadas de enlaces.

En caso de comunicación asíncrona, la infraestructura de la red está dedicada a datos y, con el protocolo adecuado, la información es transmitida parcialmente en tramas de información conformadas por una parte de datos a ser transmitidos y una parte de información de control para estos datos, que permiten determinar la ruta a seguir internamente en la red; así se conforma un paquete con una estructura definida, y la unión de dichos paquetes provenientes de una o más terminales conforma una trama que constituye la ráfaga de información a ser transmitida en intervalos.

La naturaleza de esta señal es digital y la información es transportada de forma codificada y se puede representar por medio de bits, lo cual debe ocurrir al menos en los dispositivos de inteligencia y control de la red distribuida tales como concentradores o ruteadores.

Las redes emergentes desde mediados de los años 70's fueron tanto redes locales asíncronas, como redes geográficamente más extensas de forma tal que se permitía la cooperación entre universidades uniendo sus redes, y no mucho tiempo después surgieron aplicaciones comerciales tales como un cajero automático conectado a la base de datos de un banco.

Considerando que la instalación de redes de datos extensas resulta muy cara, una opción planteada que atrajo a los usuarios de PC's a compartir recursos fue la utilización de la RTPC como medio de transmisión para datos; evidentemente esto requirió la aparición de transductores que permitieran a la señal síncrona analógica transportada en la RTPC ser convertida en una señal digital, asíncrona para la red, manejada por la propia computadora personal.

El uso de módem, si bien no fue muy extenso para todas las computadoras en el momento de su aparición, debido a que las bases de datos a las que se accedía eran especializadas, y las velocidades iniciales de transmisión de 300, 1200, 2400 o 9,600 bits por segundo no vislumbraban aún un terreno comercialmente disponible para su empleo, sin embargo las grandes compañías encontraron en su uso una solución para el acceso a sus grandes sistemas de almacenamiento y procesamiento de datos, haciendo posible los accesos al servidor central de estas compañías, virtualmente desde cualquier punto.

La expansión que tuvo el uso de módem a partir de la comercialización de Internet y la aparición de los módem compatibles con la norma V.90 de la ITU-T a 56 kbps, e incluso anteriores (a 33,9 kbps o 28 kbps) han provocado un uso extendido en la transferencia de datos (archivos, acceso a bases de datos y consulta de documentos) por lo que el tráfico en la red telefónica también consta de servicios de datos. Anterior a este fenómeno se tienen ejemplos de transmisión de datos por la RTPC por medio del teletexto o el facsímil.

Cabe resaltar el papel preponderante que las mejoras en comunicación de PC's tuvieron para este efecto de expansión comercial de los módem; características tales como transferencia de archivos, el uso del protocolo Ethernet CSMA/CD, las interfases con dispositivos de red tales como ruteadores, concentradores, conmutadores y *gateways* y la aparición y uso extensivo de redes de área local en oficinas, laboratorios, centros de investigación y campus universitarios; características cuya descripción está más allá del objetivo y alcance de éste trabajo.

### **1.3.- Comunicaciones Inalámbricas**

El concepto de radio celular evolucionó de los primeros sistemas móviles, denominados **MTS** por sus siglas en inglés: *Mobile Telephone System*, los cuales, como su nombre lo indica, se concibieron dedicados a proporcionar servicios de voz de forma inalámbrica en la misma forma que un usuario de una red telefónica pública conmutada, RTPC, lo hacía mediante cables; mejoras posteriores derivaron en el sistema **IMTS**. Debido sin embargo a la limitada disponibilidad de recursos en el espectro radioeléctrico, y la consecuente necesidad de hacer un uso racional de él, ampliando su capacidad y robusteciendo la estructura de su red, el concepto de radio celular fue más allá de IMTS.

Radio celular implicaba la provisión de capacidad de radio adicional, para cualquier suscriptor ubicado en una zona geográfica específica con la idea de solventar uno de los principales problemas de MTS/IMTS que consistía en que una llamada no podía ser sostenida en el caso de que el móvil suscriptor cambiara de zona geográfica, moviéndose hacia una en la cual la radiobase servidora de dicha llamada no tuviera cobertura.

En la solución de este problema surgieron los conceptos de reuso de frecuencias en el sistema y de transferencias de llamadas entre radiobases (*hand offs*).

A partir de aquí se derivó el concepto de telefonía celular, procurando un sistema que emulara las características de la RTPC con la facilidad de una provisión instantánea del servicio, sin la necesidad del llamado "cableado de última milla", y de la localización del usuario en un área de servicio, introduciendo el concepto de comunicación móvil.

Debido a que el interés básico de este tipo de comunicación móvil fue permitir la comunicación por voz como en el inicio del teléfono alámbrico, se emplearon diversas técnicas referentes a mejorar la calidad de la voz y robustecer la interfase de aire de forma que los fenómenos propios de una interfase de radio tales como desvanecimiento, sombras, pérdida en el espacio libre y efectos de multitrayectoria no afectaran la comunicación. Adicionalmente, la técnica de acceso, AMPS, traía consigo el problema del reuso de frecuencias como un punto crítico en el diseño de sitios para el sistema.

El avance de las técnicas de acceso y el desarrollo de dispositivos digitales para comunicaciones móviles hizo posible la cuantización de la voz y la transmisión paquetizada de esta, otras técnicas de acceso además de la división de frecuencia se desarrollaron y han tenido un éxito comercial que algunos no pronosticaban dada la dificultad del desarrollo e instalación de equipos, como el caso de la tecnología de CDMA. Las redes se diversificaron, incluso las tecnologías se hicieron incompatibles de modo que las terminales para usuarios de servicios móviles se hicieron particulares para la tecnología digital para la cual fueron diseñadas, si bien han visto mejoradas sus características de desempeño en el sentido de reducir su tamaño y peso, mayores capacidades y funciones así como un tiempo más prolongado de duración de las baterías. En el caso de las redes implantadas en la era analógica de la telefonía celular, también denominada primera generación, y debido al alto índice de terminales analógicas aún en operación, fue requerida una convivencia entre ambos tipos de accesos tanto en los dispositivos de la red (centrales, radiobases), como en las terminales del usuario (de tecnología dual analógica, AMPS y digital, TDMA o CDMA). La descripción de estas técnicas de acceso no forma parte de los objetivos del presente trabajo.

Cabe señalar en este punto que la digitalización de las redes de telefonía celular posibilitó la introducción de servicios de datos como servicios de valor agregado.

De forma paralela, en 1921 se desarrolló un sistema de transmisión inalámbrica de información para el Departamento de Policía de Detroit, usando el concepto de transmisión de información de una vía; resultando con ello el inicio del radiolocalizador como es conocido actualmente. El propósito principal de éste medio fue desde sus orígenes transmitir datos por medio de una interfase de aire, para hacerlos llegar a un usuario ubicado en cualquier punto dentro de una zona. De hecho los primeros mensajes se transmitían de viva voz, cuando se dispersó este servicio entre diversas agencias gubernamentales de Estados Unidos atrajo la atención comercial, trayendo como consecuencia cambios dramáticos en el servicio, desde generar mensajes privados y no difundidos a todos los usuarios, hasta personalizar la información que se enviaba acorde con el perfil de cada usuario, y desarrollar los radios de dos vías, para que, de forma similar al telégrafo cuádruple de Edison, sean posibles enviar mensajes entre dos usuarios directamente con su terminal de radiolocalización.

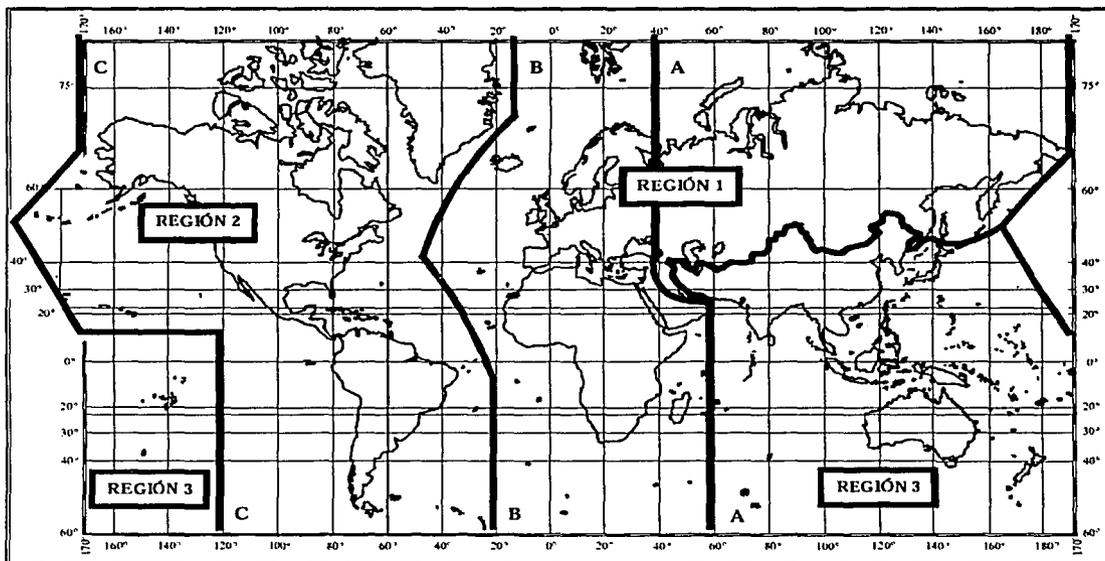
La popularidad alcanzada hoy por la red mundial Internet, la disponibilidad y reducción de costos de los servicios celulares con funciones de valor agregado tales como SMS, emulando un radiolocalizador, buzón de voz, envío de mensajes, identificación de llamadas y más recientemente acceso a páginas de la red Internet en modo texto o consulta y envío de correos electrónicos, con las limitantes impuestas por las tasas de transmisión que permiten los anchos de banda disponibles actualmente para Telefonía Celular y PCS.

Aunque el advenimiento de la tecnología digital en la telefonía celular trajo consigo la inserción del servicio de mensajes escritos (SMS), con el mismo propósito que un radiolocalizador de una vía, permitiendo con ello la convergencia de servicios hacia una sola terminal, el mercado de los radiolocalizadores se ha diversificado y por ello sigue vigente; sin embargo la tendencia puede permitir establecer en un futuro un mercado convergente de forma tal que exista una terminal universal para los muy variados servicios de comunicación inalámbrica de datos, incluyendo aquellos específicos tales como monitoreo de parámetros para aplicaciones particulares, videoconferencia, telemedicina, etc. Esto podría implicar la fusión de los anchos de banda atribuidos para dichos servicios por separado, aunque debido a la amplia variedad, esto sólo se dará en función de que los servicios coincidan y no se afecten porciones de mercados maduros y especializados, o incluso delicados como radioastronomía, comunicación marítima o aérea y seguridad.

En este sentido, debido a que el recurso más valioso que se debe cuidar y administrar en las comunicaciones inalámbricas es el ancho de banda destinado para determinados servicios, la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), ha dispuesto desde 1999 el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias vigente en el cual, si bien no se establece una diferenciación entre servicios de voz y datos, existen servicios claramente definidos para datos tales como servicio de frecuencias patrón y señales horarias, metrología, seguridad, radionavegación o radionavegación marítima los cuales son muy particulares y suelen estar orientados a intercomunicación de los equipos y sistemas; hacia el usuario final, sin embargo, en los servicios *fijo*, *fijo por satélite*, *móvil*, *móvil por satélite*, *móvil terrestre*, *móvil terrestre por satélite*, *radiolocalización* y *radiolocalización por satélite* confluyen servicios de voz y datos, e incluso servicios que son eminentemente exclusivos de transmisión datos, aún cuando estos resulten muy específicos, ya sea enfocados a un mercado de usuarios individuales o corporativos que va en aumento.

Este Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias está en concordancia con las disposiciones de atribución de frecuencias acordadas internacionalmente para la región 2, a la que pertenece México al igual que todo el continente americano. Lo anterior de acuerdo a la definición de las regiones por parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, cuya división se aprecia en la figura 1.1 a continuación.

La evolución de los servicios y el requerimiento de un mayor ancho de banda para la provisión eficiente de los mismos, supone la modificación constante aunque no substancial de este cuadro de atribución, de tal forma que se puedan alojar los servicios de datos inalámbricos de altas velocidades en este espectro.



**Figura 1.1.** División Internacional de Regiones para la Aplicación de las Atribuciones del Espectro Radioeléctrico, de acuerdo con la UIT.

#### **1.4.- Demanda de Acceso a Datos**

Para comprender a plenitud la evolución tecnológica, es necesario circunscribirse en el marco económico y sociocultural en el que estos desarrollos se dieron, con especial énfasis en su instalación en un mercado. Las gráficas a continuación permiten ver con claridad cual fue, en su tiempo, la demanda de información y acceso a datos que se tuvo en el mercado en México.

Sin embargo, como se observa en las gráficas siguientes, en la última década se ha observado un decrecimiento lento y constante en la penetración de servicios de radiolocalización, particularmente en los últimos 3 años, pese al incremento sostenido en la localización de vehículos; sobre otros servicios como la telefonía móvil (PCS) y el acceso a Internet, estos han seguido creciendo aunque a un ritmo más lento, teniendo un auge hacia 1997-1998. Esto se debe principalmente a la provisión de servicios de radiolocalización como servicios de valor agregado en las comunicaciones móviles; de acuerdo a estos datos proporcionados por el INEGI y la COFETEL, la penetración de las líneas de terminales de comunicación móvil (aquí denominado "telefonía móvil") ha superado la penetración de las líneas fijas existentes en México. Cabe señalar que las estadísticas con las que se cuenta para el año 2001 no son representativas de un periodo de 12 meses, siendo únicamente hasta el mes de Marzo del mencionado año.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

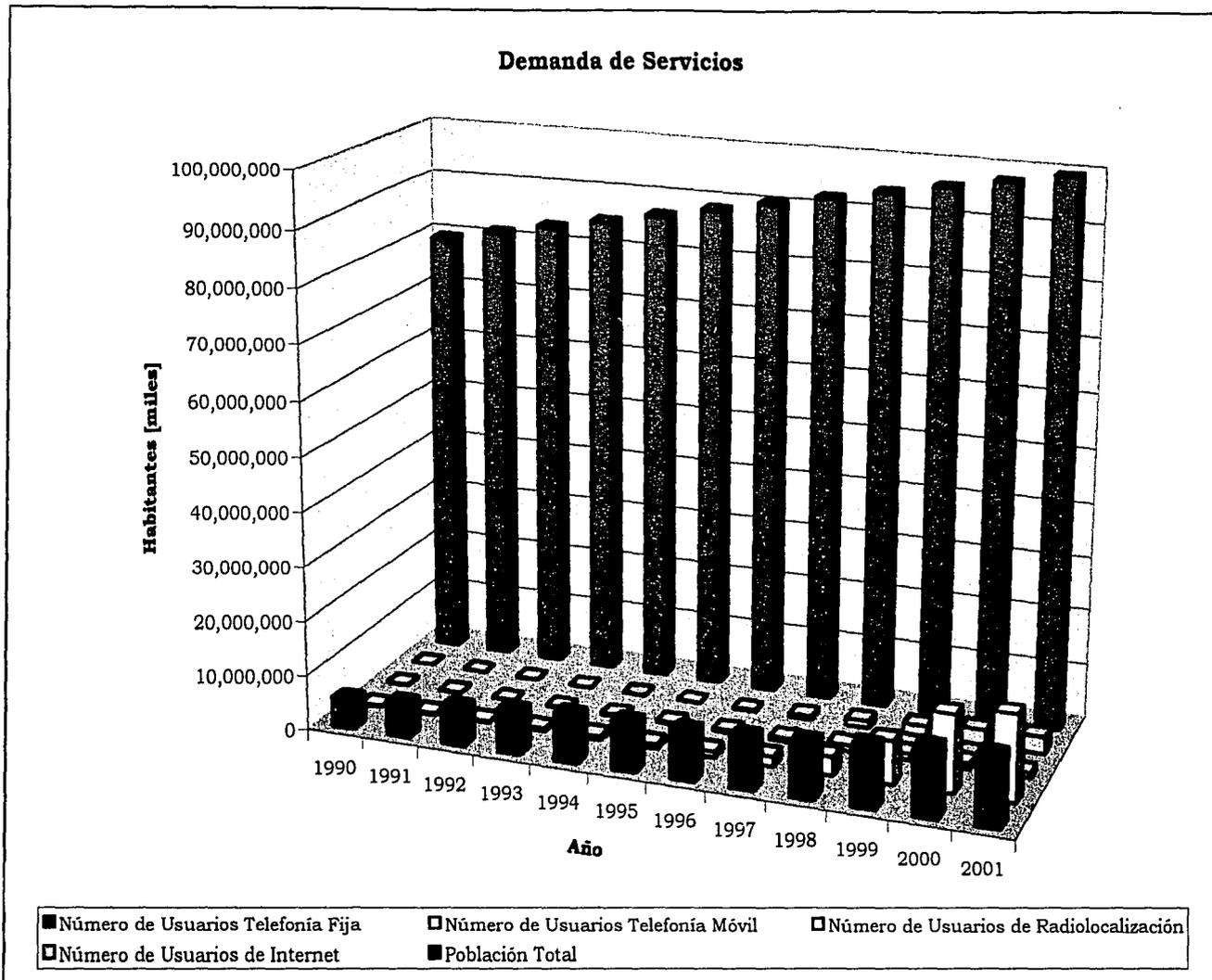
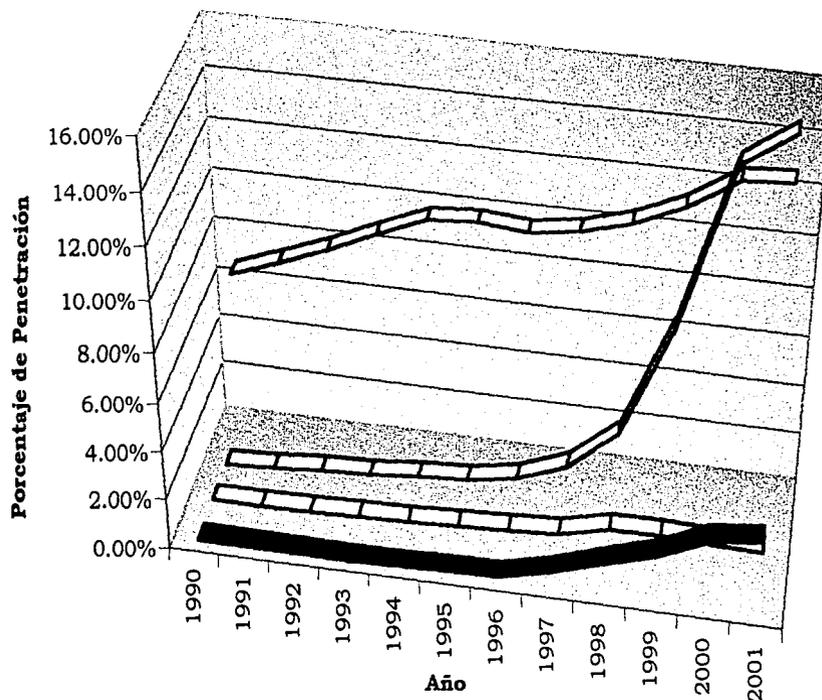


Figura 1.2. Gráfica de Demanda de Servicios por Número de Usuarios en la Última Década

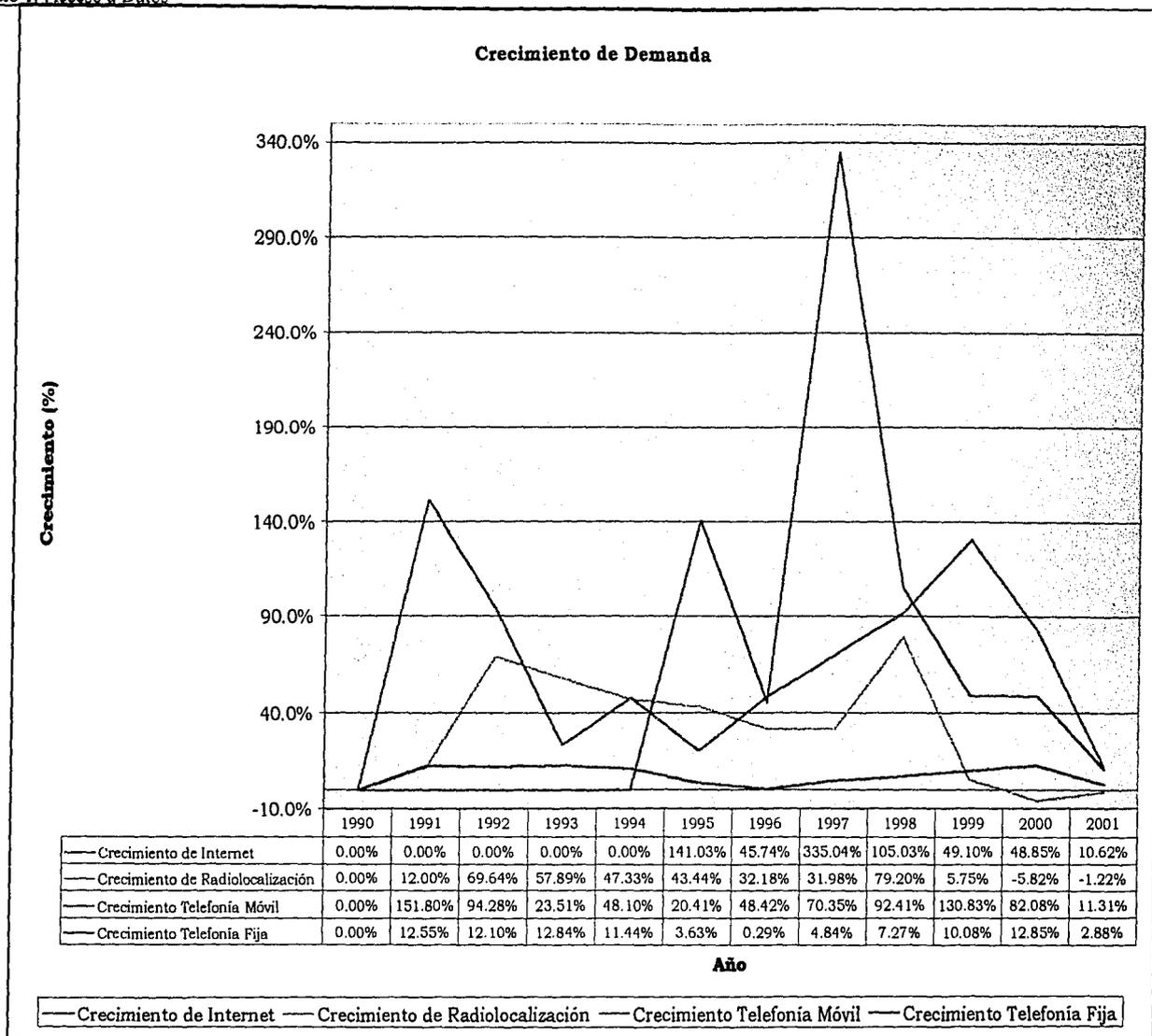
### Demanda de Servicios



	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
■ Porcentaje de Internet	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.045%	0.106%	0.152%	0.647%	1.302%	1.904%	2.782%	3.021%
□ Porcentaje de Radiolocalización	0.063%	0.069%	0.114%	0.177%	0.255%	0.358%	0.464%	0.601%	1.056%	1.095%	1.012%	0.982%
□ Porcentaje Telefonía Móvil	0.080%	0.198%	0.376%	0.455%	0.660%	0.778%	1.132%	1.890%	3.568%	8.080%	14.440%	15.781%
□ Porcentaje Telefonía Fija	6.737%	7.414%	8.131%	8.980%	9.798%	9.947%	9.776%	10.049%	10.573%	11.420%	12.649%	12.777%

■ Porcentaje de Internet □ Porcentaje de Radiolocalización □ Porcentaje Telefonía Móvil □ Porcentaje Telefonía Fija

Figura 1.3. Gráfica de Demanda de Servicios por Porcentaje de Penetración en la Última Década.



**Figura 1.4.** Gráfica del crecimiento en la Demanda de Servicios en México

En México la introducción de los desarrollos tecnológicos no ha sido tardía en la mayor parte de los casos, si bien nunca se desarrolló plenamente una red telegráfica, la telefonía se introdujo hacia 1878 para el gobierno y hacia 1881 una red pública en un mercado poco estable en el que el teléfono fue un accesorio de lujo y caro; no fue sino hasta 1946 cuando los teléfonos de las compañías existentes, Compañía Telefónica Mexicana y Ericsson eran compatibles y estaban enlazados entre sí, hacia 1950 se fusionaron ambas compañías en una sola. Ésta ofertó servicios de datos vía télex hacia 1957.

Bajo el amparo estatal, esta compañía creció de 1.6 millones de usuarios en 1972 a 8.8 millones de usuarios en 1990, cuando fue privatizado nuevamente. No fue sino hasta ese entonces cuando se ofrecieron en la RTPC nuevas aplicaciones para datos, enfocados al acceso a Internet, que ha resultado una demanda creciente.

Las aplicaciones y bases de datos no eran muy frecuentes y los servicios vía módem se hicieron presentes en forma importante hasta que se dio la explosión comercial con la introducción de Internet y los operadores. En escuelas y universidades no existía, como no existe en la actualidad, una red de cooperación e intercambio de información desarrollada por ningún medio. Se ha tratado de grupos científicos y económicos aislados, que sin embargo han cambiado conforme se da el cambio de tecnología. En el terreno inalámbrico, se observa una tendencia acorde con las tendencias globales generales, en el sentido de un aumento exponencial en el número de usuarios, potenciado por características del mercado y de la oferta tales como los servicios de telefonía pre - pagada o la política de "el que llama paga" implantada oficialmente por el gobierno mexicano a través de la SCT. A medida de que, en lo sucesivo, la convergencia de voz y datos pueda ser provista a través de terminales con capacidades tales como acceso a servicios de correo e información, el mercado mexicano acepta y demanda estas nuevas características.

Por esta razón, podemos anticipar la instalación de redes de comunicaciones inalámbricas de tercera generación en un plazo no muy lejano en México; antes de comprender cómo pueden ser instaladas estas redes, es necesario tener en cuenta a que se refieren y que capacidades proporcionan.

F a l t a

P á g i n a

12

## 2. Conceptualización de Tercera Generación de Comunicaciones Inalámbricas

### 2.1 Surgimiento de la Recomendación Mundial.

Como resultado de la evolución natural de la segunda generación de redes celulares, y con el propósito de desarrollar una red inalámbrica global capaz de ofrecer servicios de voz y datos con una calidad de servicio adecuada a las necesidades, las principales industrias de comunicaciones, operadores de redes, laboratorios de investigación y universidades han dado forma a una diversidad de proyectos que convergen en el esfuerzo de estandarización mundial llevado a cabo desde 1992 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones; en este sentido se aprueba y armoniza el marco para la instalación de una red inalámbrica global y de gran ancho de banda para asegurar la provisión de ciertos servicios que las redes actuales no pueden soportar, y erradicar una de las mayores debilidades de las redes actuales de comunicaciones inalámbricas: la incompatibilidad en su inter – operación; dicho trabajo está contenido en la recomendación UIT – R M.1168, "*Framework of International Mobile Telecommunications (IMT – 2000)*" aprobada en Octubre de 1995.

Este esfuerzo está basado y se recrea en la iniciativa de ETSI para una red mundial inalámbrica unificada como UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), , evolución del concepto europeo conocido anteriormente por FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunications Systems*), cuya concepción se facilita por el hecho de la convergencia tecnológica histórica en Europa, potenciada principalmente por la cercanía de fronteras particularmente en la parte continental: a esta convergencia global que comprende la provisión de nuevos servicios de comunicaciones móviles considerados como demandas actuales y futuras se denomina la tercera generación de sistemas de comunicaciones móviles.

Uno de estos ejemplos de propuestas evolutivas, que fue principalmente impulsado por industrias, universidades y laboratorios de investigación europeos, es el denominado FRAMES (*Future Radio Wideband Multiple Access System*) que forma parte de ACTS (*Advanced Communications Technology and Services*).

El propósito principal del proyecto FRAMES fue desarrollar una propuesta de interfase de radio, que cumpliera los requerimientos de la tercera generación de sistemas de radio móvil terrestre y que contribuyera al proceso de estandarización internacional. Ejemplos como este no son pocos y muestran el interés de diversos laboratorios y operadores, que finalmente intentan converger en una red compatible en escala mundial.

Estas tareas se han enfocado en forma principal hacia discusiones técnicas entre entidades regulatorias en el todo el mundo, incluyendo la UIT, entidades regionales como ETSI o ANSI y entidades locales (nacionales), así como también ha involucrado a centros de investigación y en menor medida a universidades, pero como se mencionaba con anterioridad, en su primera fase el avance en la elaboración de la norma ha estado determinado principalmente por los diferentes intereses técnicos y comerciales de las industrias de comunicaciones participantes.

De esta forma surge el concepto unificado de IMT – 2000, *International Mobile Telecommunications – 2000*<sup>1</sup>, concebido inicialmente para integrar la amplia variedad de tecnologías y servicios de comunicaciones móviles. La forma de trabajo para este esfuerzo conjunto es mediante el envío de propuestas, el análisis, síntesis y discusión de las mismas y pruebas en campo y mediante predicciones de mercado de las diferentes propuestas surgidas de ésta actividad.

---

<sup>1</sup> Nota: El término *International Mobile Telecommunications – 2000*, o *IMT – 2000* se establece de forma equivalente a tercera generación de comunicaciones móviles, siendo el término empleado oficialmente por la UIT

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

---

Esta idea se define y formaliza en una serie de recomendaciones emitidas por la UIT que surgen del trabajo conjunto de diferentes organismos, como ya hemos mencionado.

En principio la norma fue guiada por tendencias puramente tecnológicas por lo que siguieron existiendo esfuerzos paralelos por guiar la evolución de sistemas de comunicaciones móviles hacia la tercera generación que tomaran en cuenta la viabilidad comercial y la compatibilidad plena con la tecnología existente. Posteriormente la UIT reconoció la necesidad de integrar estos criterios en la definición de un sistema de tercera generación por lo que en la recomendación UIT-R M.1225 toma en cuenta factores no tecnológicos tales como el riesgo y la viabilidad comercial de una tecnología de radiotransmisión, entre otros, deben ser tomados en cuenta en el estándar IMT – 2000. Esta inclusión incorporó a la discusión global a las industrias de telecomunicaciones y permitió la convergencia de los diversos trabajos desarrollados hasta el momento.

Dentro de la variedad de sistemas antes mencionada, se considera la convergencia de redes satelitales de comunicaciones y de redes terrestres móviles, hacia un solo sistema global de comunicaciones inalámbricas.

La parte terrestre de la norma se denomina a menudo UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*) en la literatura. Sin embargo, UMTS no es en sí mismo IMT – 2000, sino uno de los proyectos dentro de todo el concepto de IMT – 2000 que está apoyado e impulsado por muchos de los operadores e industrias de comunicaciones, principalmente europeos, a través de la ETSI desde 1990 cuando fue conformado el grupo SMG5.

Tomando en cuenta lo anterior, el proyecto de evolución hacia la tercera generación de sistemas móviles es un proyecto ambicioso que permitirá proveer acceso a un usuario con independencia del lugar en donde se encuentre, considerando una infraestructura global de telecomunicaciones, debido a la amplia variedad de consideraciones en materia de regulación y armonización tecnológica que involucra.

Como evolución histórica de los sistemas actuales se definieron en principio 12 propuestas como Tecnologías de Radiotransmisión para sistemas IMT – 2000. Estas propuestas se anexaron desde las recomendaciones preliminares de las tecnologías de Radiotransmisión (RTT) y se resumen en la tabla 2.1 a continuación.

PROPUESTA	DESCRIPCIÓN	TIPO DE AMBIENTE				FUENTE
		Interior	Peatonal	Vehicular	Satelital	
DECT	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications, TDMA</i>	X	X	-	-	ETSI Project (EP) DECT
UWC – 136	<i>Time Division Multiple Access 3G</i>	X	X	X	-	TIA TR45.3
WIMS W – CDMA	<i>Wireless Multimedia and Messaging Services Wideband CDMA</i>	X	X	X	-	TIA TR46
TD – SCDMA	<i>Time-Division Synchronous CDMA</i>	X	X	X	-	China Academy of Tele-communication Technology (CATT)
W – CDMA	<i>Wideband CDMA</i>	X	X	X	-	ARIB (Japón)
Global CDMA II	<i>Asynchronous DS – CDMA</i>	X	X	X	-	TTA (Korea)
UTRA	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Harmonized Wideband CDMA (FDD), TD/CDMA (TDD)</i>	X	X	X	-	ETSI SMG
W-CDMA NA	<i>Wideband CDMA: North American</i>	X	X	X	-	ATIS T1P1
cdma2000	<i>Wideband CDMA</i>	X	X	X	-	TIA TR45.5
Global CDMA I	<i>Multiband Synchronous DS – CDMA</i>	X	X	X	-	TTA (Korea)
SAT – CDMA	<i>49 LEO sats. in 7 planes at 2000 km</i>	-	-	-	X	TTA (Korea)
SW – CDMA	<i>Satellite Wideband CDMA</i>	-	-	-	X	ESA
SW – CTDMA	<i>Satellite Wideband hybrid CDMA</i>	-	-	-	X	ESA
ICO RTT	<i>10 MEO Satellite in 2 planes at 10390 km</i>	-	-	-	X	ICO Global Comms
Horizons	<i>Horizons Satellite system</i>	-	-	-	X	Immarsat
INX	<i>INX mobile communications system</i>	-	-	-	X	Iridium LLC

**Tabla 2.1** Propuestas de Tecnologías de Radiotransmisión (RTTs)

Los servicios satelitales referidos en la tabla anterior complementan la visión de servicio global, permitiendo la provisión del servicio en áreas en las cuales las facilidades terrestres no lo permitan, por ejemplo, debido a una relación costo - beneficio prohibitiva en cuanto a la instalación de redes terrestres; en ese caso las tecnologías satelitales de radiocomunicación para la tercera generación absorben los picos de tráfico causados por variaciones rápidas e impredecibles en las redes inalámbricas terrestres, mediante el uso de haces de cobertura para la formación de células *sombrilla* implantadas con jerarquía de servicio para la distribución del tráfico.

De la tabla anterior, cabe resaltar que ninguna tecnología, por sí sola, cubre la parte terrestre y la parte satelital de la tercera generación inalámbrica, considerándose por lo tanto como tecnologías complementarias; sin embargo las experiencias recientes obtenidas de la explotación comercial de redes de satelitales para comunicación personal llevan a suponer que éstas redes servirán, como se señaló con anterioridad, como redes que absorban el desborde de tráfico presente en las redes inalámbricas instaladas en la Tierra, pero también que extiendan la cobertura de éstas últimas.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

---

Por lo tanto, las redes terrestres de tercera generación serán conformadas por sitios cuyas coberturas no sean demasiado extensas, debido tanto a las bandas de frecuencia en operación, como a la demanda de capacidad y el control del ruido en el sistema como un factor de degradación de la calidad. Por lo tanto no se considera viable, de entrada, implantar una red terrestre pura de tercera generación nacional, que incluya cobertura en sitios abiertos de características de población rural, a menos que exista algún servicio en particular que sea de sumo interés para el mercado y justifique dicho desarrollo. Sin embargo las tecnologías de radiotransmisión satelital son una alternativa para estos huecos de cobertura en el servicio terrestre.

La evaluación de las diferentes tecnologías de radio propuestas para IMT – 2000 se basa en la recomendación UIT – R M.1225 *"Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT – 2000"*.

El detalle de cada una de las RTTs aceptadas está contenido en la recomendación M.1457, *"Detailed specifications of the radio interfaces of IMT – 2000"*.

Las recomendaciones de la UIT – R (parte de radio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones), consisten en un conjunto de estándares de telecomunicaciones técnicos y operativos, anteriormente conocidos como recomendaciones de la CCIR. Dichos estándares son el resultado de estudios llevados a cabo por Grupos de Estudio de Radiocomunicación sobre:

- El uso del espectro de radiofrecuencia en las radiocomunicaciones terrestres y satelitales incluyendo el uso de órbitas satelitales.
- Las características y el desempeño de los sistemas de radio (excepto en lo referente a la interconexión de los sistemas de radio con las redes de comunicación públicas, así como tampoco el desempeño requerido para tales interconexiones, toda vez que forman parte de las recomendaciones de la UIT – T).
- La operación de las radiobases.
- Aspectos de radiocomunicación en materia de seguridad, alarmas y monitoreo.

De conformidad con la resolución UIT – R.1, tal como fue adoptada por la Asamblea de Radiocomunicación, las recomendaciones UIT – R son aprobadas por los estados miembros de la UIT. Su instalación no es obligatoria; sin embargo, debido a que son desarrolladas por expertos de organismos de regulación, operadores, la industria y otras organizaciones que tienen que ver con asuntos de radiocomunicaciones en todo el mundo, estas recomendaciones gozan de facto de una alta reputación y son implementadas de forma mundial. Esta situación se ve potenciada por la participación de asociaciones de industrias que representan al mercado y el desarrollo de los productos ipso facto en concordancia con la norma.

Abundando sobre las recomendaciones de la UIT – R, éstas se dividen en series, mismas que se mencionan en la tabla 2.2 a continuación.

Serie	Descripción
BO	<i>Servicio de Radiodifusión por Satélite (Sonido y Video)</i>
BR	<i>Sonido y Grabación de Televisión</i>
BS	<i>Servicio de Radiodifusión (Sonido)</i>
BT	<i>Servicio de Radiodifusión (Televisión)</i>
F	<i>Servicio Fijo</i>
IS	<i>Compatibilidad y Recusos Compartidos entre Servicios</i>
M	<i>Móvil, radiodeterminación, amateur y servicios de satélite relacionados</i>
P	<i>Propagación de radioondas</i>
RA	<i>Radioastronomía</i>
S	<i>Servicio fijo por satélite</i>
SA	<i>Aplicaciones espaciales</i>
SF	<i>Frecuencias compartidas entre servicios fijos por satélite y servicios fijos.</i>
SM	<i>Administración del espectro</i>
SNG	<i>Colección de Noticias por satélite</i>
TF	<i>Emisiones de Señales de Tiempo y Estándar de Frecuencias</i>
V	<i>Vocabulario y Temas relacionados</i>

**Tabla 2.2** Estructura de las recomendaciones de la UIT – R.

Las recomendaciones para la tercera generación de comunicaciones móviles se definen en las series M básicamente, tomando en consideración recomendaciones de otras series que se relacionen, garantizando con ello la compatibilidad de la norma.

Debido a se trata de un desarrollo sobre áreas ya explotadas tecnológica y comercialmente, en el proceso de conformar las recomendaciones mundiales no se puede ignorar la base de la cual parte: la tecnología y normas existentes, y para las cuales debe servir como un orden de evolución tecnológica y provisión de servicios. Es decir, representa la tecnología futura que extiende las capacidades de las tecnologías móviles actuales. Incluso la UIT acepta que los sistemas de segunda generación en operación actualmente continuarán su evolución, avanzando en términos de nuevos servicios y flexibilidad para incorporar capacidades multi – ambiente, incluso para el tiempo en que las redes de tercera generación se hayan ya implantado y estén siendo explotadas en un mercado masivo.

Los trabajos desarrollados hasta el momento han permitido que la UIT haya identificado el espectro para el alojamiento de la tecnología de comunicación inalámbrica de tercera generación IMT – 2000. Sin embargo, como primer obstáculo a la idea de “aldea global”, estas bandas de frecuencias no están disponibles en todo el mundo actualmente: en diferentes regiones las actividades de investigación de tercera generación de comunicaciones inalámbricas se han enfocado a la búsqueda y apoyo de consensos internacionales que lleven a una regulación favorable.

El plan de trabajo para la consecución en una norma se ha basado en el envío y discusión sistemáticos de propuestas al grupo de trabajo 8/1 de UIT, o UIT TG 8/1 (*Task Group 8/1*).

Con respecto a dichos sistemas propuestos, las propuestas sobre CDMA enviadas de Europa, Japón y Estados Unidos son muy similares, como analizaremos más adelante. Esto permite la oportunidad de generar un estándar mundial de una interfase de radio de tercera generación: sin embargo para ello debe existir un consenso único, no es suficiente con la similitud, si en la práctica no se logra la compatibilidad de los sistemas.

Por esta razón, las entidades 3GPP y 3GPP2 recientemente formadas tienen en el objetivo de armonizar las propuestas y definir las normas a detalle.

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

---

Algunas propuestas se enfocan principalmente en el nuevo espectro de IMT – 2000, mientras que otros considerados de “generaciones intermedias” como EDGE están relacionados más directamente con la introducción de servicios de IMT – 2000 en el espectro ocupado actualmente por los sistemas de segunda generación. La evolución y migración de éstos hacia sistemas de tercera generación toma en cuenta las inversiones realizadas para resguardarlas en tanto sean útiles y necesarias en este proceso evolutivo.

Algunas entidades – conformadas mayoritariamente por laboratorios de investigación, empresas y operadores – proponen un plan de evolución para implantar tercera generación en el espectro de PCS americano y europeo, de tal forma que sea posible un modo viajero internacional, así como también simplificar, en la medida de lo posible, procesos locales de licitación e instalación de redes nuevas en la mayor parte de los países. Esta aproximación enfoca la transición hacia tercera generación como un proceso evolutivo a ser implantado por fases, en donde sólo hasta las últimas fases se alcancen tasas de transmisión equivalentes a RDSI, y por lo tanto el impacto en la atribución de frecuencias se minimice.

Respecto a los servicios ofrecidos para la tercera generación de comunicaciones inalámbricas, la diferencia fundamental con sus antecesoras, es que IMT – 2000 se debe enfocar en la provisión de servicios de datos; principalmente datos a los que se pueda dar una calidad de servicio que permita priorizar su transmisión de acuerdo a su contenido. Esto se debe a que sólo a partir de un canal de información que establezca y mantenga los recursos suficientes para transmisión de datos a alta velocidad es factible proveer servicios tales como los enfocados a multimedia, acceso a Internet de alta velocidad que permita la navegación y consulta con una resolución y rapidez similares a las redes de datos alámbricas actuales, como las basadas en RDSI, y acceso a bases de datos para transacciones inalámbricas en línea de grandes volúmenes de información.

A partir de estas consideraciones debe garantizarse también la calidad de servicio adecuada para servicios de voz, considerando que éstos son sensibles al retraso al igual que otros específicamente de multimedia, y no proporcionar servicios de datos “agregados” sobre una plataforma diseñada para proveer servicios de voz como se ha asumido hasta la segunda generación, como es el caso de los Servicios de Comunicaciones Personales, PCS.

Por este aspecto se torna crítica la elección de las técnicas de acceso múltiple al canal, así como la lógica de control de las terminales.

Sin embargo sigue siendo claro que debido a las exigencias tecnológicas de las industrias de telecomunicaciones y a la trayectoria de evolución tradicional de estas, las redes de datos evolucionan de las redes de voz y no al revés, por lo cual no es de extrañar que para la tercera generación también se tome en cuenta como prioridad la provisión de servicios de voz y se parte de la garantía de otorgar este servicio.

Adicionalmente, una característica esencial de la tercera generación de sistemas móviles debe ser la flexibilidad para adaptarse a nuevos tipos de servicios, de voz y de datos de modo que no se requieran cambios mayores con la introducción de servicios futuros de ese tipo.

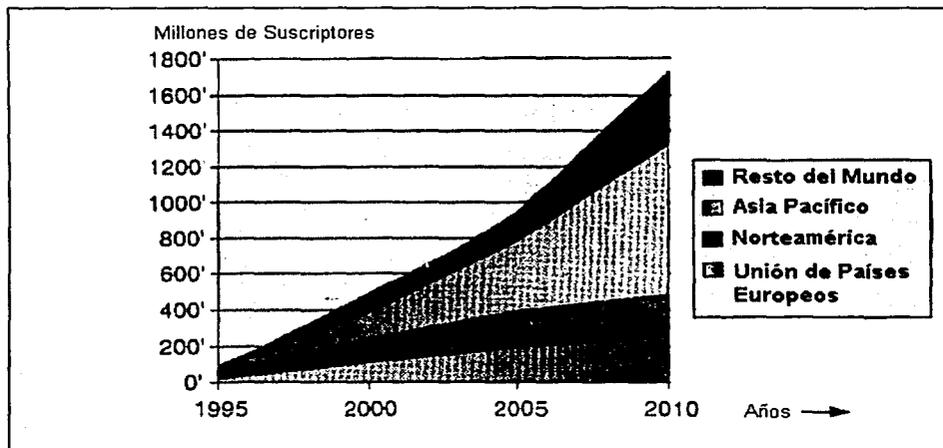
## 2.2 Estimación de crecimiento y requerimiento de las redes.

Las expectativas de mercado para sistemas de radio móviles como los sistemas celulares estiman una demanda creciente de una diversidad de servicios más allá de los tradicionales servicios de voz y valor agregado de estos; en esta amplia variedad se esperan tanto servicios de voz, servicios de datos con tasas bajas de transmisión, como también servicios de datos que requieren tasas de transmisión más elevadas, incluyendo servicios inalámbricos avanzados como multimedia móvil en tiempo real, lo cual es muy difícil de proporcionar en un ambiente inalámbrico por la gran cantidad de recursos que implica. Esta demanda esperada lleva a la definición de requerimientos técnicos que sólo pueden ser cubiertos por una nueva generación de sistemas de radio, IMT – 2000, que están siguiendo el proceso de estandarización a nivel mundial.

Dentro de estos están considerados tanto servicios orientados a conmutación de paquetes (típicamente datos) como aquellos orientados a conmutación de circuitos tales como voz. Además estos sistemas operarán en todos los entornos de radio para proporcionar servicio a todos, en cualquier instante y en cualquier lugar. Esto al menos, como una condición ideal del mercado mundial para conformar una aldea global de información.

En el análisis de estas expectativas es necesario considerar el crecimiento explosivo, ciertamente elevado, a raíz del establecimiento exitoso de los sistemas de segunda generación en todo el mundo, que han extendido la cantidad de servicios proporcionados, principalmente a través de servicios digitales de valor agregado al servicio de voz, pero que sobre todo han sobrepasado las expectativas iniciales en número de usuarios por muy diversas razones.

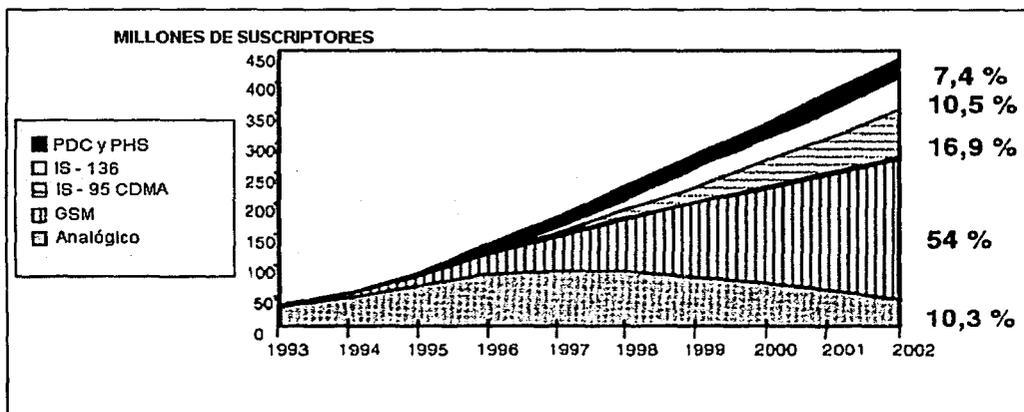
En este sentido, el *UMTS Forum* predijo un número de suscriptores móviles de alrededor de 400 millones en el año 2000 en todo el mundo, y cerca de 1800 millones de suscriptores hacia el año 2010, presentándose especialmente en Asia este fenómeno de crecimiento exponencial sostenido, como se muestra en la figura 2.3.



2.3 Predicción de Suscriptores Móviles del *UMTS Forum*.

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

En cuanto a las tecnologías de acceso empleadas, que conforman los sistemas de segunda generación operando en la actualidad, el mismo *UMTS Forum* prevé un dominio de GSM sobre las demás tecnologías, con un decaimiento natural en el número de suscriptores del sistema AMPS analógico tal como se indica en la gráfica de la figura 2.4 con provisiones de estas tecnologías hasta el año 2002. De ambas gráficas se establece que la tendencia observada actualmente predice que continúe, por lo que, aunque variante en cada región del mundo, GSM se perfila como la tecnología de segunda generación dominante, aunque resulta significativa la penetración esperada de esta tecnología en el mercado asiático.

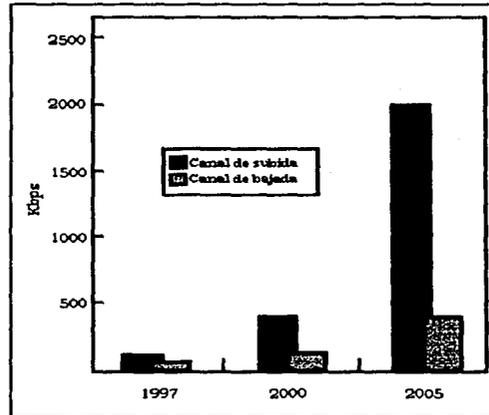


2.4 Segmentación del Mercado Móvil por Tecnología

En contraparte, es difícil predecir el comportamiento de los sistemas de segunda generación en un futuro más allá del inmediato debido a que la demanda de servicios puede rebasar su capacidad limitada por las tasas de datos máximas a las que se puede transmitir información. Un ejemplo claro de esta deficiencia es que, de acuerdo con el *UMTS Forum*, el 60% del tráfico en Europa será demandando servicios de tipo multimedia hacia el año 2010, y a nivel mundial se espera un incremento en el número de suscriptores con este tipo de servicios de 3 millones en el año 2005 hasta 10 millones en el año 2010, promediando una transferencia mensual de 30 Mbytes/usuario.

De acuerdo con todos los preceptos buscados por el concepto que engloba IMT – 2000, se considera una provisión futura de servicios de datos de tasas de transmisión hasta 2 Mbps máximos en el *enlace de bajada* con un criterio de transmisión altamente asimétrico de forma que se haga un uso eficiente de los recursos disponibles considerando este punto como crítico, particularmente del espectro y anchos de banda requeridos, cuya disponibilidad para un servicio representa una merma en la capacidad del sistema en sí aún cuando las técnicas de modulación, codificación y transmisión se mejoren aplicadas a estos sistemas futuros.

Estas predicciones de requerimientos estimados de tasas de transmisión en el enlace de bajada y en el enlace de subida son similares tanto de la *GSM Association* como del *UMTS Forum* como se observa en las gráfica de tráfico de datos indicada en las figura 2.5 a continuación.



**Gráfica 2.5.** Predicción de Tasas de Transmisión, *UMTS Forum*

En la tercera generación de sistemas (IMT – 2000/UMTS), estas diversas necesidades de servicios son soportadas de un modo de eficiencia espectral logrado por una combinación de duplexaje en tiempo y en frecuencia (FDD/TDD). La componente de duplexaje en frecuencia, FDD, soporta cobertura en áreas amplias territorialmente hablando y principalmente para servicios simétricos tales como voz o intercambio de mensajes cortos. En tanto, el duplexaje en tiempo, TDD, es óptimo para servicios con requerimientos asimétricos: por consiguiente, únicamente la oportunidad de combinar ambos métodos proveerá una eficiencia máxima así como flexibilidad necesaria para redes de tercera generación.

La capacidad de cada célula depende en gran medida del comportamiento de los usuarios en términos de tasas de datos requeridas, *throughput* y servicios empleados. Por lo tanto, la demanda de servicios con tasas elevadas de transmisión de datos requiere una provisión suficiente en el espectro de frecuencia para los proveedores enfocados hacia un mercado masivo, siendo prioritario desde luego ofrecer el grado de servicio y calidad de servicios suficientes.

Aunque teóricamente estos mercados masivos son apoyados por la comisión europea y están considerados en IMT – 2000, debido al papel preponderante de las empresas de comunicaciones en la definición de la norma, en la práctica no es posible asignar tal cantidad de espectro y por consiguiente no resulta viable, al menos en principio, proveer servicios de comunicaciones multimedia con requerimientos elevados de tasas de transmisión.

### 2.3 Requerimientos de Espectro.

Debido a que la norma considera la provisión de servicios inalámbricos con independencia del lugar en donde se encuentre el usuario de la terminal móvil, los requerimientos que pueden plantearse para que sea posible establecer un sistema apegado a los objetivos que persigue se ubican en un rango muy amplio de tópicos.

En lo sucesivo nos enfocaremos a tratar los requerimientos que, en materia de uso de frecuencias, son necesarios considerar dentro de la norma IMT – 2000. Estos se encuentran definidos en la recomendación UIT-R M.1390, aprobada el 14 de Enero de 1999, para la parte terrestre a la cual nos enfocaremos, y en la norma UIT – R M.1391 para la parte satelital.

#### 2.3.1 Espectro Armonizado

Debido a la dificultad y el costo implícito para desarrollar y manejar estaciones base multiplataforma y multibanda, resulta mucho más viable impulsar de una forma abierta las estaciones móviles con características de tercera generación.

Esto explica la necesidad de contar con al menos una banda de frecuencias con el ancho de banda suficiente para integrar canales de servicios de alta velocidad (HS) que cumplan con los requerimientos de tráfico proyectados.

Debido a la gran demanda del espectro radioeléctrico para una gran variedad de servicios y sistemas, y a la economía inherente a la que este hecho obliga, no se prevé la existencia de una banda armonizada mundialmente en la que trabajen cualquier terminal y estación base de tercera generación independientemente de la región en la que se encuentre el usuario de un sistema tipo IMT – 2000, con suficiente capacidad de tráfico y ancho de banda por canal para la provisión de todos los servicios, especialmente aquellos que involucran multimedia debido a que los anchos de banda por canal resultan prohibitivos.

Los factores relevantes para el espectro en los sistemas de comunicaciones móviles futuros son:

- Los sistemas de tercera generación están definidos por una serie de recomendaciones interdependientes de la UIT, los requerimientos del espectro deben estar contenidas en una o más.
- Las bandas de 1885 – 2025 MHz y de 2110 – 2200 MHz se planean para el uso mundial de todos los organismos de regulación que desean implantar tercera generación. Esto no limita su uso para otros servicios alojados en ellas. Las bandas, sin embargo, deben estar disponibles para tercera generación de comunicaciones inalámbricas [9]
- Las disposiciones de regulación del espectro radioeléctrico permiten la colocación de bandas IMT – 2000 en las porciones de 1980 – 2010 MHz y 2170 – 2200 MHz de MSS en forma mundial.

MSS es un concepto de un sistema de tercera generación que comprende tanto la componente satelital como la terrestre. Es decir, define un sistema IMT – 2000 completo con capacidad de modo viajero mundial y prestación de servicios de tercera generación.

Es difícil predecir la aparición futura de un mercado para MSS, lo cual se confirma con la quiebra del proyecto *Iridium* que estaba considerado como una RTT propuesta.<sup>2</sup>

- Las reglamentaciones en materia de radiofrecuencia también alojan a MSS en las bandas 2010 – 2025 MHz y 2160 – 2170 MHz en la región 2.
- Porciones de las bandas 1885 – 2025 MHz y 2110 – 2200 MHz, identificadas para la instalación de tercera generación, están siendo usadas por servicios terrestres fijos en la disposición actual del espectro.
- Se esperan diferentes categorías de servicios en diferentes ambientes, por lo que pueden acotarse las bandas y los anchos de banda requeridos en cada caso.
- Los sistemas futuros de tercera generación pueden incluir el uso de un rango amplio en el tipo de células agrupados en un solo sistema, los cuales varían desde pequeñas células pico para cobertura en interiores hasta grandes celdas satelitales en una ubicación dada.
- Los cálculos de los requerimientos de espectro implican consideraciones de escenarios de desarrollo típicos de tercera generación.
- La eficiencia de uso del espectro requiere tomar en cuenta los balances entre los costos de instalación de un sistema 3G y el ancho de banda necesario.

Relativo a la componente terrestre:

- En algunos países, existen sistemas de segunda generación en operación en la parte baja de la banda IMT – 2000 ubicada en 1885 – 2025 MHz. Dichos sistemas son:
  - Digital Enhanced Cordless Telephone (DECT), opera en 1880 – 1900 MHz.
  - Personal Handy Phone Service (PHS), opera en 1893.5 – 1919.6 MHz.
  - Sistemas de Servicios de Comunicaciones Personales (PCS) basados en estándares norteamericanos, emplean una separación duplex de 80 MHz en la banda de 1850 – 1990 MHz.
- Los organismos de regulación considerarían la flexibilidad suficiente a los operadores para que éstos seleccionen el uso de las bandas de frecuencia actualmente establecidas de tal forma que la tercera generación de comunicaciones inalámbricas sea una plataforma de evolución desde los sistemas actuales de segunda generación hacia sistemas inalámbricos de tercera generación con capacidades de IMT – 2000.
- Los requerimientos iniciales del espectro de la componente terrestre de IMT – 2000 fueron estimados anteriormente a 1992, tiempo en el que el énfasis de los servicios digitales se enfocaba primeramente a servicios de voz en tanto que los sistemas IMT – 2000 proveerán una variedad de servicios de datos de banda ancha y multimedia además de los servicios de voz.

Como se aprecia en la tabla 2.6 a continuación, se puede estimar un requerimiento espectral total igual en todas las regiones, en la parte terrestre de los sistemas inalámbricos de comunicaciones de tercera generación, con base en los cálculos realizados en la recomendación M.1390.

---

<sup>2</sup> Vid supra. Cap. 4. Pág. 3

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

<b>Región</b>	<b>Espectro Total estimado para el año 2010 [MHz]</b>
Región 1	532
Región 2	532
Región 3	532

**Tabla 2.6** Resumen de Requerimientos de Espectro  
Para Sistemas Inalámbricos Terrestres IMT - 2000

En la búsqueda de un ancho de banda global aplicable a todas las regiones para sistemas inalámbricos, se determinó el valor anterior tras haber considerado en cada caso los parámetros y predicciones de mercado regionales. Para propósitos de presentación, la respuesta aplicable globalmente se establece de forma separada para cada caso.

Los análisis fueron llevados a cabo desde investigaciones de mercado, hechos por muy diversas asociaciones de industrias en conjunto con firmas de analistas reconocidas. Después de un extenso debate entre entidades representativas de las tres regiones, fue posible obtener un pronóstico global unificado para IMT - 2000. Este promedio unificado es una amalgama razonable de cada región individual e indica en forma verídica la naturaleza global de IMT - 2000 a la vez de que conserva la cercanía con las visiones expresadas en forma regional sobre la demanda futura para los sistemas inalámbricos comerciales. Por esta razón deben tenerse consideraciones en las diferentes regiones, respecto al servicio asignado a los servicios pre-IMT - 2000. Debido a que los cálculos terrestres incluyen tanto tráfico pre-IMT - 2000 como tráfico IMT - 2000, es previsible que sea requerido espectro terrestre adicional para que los sistemas IMT - 2000 puedan ofertar la diversidad de servicios de banda ancha para los que son proyectados, cubriendo así la demanda hacia el año 2010.

Esto sin embargo, es diferente para cada región. Por ejemplo, en algunos organismos reguladores de Región 2, los 532 MHz totales incluyen 190 MHz ya asignados a servicios de radiolocalización, celular, PCS y ESMR.

Esto afecta principalmente en el hecho de que no es posible asignar el mismo espectro en todas las regiones, aún cuando pueda garantizarse el ancho de banda empleando tanto porciones disponibles del espectro como recolocación de los servicios actuales.

La tabla 2.7 presenta una compilación de los requerimientos de anchos de banda estimados hacia el año 2010 para los servicios inalámbricos, desglosando aquellos que se prestan actualmente y aquellos que serán provistos en un futuro considerando que serán completamente operacionales en dicho año, catalogados como servicios de tercera generación en sistemas tipo IMT - 2000.

<b>Región</b>	<b>Servicios de 1G, 2G y 2G+ [MHz]</b>	<b>Servicios de 3G [MHz]</b>	<b>Total para IMT - 2000 [MHz]</b>
Región 1	211	321	532
Región 2	211	321	532
Región 3	211	321	532

**Tabla 2.7** Resumen de Requerimientos de Espectro  
Para Sistemas Inalámbricos de 1G a IMT - 2000

Los servicios actuales (servicios 1G, 2G y 2G+) son servicios de voz, mensajes cortos o simples y servicios de datos conmutados. Los nuevos servicios IMT – 2000 (servicios de tercera generación) incluyen multimedia de requerimientos moderados, multimedia de requerimientos altos y multimedia altamente interactiva.

Se asume que, debido a que los requerimientos de los servicios actualmente ofertados están aproximadamente cubiertos por la distribución presente del espectro radioeléctrico, la industria inalámbrica móvil (incluyendo fabricantes y operadores) será capaz de evolucionar, con un plan de provisión de recursos de canales de radiofrecuencia y con base en alianzas, los sistemas existentes para su crecimiento futuro efectuando los cambios necesarios en las interfases de aire para incorporar la eficiencia y capacidad de sistemas con tecnología IMT – 2000, estas incorporaciones son el requerimiento de ancho de banda considerado bajo el rubro "Servicios de 3G" en la tabla anterior.

La definición de los servicios para IMT – 2000 está provista en la recomendación UIT-R M.816, "Framework for Services Supported by IMT – 2000", de dicha recomendación se basan los cálculos para el espectro terrestre necesario de tal forma que las normas resultan consistentes. En general se tienen servicios de aplicación y servicios de portadora; estos últimos, empleados en el cálculo del espectro requerido, son los que se muestran en la tabla 2.9 que sigue.

TIPO DE SERVICIO	DESCRIPCIÓN	TASA DE TX [Kbps] / QoS
Servicios de Voz	Ofrecidos desde primera generación de sistemas móviles	"Calidad total"
Mensajes Simples	Servicio de Mensajes cortos de una o dos vías	hasta 14
Datos Conmutados	Emplea circuitos conmutados	hasta 64
Servicios Asimétricos de Multimedia	Tráfico mayor en el <i>enlace de bajada</i> , que pueden ser de demanda media (MMM) o de demanda alta (HMM). Ejemplos de estos son acceso a Internet y LAN, video en movimiento y telemedicina no interactiva.	HMM:2Mbps <i>enlace de bajada</i> 128kbps <i>enlace de subida</i> . MMM:384 kbps <i>enlace de bajada</i> 64 kbps <i>enlace de subida</i>
Servicios Simétricos de Multimedia	Se caracteriza por un flujo igual de tráfico en <i>enlace de subida</i> y en <i>enlace de bajada</i> . Estos son implementados a través de circuitos conmutados para proporcionar las limitantes de tiempo real de las aplicaciones.	128 kbps ó 364 kbps
Fase II	El plan actual de IMT – 2000 implica implementar los servicios por fases. Donde la Fase I considera una tasa de transmisión máxima de 2 Mbps. La fase II implica servicios que requieran tasas mayores, similares a RDSI, como video de alta definición.	Entre 2 Mbps y 10 Mbps.

**Tabla 2.8** Categoría de Servicios de Portadora considerados para el cálculo de la estimación del espectro requerido

Para considerar el cálculo del espectro requerido se emplea el concepto de *tasa de penetración* de los sistemas. La tasa de penetración es la relación de los suscriptores móviles del sistema terrestre para cada caso, y el número de habitantes presentes en un área representativa que se considere (por ejemplo, el área de una celda, un kilómetro cuadrado o algo equivalente).

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

En términos de mercadotecnia, esto es demanda estimada, y es igual al porcentaje total de la población suscrito a un determinado servicio.

Los parámetros usados en la metodología del cálculo se detallan en la tabla 2.9 a continuación:

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	VALOR
Densidad de Población	Es la cantidad de suscriptores potenciales que se encuentran en un área, esto considera a todos los habitantes de dicha área. El valor se basa en un reporte de la Comisión Europea <sup>3</sup> .	En interiores: 60,000 personas/piso/km <sup>2</sup> . En urbano – peatonal: 100,000 personas/km <sup>2</sup> . En urbano – vehicular: 3,000 personas/ km <sup>2</sup> .
Área de la Celda	Pese a que la evolución tecnológica puede permitir una capacidad de celdas de muy alta densidad, las dificultades prácticas implícitas en encontrar sitios adecuados y obtener autorización para operarlos hacen del control de células un aspecto relevante. La selección del radio de las células refleja el balance de las consideraciones económicas, técnicas y de ingeniería del diseño.	En urbano de alta densidad: 80 m. de diámetro (5,000 m <sup>2</sup> ). En urbano – peatonal: 600 m de vórtice por sector (312,000 m <sup>2</sup> ) En urbano – vehicular: 600 m de vórtice por sector (312,000 m <sup>2</sup> )
Tasa de Penetración	Razón del número de suscriptores para cada servicio y el número total de personas (suscriptores potenciales) presentes en un área representativa bajo consideración (por ejemplo, el área de una célula, un kilómetro cuadrado o alguna medida equivalente).	Ver Tabla 2.10.1
Intento de Llamada en Hora Pico (BHCA)	Define una parte importante de las características del tráfico en el modelo de estimación del espectro. Es difícil de predecir, especialmente para servicios multimedia o futuros. Se espera un comportamiento del tráfico completamente variable a lo largo de un día para los diversos servicios, lo cual puede ser influenciado incluso por aplicación de diferentes tarifas que no han sido previstas durante esta estimación.	Ver tabla 2:10.2
Duración de la Llamada	Este es el tiempo en el cual el recurso (canal de comunicación) está ocupado para una sola llamada. Los valores se basan en la búsqueda en la literatura <sup>4</sup> .	Ver Tabla 2.10.3
Factor de Actividad	Es un parámetro para servicios de conmutación de paquetes. Típicamente un circuito conmutado tiene un factor de actividad de 1 dado que se emplea en ambas direcciones todo el tiempo. Sin embargo, en el caso de voz se asigna un factor de actividad de 0.5 ya que, en promedio, la información se envía en cualquier dirección sólo la mitad del tiempo.	Ver Tabla 2.10.4
Calidad de Servicio (QoS)	(Establecido en la recomendación UIT – R M.1079 –1). Este parámetro depende del tipo de tráfico de la red: Información sensible a retrasos transmitida por conmutación de circuitos para una amplia disponibilidad de grupos troncales, tales como voz, datos conmutados y tráfico de HIMM, se caracterizan por la fórmula B de tráfico de Erlang. Tráfico transmitido por conmutación de paquetes en el que se requieren conocer los Canales de Servicio por Grupo mediante la fórmula de Erlang C, lo constituye aquel tráfico no sensible a retrasos y transmitido en ráfagas como SM, MMM y HIM.	Para Circuitos Conmutados: 2% ó 1%, donde 1% refleja la QoS comparable a una red fija, la variación de sólo este parámetro implica una variación de 1.6% en el ancho de banda requerido. Para Paquetes Conmutados: Satisfactorio si el <i>throughput</i> de la sesión es al menos igual al 50% de la tasa nominal de bits, en un periodo igual a la duración de la sesión.

<sup>3</sup> Referencia: CEC Deliverable R2066/SESA/GA2/DS/P/030/b1 “Results of traffic modelling for UMTS”

<sup>4</sup> Las siguientes son referencias que contienen información respecto a la estimación de la duración de la llamada: E. Anderlind y J. Zander, “A Traffic Model for Non-Real-Time Data Users in a Wireless Radio Network”, IEEE Communications Letters, Vol. 1, No. 2, pp- 37-39, Marzo 1997.

R.Stain y S. Routhier, “Packet Trains – Measurements and a New Model for Computer Network Traffic”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. SAC-4, No. 6, pp. 986 – 995m Septiembre 1986.

UIT – R Document 8-17INFO/2: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS): Selection of Procedure for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS (UMTS 30.03 Versión 3.1.0).

Tercera generación de comunicaciones inalámbricas en México

PARAMETRO	DESCRIPCION	VALOR
Número de Células por Grupo	Este parámetro describe el número de células que se conjuntan para propósitos de aplicación de tráfico y QoS.	Se determina en 7 que representa la célula bajo análisis completamente rodeada de 6 células similares en una representación hexagonal del sistema celular.
Tasa de Transmisión en el Canal de Servicio	Es la tasa de datos del tráfico transmitido y cualquier encabezado requerido, por ejemplo para efectos de señalización y sincronía. La metodología se refiere a la Tasa de Bits Neta por Usuario que es la tasa de datos del tráfico únicamente. Debido a que la longitud del encabezado se desconoce, para efectos de simplicidad se considera que sea igual a la Tasa de Bits Neta por Usuario.	Ver Tabla 2.10.5
Capacidad Neta del Sistema	Representa los valores promedio para las células que transmiten tráfico mezclado en una red cargada durante la hora pico. Se emplean para estimar el requerimiento total de espectro tanto para sistemas de 2a como de 3a generación. Este valor es inversamente proporcional a dicho requerimiento. Aunque está relacionado con las eficiencias espectrales, no son exactamente iguales: Las eficiencias espectrales para sistemas de 3a. generación son estimaciones teóricas que resultan de diversas consideraciones sobre varios escenarios. La capacidad de un sistema se desarrolla mediante simulaciones y se valida en sistemas operando.	Se ha concluido una capacidad neta del sistema de 125 kbps/MHz/célula para servicios de comunicación de datos y de 70 kbps/MHz/célula para servicios de voz.
Factor Alfa	Provee una ponderación apropiada de factores que pueden ser específicos del ambiente o servicio particular, los cuales son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajuste para los desniveles geográficos en un traslape de entornos.</li> <li>- Corrección para requerimientos de horas pico no simultáneos.</li> </ul>	Tiene un valor de 1. Probado para diferentes pronósticos de tráfico y entornos geográficos, se determina que el valor unitario es la opción más aplicable.
Factor Beta	Es independiente de cualquier ambiente o servicio, pondera aspectos que son: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Múltiples redes y operadores (eficiencia troncal o espectral reducida).</li> <li>- Modularidad del espectro, y</li> <li>- Bandas de guarda</li> </ul> <p>Es decir, considera que se requiere un espectro adicional en un ambiente multi – operador, el cual comercialmente es deseable que se presente.</p>	Considerando múltiples operadores y redes $\beta = 1.17$ . (valor para 4 operadores) Considerando bandas de guarda: $\beta = 1.04$ . Considerando modularidad (de canal y el ancho de banda del servicio) $\beta = 1.02$ . Por lo tanto, el valor total para el cálculo del espectro sumando los componentes es: $\beta = 1.23$ .

Las estimaciones de la tasa de penetración consideradas varían en términos del ambiente del que se trate así como del servicio, dichas estimaciones se presentan en la tabla 2.10.1 a continuación.

SERVICIOS <sub>s</sub>	AMBIENTE <sub>E</sub>		
	Alta Densidad, Interiores (CDB)	Urbano – Peatonal	Urbano – Vehicular
Voz (S) 16 kbps en cada dirección	73%	73%	73%
Mensajes Simples (SM) 14 kbps en cada dirección	40 %	40 %	40 %
Datos Conmutados (SD) 64 kbps en cada dirección	13%	13%	13%
Multimedia Medio (MMM) Enlace de bajada/Enlace de subida: 384/64 kbps	15%	15%	15%
Multimedia Alto (HMM) Enlace de bajada/Enlace de subida: 2 Mbps/128 kbps	15%	15%	15%
Multimedia Interactiva (HIMM) 128 kbps en cada dirección	25%	25%	25%

Tabla 2.10.1 {Tasas de Penetración}ES terrestres esperadas para el 2010

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

Puede apreciarse que las tasas de penetración en los diferentes ambientes son iguales ya que no se prevé una oferta de servicio diferenciada significativa para un ambiente determinado de parte de los operadores, por lo que virtualmente en cualquier ambiente se tiene la misma cantidad de suscriptores.

Las estimaciones del parámetro BHCA presentan gran variabilidad, en algunos casos están basadas en análisis de tráfico real, llevados a cabo entre 1996 y 1998, en particular con referencia a los servicios actualmente provistos. Estos valores se establecen en la tabla 2.10.2 a continuación:

SERVICIOS <sub>s</sub>	AMBIENTE <sub>E</sub>					
	Alta Densidad, Interiores (CDB)		Urbano – Peatonal		Urbano – Vehicular	
	ENLACE DE SUBIDA	ENLACE DE BAJADA	ENLACE DE SUBIDA	ENLACE DE BAJADA	ENLACE DE SUBIDA	ENLACE DE BAJADA
Voz (S) 16 kbps en cada dirección	3	3	0.8	0.8	0.4	0.4
Mensajes Simples (SM) 14 kbps en cada dirección	0.6	0.6	0.3	0.3	0.2	0.2
Datos Conmutados (SD) 64 kbps en cada dirección	0.2	0.2	0.2	0.2	0.02	0.02
Multimedia Medio (MMM) Enlace de bajada/Enlace de subida: 384/64 kbps	0.5	0.5	0.4	0.4	0.008	0.008
Multimedia Alto (HMM) Enlace de bajada/Enlace de subida: 2 Mbps/128 kbps	0.15	0.15	0.06	0.06	0.008	0.008
Multimedia Interactiva (HIMM) 128 kbps en cada dirección	0.14	0.14	0.07	0.07	0.011	0.011

**Tabla 2.10.2** {BHCA}<sub>ES</sub> terrestres esperadas para el 2010

Los valores para el parámetro de Duración de la Llamada se proveen en la tabla 2.10.3.

En el caso de los servicios multimedia, la duración de la llamada de 3,000 segundos puede parecer excesiva a primera vista, sin embargo debe tenerse en cuenta que se considera en conjunto con el factor de actividad, el cual tiene en consideración la ocupación real del canal para tal servicio de paquetes conmutados.

SERVICIOS <sub>s</sub>	AMBIENTE <sub>E</sub>		
	Alta Densidad, Interiores (CDB)	Urbano – Peatonal	Urbano – Vehicular
	Voz (S) 16 kbps en cada dirección	180	120
Mensajes Simples (SM) 14 kbps en cada dirección	3	3	3
Datos Conmutados (SD) 64 kbps en cada dirección	156	156	156
Multimedia Medio (MMM) Enlace de bajada/Enlace de subida: 384/64 kbps	3,000	3,000	3,000
Multimedia Alto (HMM) Enlace de bajada/Enlace de subida: 2 Mbps/128 kbps	3,000	3,000	3,000
Multimedia Interactiva (HIMM) 128 kbps en cada dirección	120	120	120

**Tabla 2.10.3** {Duración de la Llamada}<sub>ES</sub> terrestre esperadas para el 2010

En el cálculo del factor de actividad, se emplea un modelo de tráfico por paquetes cuyos parámetros son:

- Número de Llamadas de Paquetes por Sesión (NPCPS)
- Número de Paquetes por Llamada de Paquetes (NPPPC)
- Número de Bytes por Paquete (NBPP)
- Tiempo inter-llegada de Llamada de Paquetes (PCIT, en segs)
- Tiempo inter-llegada de Paquetes (PIT, en segs)
- Tasa de Transmisión (en kbps)

Cuya relación se observa de forma clara en la figura 2.11 a continuación.

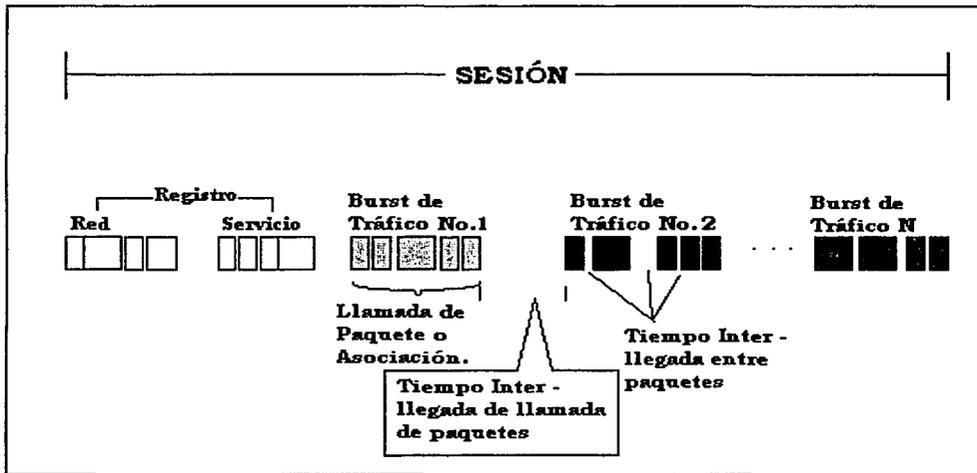


Figura 2.11. Modelo de Comunicación por Paquetes

Del modelo descrito en la figura anterior, se tiene que considerar que los parámetros corresponden a funciones estadísticas de las que los valores NPPPC, NPCPS, PIT son los esperados.

Con base en este modelo, el tiempo de transmisión de un paquete puede ser calculado como:

$$t_{TX\_PAQUETES} = \frac{(NPCPS)(NPPPC)(NBPP)(8 \text{ bits/byte})}{1,024 \text{ bits/kbyte/Tasa\_de\_Tx}} [s]$$

Asimismo, el tiempo total de la sesión está dado por:

$$t_{TOTAL\_SESIÓN} = t_{TX\_PAQUETES} + \{[PCIT(NPCPS - 1)] + [PIT(NPPPC - 1)]\} [s]$$

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

Finalmente, el factor de actividad expresado en la tabla 2.10.4, tomado en cuenta para la estimación del ancho de banda requerido en sistemas IMT – 2000, se obtiene de la fórmula:

$$\{Factor\ de\ Actividad\}_{ES} = \frac{t_{TOTAL\_SESIÓN}}{t_{TX\_PAQUETES}}$$

Con base en el modelo mostrado, se tiene la tabla 2.10.4 presentada a continuación en función del ambiente y del servicio prestado,  $\{Factor\ de\ Actividad\}_{ES}$ , considerando las diferencias inherentes en los valores de los parámetros del modelo.

SERVICIOS <sub>s</sub>	AMBIENTE <sub>e</sub>					
	Alta Densidad, Interiores (CDB)		Urbano – Peatonal		Urbano – Vehicular	
	ENLACE DE SUBIDA	ENLACE DE BAJADA	ENLACE DE SUBIDA	ENLACE DE BAJADA	ENLACE DE SUBIDA	ENLACE DE BAJADA
Voz (S) 16 kbps en cada dirección	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Mensajes Simples (SM) 14 kbps en cada dirección	1	1	1	1	1	1
Datos Conmutados (SD) 64 kbps en cada dirección	1	1	1	1	1	1
Multimedia Medio (MMM) Enlace de bajada/Enlace de subida: 384/64 kbps	0.00285	0.015	0.00285	0.015	0.00285	0.015
Multimedia Alto (HMM) Enlace de bajada/Enlace de subida: 2 Mbps/128 kbps	0.00285	0.015	0.00285	0.015	0.00285	0.015
Multimedia Interactiva (HIMM) 128 kbps en cada dirección	1	1	1	1	1	1

**Tabla 2.10.4**  $\{Factor\ de\ Actividad\}_{ES}$  terrestres esperado para el 2010

Las tasas por usuario se muestran en la tabla 2.10.5 a continuación:

Servicio	Tasa de Bits por Usuario
Voz (S)	16 kbps
Mensajes simples (SM)	14 kbps
Datos Conmutados (SD)	64 kbps
Servicios Asimétricos de Multimedia	HMM: 2,000 kbps/128 kbps ( <i>enlace de bajada/enlace de subida</i> ) MMM: 384 kbps/ 64 kbps ( <i>enlace de bajada/enlace de subida</i> )
Servicios Simétricos de Multimedia	Se consideran de dos tipos: - A 128 kbps en cada dirección - A 384 kbps en cada dirección Aunque se define como "un bloque básico para HIMM el servicio a 128 kbps teniendo que 384 kbps son 3 bloques para HIMMI"

**Tabla 2.10.5** Tasas por usuario para los servicios de portadora

Sobre el factor de ponderación  $\beta$  cabe decir que para los valores componentes se consideran casos típicos de operación de las redes de acuerdo a la asignación del espectro en la mayor parte de los países y a partir de un entorno armonizado esperado, tal que:

### Ambiente Multi – operadores

Este es un caso esperado en el que el factor beta se requiere para tomar en cuentas las ineficiencias espectrales que tiene como consecuencia; es bien conocido el factor derivado de la ineficiencia troncal y espectral es dividido entre segmentos cada vez más pequeños entre operadores o entre tipos de interfaces, basado en la fórmula B de Erlang.

Por ejemplo, considerando 137 Erlangs de tráfico atendidos con un 2% de probabilidad de bloqueo se requerirían 150 canales en un solo grupo troncal (por lo tanto, colocados contiguamente); sin embargo, si los mismos 137 Erlangs fueran divididos equitativamente entre 7 grupos troncales distintos (correspondientes a 7 operadores compartiendo el mercado en condiciones iguales), cada red tendría  $137/7 = 20$  Erlangs de demanda. La fórmula B de Erlang predice la necesidad de 28 canales por red, por lo que los 137 Erlangs de tráfico en estas condiciones serían atendidos por un total de  $28*7 = 196$  canales. Esto representa un incremento del 30% en la necesidad de troncales comparado con un ambiente de un solo operador, por lo que en estas condiciones el factor  $\beta = 1.3$ .

Para el caso de un ambiente de 4 operadores y la misma demanda total de tráfico de 137 Erlangs, cada operador transportaría  $137/4 = 34.25$  Erlangs para lo que, con base en la fórmula B de Erlang, cada operador requeriría 44 canales, teniendo en total  $44*4 = 176$  canales para la demanda total de tráfico que se presenta. Esto es, 17% más canales son requeridos por lo que  $\beta = 1.17$ .

#### Bandas de guarda

Las bandas de guarda se consideran tanto en el espectro para acomodar dos operadores en tanto impacta la capacidad debido a efectos de bandas adyacentes, como en los límites entre servicios móviles y otros servicios en el espectro de radiofrecuencia; por lo tanto implica una reducción en la eficiencia en tanto aumenten las fronteras por fragmentación del espectro. El valor fijado de  $\beta = 1.04$  es empírico, con base en la experiencia en ambientes con diferentes fronteras debido a varios operadores empleando tecnologías de acceso de radio diferentes.

#### Modularidad

Se refiere a la asignación óptima de espectro con un ancho de banda mínimo por canal para cumplir los muy diversos requerimientos técnicos de las tecnologías IMT – 2000 propuestas y en evolución (concepto de *modularidad de canal*), así como acomodar (por lo menos) la mínima cantidad de ancho de banda necesario para proveer tipos de servicios IMT – 2000 de banda ancha, de tal forma que sea consistente con las diversas tecnologías de transmisión de radio (concepto de *ancho de banda de servicio*).

Tomando en cuenta que el propósito de la recomendación para tercera generación es la provisión de servicios con una tasa máxima de 2 Mbps, ciertamente se requiere un ancho de banda mucho mayor que aquel necesario únicamente para transmisión de servicios de voz. Sin embargo el problema reside en localizar todo conjunto el espectro necesario para un servicio a tal tasa de transmisión. Se ha determinado que un valor para la componente de modularidad de 1.02 es suficiente para permitir ajustarse apropiadamente para ser modulares los acomodos de espectro seleccionados.

Con base en los valores de los parámetros definidos para el cálculo de la componente terrestre, la norma UIT – R M.1390 define el espectro requerido por medio de la siguiente función:

$$F_{\text{TERRESTRE}} = \beta \sum \alpha_{es} F_{es} = \beta \sum \alpha_{es} T_{es} / S_{es}$$

Es decir,  $F_{\text{TERRESTRE}}$  es el espectro total requerido ponderado de la sumatoria de los  $F_{es}$  individuales co - existentes en la misma área geográfica para todos los ambientes "e" y todos los servicios "s" considerados relevantes, ajustados mediante factores que influyen tales como compartir el espectro entre múltiples operadores.

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

---

De la fórmula anterior:

$F_{\text{TERRESTRE}}$ , es la componente terrestre del espectro requerido, en MHz,  
 $T_{\text{es}}$  es el tráfico por célula, en Mbps/célula,  
 $S_{\text{es}}$  es la capacidad del sistema, en Mbps/MHz/célula,  
y los factores  $\alpha_{\text{es}}$  y  $\beta$  representan la ponderación mencionada con anterioridad.

La ecuación presentada considera tanto a servicios de conmutación de circuitos como de conmutación de paquetes e incluye el requerimiento de asimetría de tráfico en *enlace de subida y enlace de bajada*.

En la hoja de datos contenida en la tabla siguiente presentamos el desglose de los cálculos de requerimiento espectral para la componente terrestre con base en la ecuación antes mencionada.

### Tercera generación de comunicaciones inalámbricas en México

Tipo	<i>pico</i>	<i>micro</i>	<i>macro</i>				
Densidad de Usuarios	180000	100000	3000				
Diámetro Equivalente de la Célula	0.08	0.6	0.6				
Número de Sectores	1	3	3				
Área de la Célula [km <sup>2</sup> ]	5.03E-03	3.12E-01	3.12E-01				
<b>Penetración del Servicio para el 2010</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Tráfico_Off por Usuario en Uplink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	25%	25%	25%	HIMM	3.80E+03	6.55E+04	3.09E+02
HMM	15%	15%	15%	HMM	1.74E+02	2.40E+03	9.60E+00
MMM	15%	15%	15%	MMM	5.80E+02	1.60E+04	9.60E+00
SD	13%	13%	13%	SD	3.67E+03	1.26E+05	3.79E+02
SM	40%	40%	40%	SM	6.51E+02	1.12E+04	2.24E+02
S	73%	73%	73%	S	1.78E+05	1.09E+06	1.64E+04
<b>Usuarios por Célula</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Tráfico_Off por Usuario en Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	226	7794	234	HIMM	3.80E+03	6.55E+04	3.09E+02
HMM	136	4677	140	HMM	1.74E+02	2.40E+03	9.60E+00
MMM	136	4667	140	MMM	5.80E+02	1.60E+04	9.60E+00
SD	118	4053	122	SD	3.67E+03	1.26E+05	3.79E+02
SM	362	12471	374	SM	6.51E+02	1.12E+04	2.24E+02
S	660	22759	683	S	1.78E+05	1.09E+06	1.64E+04
<b>BHCA</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Tráfico por Grupo en Uplink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	0.14	0.7	0.011	HIMM	7.39	127.31	0.60
HMM	0.15	0.06	0.008	HMM	0.34	4.66	0.02
MMM	0.5	0.4	0.008	MMM	1.13	31.10	0.02
SD	0.2	0.2	0.02	SD	7.14	245.88	0.74
SM	0.6	0.3	0.2	SM	1.27	21.82	0.44
S	3	0.8	0.4	S	346.76	2124.19	31.86
<b>Duración de la Llamada</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Tráfico por Grupo en Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	120	120	120	HIMM	7.39	127.31	0.60
HMM	3000	3000	3000	HMM	1.78	24.55	0.10
MMM	3000	3000	3000	MMM	5.94	163.68	0.10
SD	156	156	156	SD	7.14	245.88	0.74
SM	3	3	3	SM	1.27	21.82	0.44
S	180	120	120	S	346.76	2124.19	31.86
<b>Factor de Actividad en Uplink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Canal de Servicio por Grupo en Uplink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	1	1	1	HIMM	15	146	4*
HMM	0.0285	0.0285	0.0285	HMM	3	9	2.00**
MMM	0.0285	0.0285	0.0285	MMM	4.00	38.00	2.00**
SD	1	1	1	SD	14	269	4*
SM	1	1	1	SM	5.00	28.00	3.00**
S	0.5	0.5	0.5	S	372	2149	44*
<b>Factor de Actividad en Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Canal de Servicio por Grupo en Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	1	1	1	HIMM	15	146	4*
HMM	0.015	0.015	0.015	HMM	3	9	2.00**
MMM	0.015	0.015	0.015	MMM	4.00	38.00	2.00**
SD	1	1	1	SD	11	269	4*
SM	1	1	1	SM	5.00	28.00	3.00**
S	0.5	0.5	0.5	S	372	2149	44*
<b>Tráfico por Usuario en Uplink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Canal de Servicio por Célula en Uplink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	16.80	8.40	1.32	HIMM	2.14	20.86	0.57
HMM	1.28	0.51	0.07	HMM	0.43	1.29	0.29
MMM	4.28	3.42	0.07	MMM	0.57	5.43	0.29
SD	31.20	31.20	3.12	SD	2.00	38.43	0.57
SM	1.80	0.90	0.60	SM	0.71	4.00	0.43
S	270.00	48.00	24.00	S	53.14	307.00	6.29
<b>Tráfico por Usuario en Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Canal de Servicio por Célula en Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	16.80	8.40	1.32	HIMM	2.14	20.86	0.57
HMM	1.28	0.51	0.07	HMM	0.43	1.29	0.29
MMM	4.28	3.42	0.07	MMM	0.57	5.43	0.29
SD	31.20	31.20	3.12	SD	2.00	38.43	0.57
SM	1.80	0.90	0.60	SM	0.71	4.00	0.43
S	270.00	48.00	24.00	S	53.14	307.00	6.29

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

	CBD	Peatonal	Vehicular				
<b>Tipo</b>		<i>pico</i>	<i>micro</i>	<i>macro</i>			
Densidad de Usuarios	180000	100000	3000				
Diámetro Equivalente de la Célula	0.08	0.6	0.6				
Número de Sectores	1	3	3				
Área de la Célula [km]	5.03E-03	3.12E-01	3.12E-01				
<b>Tráfico en Uplink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Tráfico en Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	0.27	2.67	0.07	HIMM	0.27	2.67	0.07
HMM	0.05	0.16	0.04	HMM	0.05	0.16	0.04
MMM	0.04	0.35	0.02	MMM	0.04	0.35	0.02
SD	0.13	2.46	0.04	SD	0.13	2.46	0.04
SM	1.00	0.06	0.006	SM	1.00	0.06	0.006
S	0.85	4.91	0.10	S	0.85	4.91	0.10
<b>Ancho de Banda requerido en Uplink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Ancho de Banda requerido en Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>
HIMM	2.19	21.36	0.59	HIMM	2.19	21.36	0.59
HMM	0.44	1.32	0.29	HMM	11.43	70.86	4.57
MMM	0.29	2.78	0.15	MMM	4.83	75.48	0.88
SD	1.02	19.68	0.29	SD	1.02	19.68	0.29
SM	0.08	0.45	0.05	SM	0.08	0.45	0.05
S	12.15	70.17	1.44	S	12.15	70.17	1.44
Σ	16.17	115.75	2.81	Σ	31.70	257.99	7.82
<b>Uplink + Downlink</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Total</b>			
HIMM	4.38	42.72	1.18	48.28			
HMM	11.87	72.18	4.86	88.91			
MMM	5.12	78.26	1.03	84.41			
SD	2.04	39.36	0.58	41.98			
SM	0.16	0.90	0.10	1.15			
S	24.30	140.33	2.88	167.51			
Σ	47.86	373.75	10.63	432.24			(sin considerar factor β)
	4%	Bandas de Guarda					
	17%	Escenario de 4 operadores					
	2%	Modularidad					
<b>Factor β</b>	1.23	Cuando se suman todos los porcentajes					
<b>(Uplink + Downlink) ponderado con β</b>	<b>CBD</b>	<b>Peatonal</b>	<b>Vehicular</b>	<b>Total</b>			
HIMM	5.38	52.55	1.45	59.38			
HMM	14.60	88.78	5.97	109.35			
MMM	6.30	96.26	1.27	103.82			
SD	2.51	48.41	0.71	51.64			
SM	0.19	1.10	0.12	1.42			
S	29.89	172.61	3.54	206.04			
Σ	58.87	459.71	13.07	531.65			
<b>Espectro Requerido Total:</b>				<b>531.65</b>	<b>[MHz]</b>		

Para este espectro se considera tanto la definición con múltiples operadores como la provisión de servicios de cualquier característica soportados por una tasa de datos no mayor a un enlace E1 de RDSI, es decir 2.048 Mbps; las fases evolutivas de tercera generación, sin embargo, indican que el desarrollo de este tipo de servicios no se dará en una primera instancia; el acceso a redes tales como Internet y el envío de datos seleccionados no requeriría la necesidad de un espectro más limitado, al que técnicamente sea posible llegar con los recursos actuales, es decir, con las bandas de frecuencias licitadas en 1900 MHz actualmente – de acuerdo al caso de México –, así como las bandas propuestas futuras para tener canales con los anchos de banda suficientes.

En este sentido podemos inferir dos tipos de servicios: básicos, comprendiendo todos aquellos servicios de voz y datos que gocen de una gran demanda, así como servicios extendidos, que si bien no serán ofrecidos en una escala mundial para las primeras fases de evolución, sí deberán ser considerados en su capacidad de oferta tanto de las estaciones base y terminales de usuario (anchos de banda de los canales, tasas de transmisión, interfases con el usuario), como del diseño de la red inalámbrica en sí misma.

Por tal razón la UIT ha identificado bandas básicas y bandas de extensión para los servicios de tercera generación de comunicaciones inalámbricas, teniendo como principal objetivo la armonización del espectro en las bandas básicas y una homogeneización en las bandas de extensión, de acuerdo a la región del mundo en la cual se ubique una administración local.

A continuación describiremos, con cierto detalle, dichas bandas básicas y de extensión propuestas por la UIT para su administración. Al respecto existe debate debido principalmente a que:

- El espectro identificado debe ser acorde con la atribución del espectro actual, posibilitando una evolución natural de éste de tal forma que sea posible la convergencia tecnológica de los sistemas existentes hacia tercera generación, de la forma más transparente y menos costosa posible.

Al respecto, en el caso de México las bandas actuales y futuras están contenidas en las normas mexicanas MEX146, MEX149 y MEX150 respectivamente, en las que se establece la provisión de servicios de comunicación personal para servicio móvil o fijo, incluyendo PCS, en las bandas de frecuencias A a F contenidas en la tabla 2.12 que se presenta a continuación.

Bloque	Ancho de Banda [MHz]	Sub-banda [MHz]	Sub-banda apareada [MHz]
A	15	1 850 - 1 865	1 930 - 1 945
B	15	1 870 - 1 885	1 950 - 1 965
C	15	1 895 - 1 910	1 975 - 1 990
D	5	1 865 - 1 870	1 945 - 1 950
E	5	1 885 - 1 890	1 965 - 1 970
F	5	1 890 - 1 895	1 970 - 1 975
	2.5	1 910 - 1 930	(no apareada)

**Tabla 2.12** Bandas de Frecuencias Actuales Determinadas para Comunicaciones Inalámbricas.

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

Adicionalmente la COFETEL reconoce la necesidad mundial de las bandas de 1885 - 2025 MHz y 2110 - 2200 MHz para la introducción de tercera generación de comunicaciones digitales, sin embargo establece que "dicha utilización no excluye el uso de éstas bandas por otros servicios a los que estén atribuidas".<sup>5</sup>

- El espectro debe ser, en la medida de lo posible, el mismo en todas las regiones de servicio de tal forma que sea posible el concepto de modo viajero en escala mundial con la terminal más simple posible.
- Para permitir la asignación del ancho de banda y la capacidad necesarias para ofrecer servicios de tercera generación, especialmente multimedia, es necesaria una cantidad importante de espectro, es necesario reformar la atribución de servicios actualmente ofrecidos y muy particulares como hemos mencionado, en las bandas propuestas para tercera generación, o de otro modo garantizar la convivencia sin interferencias.

### 2.3.2 Bandas Básicas y Bandas de Extensión

La visión de la Unión Internacional de Telecomunicaciones para la tercera generación de comunicaciones móviles referente a asignación de espectro se aprecia en la figura 2.13, haciendo posible el modo viajero global en las bandas básicas.

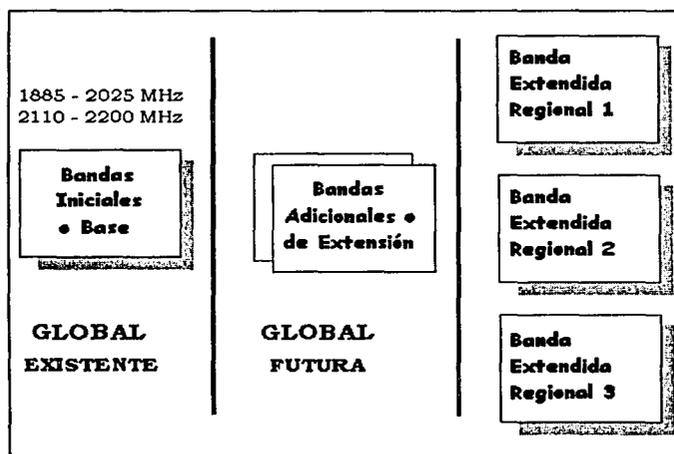


Figura 2.13. Asignación de Espectro para Tercera Generación.

La banda global existente sería, de inicio, una banda de transición hacia tercera generación, debido a que ya se tiene atribuida para la provisión de servicios de comunicación móvil en el espectro radioeléctrico. Las bandas adicionales globales serán aquellas que absorban la demanda de tráfico, permitiendo modo viajero global por lo menos en una porción de estas bandas, hacia el año 2010. Las sub-bandas regionales se deben identificar como excepción, ya que no garantizan una provisión de servicios global, su uso se limita al caso de que el flujo de tráfico rebasa la capacidad de las bandas globales o existan servicios de altos requerimientos de ancho de banda, como multimedia.

<sup>5</sup> Vid. Norma Mexicana MEX150, COFETEL, SCT. México

Lo anterior en concordancia con la recomendación S5.388 de la parte de radiofrecuencia para IMT – 2000, en la cual se establecen los rangos de frecuencias de 1885 a 2025 MHz y de 2110 a 2200 MHz para su uso en forma mundial, para “todas las administraciones que deseen implantar tercera generación de comunicaciones móviles” [9]

Los servicios terrestres de tercera generación operarán en modo FDD en las bandas 1920 a 1980 MHz, apareados con las bandas 2110 a 2170 MHz; el primer rango de frecuencias corresponde a los canales de subida (transmisión de las estaciones móviles) mientras que el rango superior de frecuencias corresponde a las estaciones base, es decir, representa los canales de bajada.

Adicionalmente se tienen las bandas **1885 – 1920 MHz** y **2010 – 2025 MHz** para operación de estaciones terrestres en modo FDD, con bandas no apareadas.

Además de estas bandas base de frecuencia, y de las utilizadas hacia el año 2005 por las diversas administraciones de redes públicas de comunicaciones móviles de acuerdo a la región, las bandas de frecuencias de **698 – 806 MHz**, **2500 – 2690 MHz** y **2700 – 2900 MHz** pueden usarse, aunque no en un uso exclusivo, para servicios de tercera generación, para proporcionar un espectro adicional de hasta 160 MHz para alojar este tipo de servicios.

Sujeto a la demanda comercial, este espectro de 160 MHz adicionales debería estar destinado en forma completa a servicios 3G hacia el año 2010.

En lo referente a las bandas existentes de servicios de segunda generación, de **806 – 960 MHz** (servicios de telefonía celular), **1429 – 1501 MHz** y **1710 – 1885 MHz** pueden representar opciones a largo plazo para servicios de tercera generación, de una forma evolutiva.

## 2.4 Definición de las Interfases de Radio Terrestres.

### 2.4.1 Características Clave

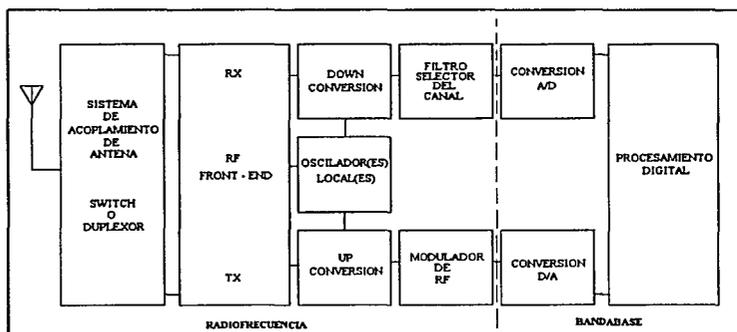
Las características principales en las que se base cualquier interfase de radio, propuesta y aceptada para el desarrollo de un sistema de tercera generación pueden ser clasificadas en *características genéricas* que son aplicables tanto a la parte satelital como a la parte terrestre. Las características clave para la parte terrestre se dividen en la parte de radiofrecuencia, banda base y características de sistema en tanto que para la parte satelital de la norma se consideran características de arquitectura, de sistema, de radiofrecuencia y de banda base.

Para facilitar la instalación del sistema logrando un impacto económico escalado en la evolución hacia sistemas 3G, estas características se dividen en tres categorías que reflejan la potencial estructura modular del sistema. Para la porción de radio del mismo se pueden considerar los módulos de *front-end* de radiofrecuencia y el módulo de banda base, cada uno de estos con sus propios requerimientos de características clave.

La agrupación de las características clave de la forma en que se presenta en la norma se basa en la idea de lograr tanta similitud como sea posible en la porción de radiofrecuencia, que es en la que reside la mayor complejidad de desarrollo de *hardware*. En cuanto a las características en banda base, el nivel de semejanza debe satisfacer las necesidades del mercado.

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

En la figura 2.14 se muestra un diagrama de bloques muy general de un dispositivo terminal de tercera generación que es independiente de su instalación y por lo tanto puede ser empleado tanto para tecnologías de transmisión terrestre como satelitales. El uso de componentes comunes para la sección de radiofrecuencia de los dispositivos puede proporcionar la funcionalidad necesaria para las diversas interfases de radio, permitiendo una producción económica a gran escala. Dependiendo de las ubicaciones en el espectro, la parte de radiofrecuencia también debe ser diseñada para proveer compatibilidad con sistemas 2G actuales. La parte de radiofrecuencia cubrirá la localidad de banda requerida y especificada para IMT - 2000. Como un ejemplo de un dispositivo de RF *front - end*, se puede desarrollar un banco de filtros o un filtro sintonizable para RF y posteriormente el uso de un filtro de banda ancha en IF (Frecuencia Intermedia) permitiría configurar un receptor definido por *software*; dicho radio definido via *software* podría permitir soportar los anchos de banda requeridos por diferentes propuestas de RTT's en una sola terminal universal.



**FIGURA 2.14** Diagrama de Bloques de una terminal de tercera generación.

Las características que hemos considerado más relevantes para la parte de radiofrecuencia se detallan a continuación:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**1. Del Transmisor**

Aquellas características especificadas en el puerto de la antena transmisora del equipo.

Característica	Definición	Valor	
		Estación Móvil	Estación Base
1.1 Clases de Potencia	<p>Define el promedio máximo de salida de nivel de potencia transmitida, medido sobre una unidad de tiempo. Las clases de potencia junto con el tipo de servicio (QoS, Bit Rate), definen el tipo de cobertura. Esta característica puede ser usada en la planeación de la red por parte de los operadores. Para terminales multi-estándares el requerimiento para el amplificador de potencia será el correspondiente al nivel de potencia mayor que requiera.</p> <p>La precisión de la potencia puede depender de las regulaciones regionales que apliquen.</p>	<p><math>P_{max} \leq 33 \text{ dBm}</math></p> <p>Los niveles de potencia máxima se esperan similares a los especificados en la norma TIA IS-95-B</p> <p><b>Banda de 1.9 GHz:</b>                      Clase I  <math>28 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 33 \text{ dBm}</math>                      Clase II  <math>23 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 30 \text{ dBm}</math>                      Clase III  <math>18 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 27 \text{ dBm}</math>                      Clase IV  <math>13 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 24 \text{ dBm}</math>                      Clase V  <math>8 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 21 \text{ dBm}</math></p> <p><b>Banda de 800 MHz:</b>                      Clase I  <math>8 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 36 \text{ dBm}</math>                      Clase II  <math>8 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 32 \text{ dBm}</math>                      Clase III  <math>8 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 28 \text{ dBm}</math>                      Clase IV  <math>13 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 24 \text{ dBm}</math>                      Clase V  <math>-4 \text{ dBm} &lt; \text{PIRE} &lt; 21 \text{ dBm}</math></p> <p>0/10/21/24/27/33 dBm</p> <p><b>Picos de Potencia:</b>                      Nivel I: 2.5 mW                      Nivel II: 250 mW</p>	<p>N/A</p> <p>Los niveles de potencia máximos están sujetos a consideración por parte de los órganos de regulación locales.</p> <p><b>Picos de Potencia:</b>                      Nivel I: 2.5 mW                      Nivel II: 250 mW</p>
1.2 Rango Dinámico	<p>Es la diferencia entre el mínimo y el máximo de la potencia transmitida, para una condición de referencia específica.</p>	<p>Depende de la clase de la terminal, puede ser de hasta 80 dB.</p> <p>Nivel de Subida (UL): 80 dB                      Nivel de Bajada (DL): 30 dB</p> <p><b>Para 136 HS:</b>                      En interiores entre 32 y 24 dB                      En exteriores hasta 50 dB</p>	<p>El valor es de 30 dB</p> <p><b>Para 136 HS:</b>                      En interiores entre 32 y 24 dB                      En exteriores hasta 50 dB</p>
1.3 Pasos de Control de Potencia	<p>Es el mínimo paso para el cambio en la potencia de salida del transmisor en respuesta a un comando de control de potencia.</p>	<p><math>\geq 0.25 \text{ dB}</math></p> <p>Entre 0.25 dB y 1.5 dB</p> <p><b>Para 136 HS:</b>                      En interiores 4 dB                      En exteriores 0.5 dB a 4 dB</p>	<p><math>\geq 0.25 \text{ dB}</math></p> <p>1.0 dB como valor nominal</p> <p>En general infinitamente ajustable.</p>

2. Conceptualización de Tercera Generación

Característica	Definición	Valor	
		Estación Móvil	Estación Base
1.4 Estabilidad de Frecuencia	La habilidad del móvil y la radiobase de mantener la frecuencia de transmisión en las frecuencias de portadora asignadas	<p>0.1 ppm (en fase con el sistema, o no en fase).</p> <p>0.05 ppm, 0.08 ppm (<math>\pm</math> 150 Hz de precisión).</p> <p>La estación móvil obtiene su frecuencia de la estación base. Se requiere que la frecuencia de transmisión de la estación base esté en un rango de 150 Hz</p>	<p>0.05 ppm</p> <p>En un RFP la frecuencia de la portadora de RF transmitida correspondiente al canal de RF debe estar en el rango de <math>F_c \pm 50</math> kHz en condiciones extremas. La máxima tasa de cambio de la frecuencia central tanto para el RFP como para el PP transmitiendo, no debe exceder 15 kHz por ranura.</p>
1.5 Ancho de Banda de 3 dB	El ancho de banda es el rango de la frecuencia de la potencia transmitida por canal de RF, medido en un punto 3 dB por debajo de la potencia de transmisión especificada	<p>4.1 MHz (8.2 MHz y 16.4 MHz para tasas de chips mayores)</p> <p>Ancho de Banda Ocupado: 1.25/5/10/20 MHz</p> <p><u>FDD:</u>                      1X: 2 x 1.23 = 2.46 MHz                      3X: 2 x 3.69 = 7.38 MHz                      6X: 2 x 7.37 = 14.74 MHz                      9X: 2 x 11.1 = 22.2 MHz                      12X: 2 x 14.74 = 29.48 MHz</p> <p><u>TDD:</u>                      1X: 1 x 1.23 = 1.23 MHz                      3X: 1 x 3.69 = 3.69 MHz                      6X: 1 x 7.37 = 7.37 MHz                      9X: 1 x 11.1 = 11.1 MHz                      12X: 1 x 14.74 = 14.74 MHz</p> <p><u>Para 136 HS:</u>                      En Interiores, 2 x 1.1 MHz                      En Exteriores, 2 x 180 kHz</p> <p>1 MHz</p> <p>-40 dBm</p> <p>-40 dBm @ 5 MHz;                      -55 dBm @ 10 MHz.</p> <p><u>Para 136 HS en Exteriores:</u>                      30 dB en el canal adyacente,                      60 dB en el canal alterno,</p> <p><u>Para 136 HS en Interiores:</u>                      30 dB en el canal adyacente,                      50 dB en el canal alterno.</p>	<p>4.1 MHz (8.2 MHz y 16.4 MHz para tasas de chips mayores)</p> <p>Ancho de Banda Ocupado: 1.25/5/10/20 MHz</p> <p><u>FDD:</u>                      1X: 2 x 1.23 = 2.46 MHz                      3X: 2 x 3.69 = 7.38 MHz                      6X: 2 x 7.37 = 14.74 MHz                      9X: 2 x 11.1 = 22.2 MHz                      12X: 2 x 14.74 = 29.48 MHz</p> <p><u>TDD:</u>                      1X: 1 x 1.23 = 1.23 MHz                      3X: 1 x 3.69 = 3.69 MHz                      6X: 1 x 7.37 = 7.37 MHz                      9X: 1 x 11.1 = 11.1 MHz                      12X: 1 x 14.74 = 14.74 MHz</p> <p><u>Para 136 HS:</u>                      En Interiores, 2 x 1.1 MHz                      En Exteriores, 2 x 180 kHz</p> <p>1 MHz</p> <p>-55 dBm</p> <p>-55 dBm @ 5 MHz,                      -60 dBm @ 10 MHz</p> <p><u>Para 136 HS en Exteriores:</u>                      30 dB en el canal adyacente,                      60 dB en el canal alterno,</p> <p><u>Para 136 HS en Interiores:</u>                      30 dB en el canal adyacente,                      50 dB en el canal alterno.</p>
1.6 Emisiones Espurias Fuera de Banda	Potencia generada por el transmisor como resultado de un defasamiento de frecuencia, fuera de la banda de operación del mismo	<p>-40 dBm</p> <p>-40 dBm @ 5 MHz;                      -55 dBm @ 10 MHz.</p> <p><u>Para 136 HS en Exteriores:</u>                      30 dB en el canal adyacente,                      60 dB en el canal alterno,</p> <p><u>Para 136 HS en Interiores:</u>                      30 dB en el canal adyacente,                      50 dB en el canal alterno.</p>	<p>-55 dBm</p> <p>-55 dBm @ 5 MHz,                      -60 dBm @ 10 MHz</p> <p><u>Para 136 HS en Exteriores:</u>                      30 dB en el canal adyacente,                      60 dB en el canal alterno,</p> <p><u>Para 136 HS en Interiores:</u>                      30 dB en el canal adyacente,                      50 dB en el canal alterno.</p>

## 2. Del Receptor

Aquellas características especificadas en el puerto de la antena receptora del equipo.

Característica	Definición	Valor	
		Estación Móvil	Estación Base
2.1 Sensitividad	La sensitividad de RF es la mínima potencia recibida sin que se exceda una tasa de bit en error mínima. Varía de acuerdo a la calidad de servicio buscada y tiene que ver con la figura de ruido.	Basado en la figura de ruido, NF Como se requiera -104 dBm (de acuerdo a la norma IS - 98). 136HS en Exteriores: -93.41 dB 136 HS en Interiores: -99.28 dB -117 dBm para 12.2 kbps. -83 dBm	Basado en la figura de ruido, requiriendo menor NF para microcélulas y picocélulas. -119 dBm (de acuerdo a la norma IS - 97). 136 HS en Interiores: -110.484 dB -83 dBm
2.2 Rango Dinámico	Es la diferencia entre la sensitividad y la potencia de saturación.	Nivel Máximo: -25 dBm 80 dBm para Control de Ganancia Automático 85 dBm	52 dBm 85 dBm ≥ 30 dB
2.3 Sensitividad de Intermodulación	Es la capacidad del receptor para recibir la señal en presencia de interferencia de RF. El desempeño es posible medirlo por el BER.	IIP3 entre 10 dBm y 5 dBm IIP3 = -12 dBm Nivel significativo de la señal interferente: -46 dBm 33 dB para -80 dBm	33 dBm para -80 dBm
2.4 Respuesta a señales espurias y bloqueo	Corresponde a los niveles de señal que causan el enmudecimiento de canales en presencia de interferencia.	A 71 dB En Banda: a -44 dBm (hasta 15 MHz de corrimiento). Fuera de Banda: -30 dBm Para una señal de -80 dBm, BER < 0.001 (en las bandas de 1880 a 1900 MHz)	A 90 dB Para una señal de -80 dBm, BER < 0.001 (en las bandas de 1880 a 1900 MHz)

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

Adicionalmente existen las siguientes características que hemos considerado relevantes, en banda base.

### 3. De Banda Base

Características independientes de radiofrecuencia, referentes al procesamiento de la señal en banda base.

Característica	Definición	Valor
3.1 Técnicas de Acceso Múltiple	Permiten a muchos usuarios compartir los medios de transmisión sin crear interferencia no controlada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TDMA</li> <li>• MC-TDMA</li> <li>• DS-CDMA</li> <li>• DS-CDMA/TDMA</li> <li>• MC-CDMA</li> <li>• TD/SCDMA</li> </ul>
3.2 Tasas de chips	<p>La tasa a la cual los datos de información se dispersan por elementos de modulación de código pseudo aleatorio en un sistema de secuencia directa de CDMA.</p> <p>El ancho de banda de la señal transmitida es una función de la tasa de chips.</p>	0.916, 1.024, 1.2288, 3.6864, 4.097, 7.3728, 8.192, 11.0592, 14.7456, 16.384 Mcps
3.3 Estructura de la trama	<p>Es una porción de ranuras de tiempo específica, con dos aspectos importantes: número de ranuras de tiempo por trama y longitud de la trama.</p> <p>Tiene que ver con esquemas de acceso múltiple, de duplexación, de codificación de voz, control de potencia y tamaño del entrelazado.</p>	<p><u>Número de ranuras de tiempo en una trama:</u> 1, 2, 6, 8, 12, 24, 48 ó 64 ranuras por trama.</p> <p><u>Longitud de la trama:</u> 4.6, 5, 10, 20 y 40 ms.</p>
3.4 Factor de dispersión de longitud variable	<p>Modificación del código de dispersión por secuencia directa que crea una familia de códigos ortogonales de longitud variable para soportar tasas de datos variables.</p> <p>Permite la instalación de tasas de datos mayores a 16 kbps.</p>	1-16, 1-512, 4-256, 4-1024
3.5 Forma de Operación del reloj entre estaciones base	Cuando las diferencias de tiempo de transmisión de las radiobases se mantienen y definen por una diferencia muy estrecha de tiempo empleando una señal de reloj común, el sistema es síncrono. De otra forma es un sistema asíncrono.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Síncrono</li> <li>• Asíncrono</li> <li>• Combinación síncrono/asíncrono</li> </ul>
3.6 Handover	Proceso de transferir la comunicación de una terminal móvil entre sectores o entre células.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Handover duro</li> <li>• Handover suave</li> <li>• Handover entre sistemas de segunda y tercera generación,</li> <li>• Handover entre frecuencias</li> <li>• Handover por Mando (Baton).</li> </ul>
3.7 Entrelazado y codificación del canal	<p>Entrelazado es la permutación de secuencias de transmisión de bits codificados anterior a la modulación, para separar y redistribuir posibles errores en las ráfagas.</p> <p>Codificación es el proceso para introducir redundancia superando efectos de ruido.</p>	<p><u>Codificación:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Convolutacional, <math>k=9, R=1/2, 1/3</math> ó <math>1/4</math></li> <li>• Turbo código, <math>K=4, R=1/2, 1/3</math> ó <math>1/4</math></li> <li>• Convolutacional con <math>K=9</math></li> <li>• Turbo Código con <math>K=3</math></li> </ul> <p><u>Entrelazado:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos de Usuario a 20,40 y 80 ms</li> <li>• Señalización a 5, 10 ó 20 ms</li> </ul>

Característica	Definición	Valor
3.8 Modulación (en enlaces de subida y de bajada)	<p>Proceso de variar cierto parámetros de una señal digital, la portadora, por medio de un procesamiento digital de señales, en función de una señal digital recibida que contiene la transmisión.</p> <p>Permite transmitir el mensaje en RF y hacer posible su detección.</p>	<p><u>Modulación de Datos:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el Enlace de Subida – BPSK.</li> <li>• Para el Enlace de Bajada – QPSK, 8PSK, DBPSK, DQPSK, D8PSK, GFSK, QOQAM, 16QAM.</li> </ul> <p><u>Modulación de esparcimiento:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Para el Enlace de Subida – HPSK.</li> <li>• Para los enlaces de Subida y de Bajada – BPSK, QPSK</li> </ul>
3.9 Estructura de la Señal Piloto	<p>Empleada para búsqueda de canal, estimación, adquisición, demodulación e incluso asistencia de handover suave ó control de potencia.</p> <p>Provee una referencia de fase para detección coherente y medios para comparación de intensidad de señal entre dos radiobases.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dedicado, por símbolos y Multiplexado en Tiempo</li> <li>• Común, por símbolos y Multiplexado en Tiempo, sobre un canal físico común.</li> <li>• Secuencia dedicada y multiplexada en tiempo.</li> <li>• Común y dividido por código, común o auxiliar.</li> <li>• Dividido por código</li> <li>• No aplicable</li> </ul>
3.10 Detección (en enlaces de subida y de bajada)	<p>Proceso llevado a cabo en el receptor para recuperar la señal original en un canal degradado.</p>	<p><u>Detección:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Coherente, cuando existe una referencia acoplada en frecuencia y fase a la señal original</li> <li>• No coherente, no existe señal de referencia</li> </ul> <p><u>Detección Conjunta (Opcional)</u>, detección coherente para ranuras de tiempo TDMA dispersas en un número limitado de códigos CDMA.</p> <p><u>Detección Multi-usuario:</u> (Opcional), detección conjunta de todos los usuarios en la célula reduciendo la interferencia entre la intra-célula.</p>
3.11 Control de Potencia (en enlaces de subida y bajada)	<p>Ajuste de la potencia transmitida para mantener la potencia recibida por cada estación a un nivel de calidad y servicio específicos.</p>	<p><u>Ciclo cerrado</u> (en canales dedicados)</p> <p><u>Ciclo abierto</u> (en canales de acceso aleatorio)</p>
3.12 Tasa de datos (en enlaces de subida y bajada)	<p>Cantidad de datos transmitidos.</p>	<p><u>Variable:</u> Adaptación instantánea de la tasa de transmisión con base en la cantidad de datos a ser transmitidos bajo demanda de la fuente de datos o las condiciones de propagación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soportada</li> <li>• No Soportada</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simétrica</li> <li>• Asimétrica</li> </ul>
3.13 Esquemas de duplexación	<p>Método para compartir recursos entre transmisor y receptor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FDD</li> <li>• TDD</li> </ul>
3.14 Portadoras del mensaje	<p>Señal digital modulada que transporta la señal digital de información</p>	<p><u>Multiportadora:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerida</li> <li>• No requerida</li> </ul> <p><u>Una sola portadora</u></p>

### 2.5 Detalle de las Tecnologías de RadioTransmisión Terrestres.

Debido a las técnicas de acceso digitales de segunda generación existentes actualmente en México, es indudable que no todas las tecnologías propuestas y remitidas a la Unión Internacional de Telecomunicaciones emergerán comercialmente como tecnologías de tercera generación; por el contrario, es necesario considerar la posibilidad de una sola tecnología de radiotransmisión armonizada en todo el mundo, con base en la idea de un acceso global y del empleo de una sola terminal universal como evolución de las terminales de celular y PCS actuales.

Sin embargo, en las tablas 2.15.1, 2.15.2 y 2.15.3 siguientes presentamos un resumen de todas las tecnologías de radiotransmisión teniendo en cuenta las características clave mencionadas con anterioridad.

De las tecnologías de radiotransmisión mencionadas con anterioridad<sup>6</sup>, detallaremos enseguida sólo aquellas que pueden ser adoptadas como estándar mundial, teniendo en consideración que DECT es un estándar europeo muy útil para la armonización de las características de radiofrecuencia y acceso de los teléfonos inalámbricos en ese continente y que ha sido llevado a tasas de transmisión de datos que lo colocan dentro de los estándares de segunda generación, cada uno de los cuales requiere un proceso de evolución, pero en este caso DECT no ha tenido impacto significativo en México.

Cabe señalar también que las normas propuestas por la TTA (Korea) aún no están bien definidas y representan esfuerzos de unificación que pueden ser comprendidos entre las normas propuestas por la TIA de Estados Unidos y las normas propuestas por ARIB (Japón) y ETSI (Unión Europea). Por lo tanto, es necesario establecer que sólo hemos considerado como tecnologías de radiotransmisión que pueden ser adoptadas en escala mundial, a las siguientes:

- *Wideband* CDMA, entendiéndose como tal la propuesta Europea enviada por la ETSI así como la propuesta de Japón, emitida por ARIB; aún cuando tienen diferencias significativas que hacen a ambas propuestas incompatibles esencialmente, resaltaremos tanto sus similitudes como sus diferencias.
- cdma2000, es decir, la propuesta emitida por el comité técnico TR45.5 de la TIA en Estados Unidos, como una evolución hacia tercera generación de la norma IS – 95 (CDMA), de la propia TIA.

Asimismo, mencionaremos brevemente la evolución de la norma IS – 136 (TDMA) hacia tercera generación, tecnología de radiotransmisión UWC – 136, emitida por el comité técnico TR45.3; cabe decir, sin embargo, que actualmente la mayor parte de los operadores y empresas de telecomunicaciones fomentan una transición de TDMA hacia la llamada "segunda generación y media", tal como EDGE, particularmente en las bandas norteamericanas de PCS, en 1900 y 2100 MHz, tal es el caso de México, ya que no se tiene contemplado por parte de ningún operador contar con TDMA para servicios de PCS. En este sentido, la norma UWC – 13 es una adaptación de las tecnologías basadas en TDMA hacia la tercera generación, ya que en su proceso evolutivo se considera la introducción de EDGE para proveer tasas de transmisión de datos comparables a otras tecnologías de tercera generación, como se verá más adelante.

Asimismo, dado que existen actualmente una cantidad muy importante de operadores y redes celulares en el mundo, proporcionando servicio celular/PCS a más de 225 millones de suscriptores en todo el mundo, hemos considerado pertinente incluir una descripción sucinta de esta norma.

---

<sup>6</sup> Vid *infra*. Sección 2.1. Tabla 2.1.

	UTRA FDD: W – CDMA/ TDD: TD – CDMA  (ETSI SMG)	W – CDMA  (ARIB Japón)	cdma2000  (TIA TR45.5)	WCDMA/NA  (ATIS T1P1)	Global CDMA II  (TTA Corea)	WIMS W-CDMA  (TIA TR46)	Global CDMA II  (TTA Corea)	UWC – 136  (TIA TR45.3)	TD-SCDMA  (CATT)	DECT  (ETSI DECT)
Demultiplexaje / Técnica de Acceso Múltiple	FDD: DS CDMA  TDD: DS CDMA + TDMA	FDD: DS CDMA  TDD: DS CDMA con estructura de TDMA	FDD/TDD: DS ó MC CDMA	FDD: DS CDMA  TDD: DS CDMA + TDMA	FDD: DS CDMA	FDD/TDD: DS CDMA	FDD: DS CDMA	FDD/TDD: TDMA	FDD: TD – SCDMA  TDD: DS CDMA + TDMA	TDD: MC CDMA
Tasa de chips ó Tasa de Bits	FDD: 4.096 Mcps (8.192/16.384)  TDD: 4.096 Mcps	FDD/TDD: 4.096 Mcps (1.024/8.192/ 16.384)	FDD/TDD: 3.6864 Mcps (1.2288xN, N=3; también N=1,6,9,12)	FDD: 4.096 Mcps (8.192/16.384)  TDD: 4.096 Mcps	FDD: 4.096 Mcps (1.024/8.912/ 16.384)	FDD: 4.098, 8.192 ó 16.384 Mcps	FDD: 3.6864 Mcps (0.9216/ 14.7456)	Tasas de Bits: 48.6, 72.9, 270.8, 361.1, 722.2 kbps, 2.6 ó 5.2 Mbps	1.1136 Mcps	Tasa de Bits: 1.152, 2.304 ó 3.456 Mbps
Espaciamiento Mínimo entre Portadoras	De 4.2 a 5 MHz a 4.096 Mcps	De 4.2 a 4.6 MHz a 4.096 Mcps	3.75 MHz a 3.6864 Mcps	De 4.2 a 5 MHz a 4.096 Mcps	De 4.2 a 5 MHz a 4.096 Mcps	De 4.2 a 5 MHz a 4.096 Mcps	3.75 MHz a 3.6864 Mcps	De 30, 200 ó 1600 kHz	1.4 MHz	1.728 MHz
Sincronización entre Radiobases	FDD: no requerida  TDD: requerida	FDD: no requerida  TDD: requerida	FDD/TDD: requerida	FDD: no requerida  TDD: requerida	No requerida	FDD: no requerida  TDD: requerida	Requerida	No requerida	Requerida	No Requerida
Esquema de Búsqueda de Célula Servidora	Basado en un esquema de 3 pasos para adquisición de código. Símbolos no combinados	Basado en un esquema de 3 pasos para adquisición de código. Símbolos no combinados	Canal Piloto	Basado en un esquema de 3 pasos para adquisición de código. Símbolos no combinados	Esquema de Dos Señales Piloto	Esquema de 3 pasos para búsqueda de código	Canal Piloto	- Basado en la potencia - Basado en parámetro - Basado en códigos de operador red y servicio	Canal Piloto	Palabra de Sincronización
Longitud de la Trama	10 ms	10 ms / unidad	5 ó 20 ms	10 ms	10 ms	10 ms	10/20 ms	40/4.6 ms	10 ms	10 ms
Código de Dispersión, VSF	4 – 256	FDD: (DL) 1 – 512 (UL) 1 – 256  TDD: 1- 512	4 – 256 @ N=3 4 – 512 @ N=6 4 – 1024 @ N=9, 12	4 – 256	4 – 256	64	4 – 256 para 3.6864 Mcps	No Aplica	16	No Aplica

Tabla 2.15.1. Parámetros de las RTT Terrestres.

	UTRA FDD: W – CDMA/ TDD: TD – CDMA  (ETSI SMG)	W – CDMA  (ARIB Japón)	cdma2000  (TIA TR45.5)	WCDMA/NA  (ATIS T1P1)	Global CDMA II  (TTA Corea)	WIMS W-CDMA  (TIA TR46)	Global CDMA II  (TTA Corea)	UWC – 136  (TIA TR45.3)	TD-SCDMA  (CATT)	DECT  (ETSI DECT)
Codificación del Canal	Código Convolucional  Códigos RS  Turbo códigos (en estudio)	Código Convolucional  Turbo Códigos	Código Convolucional  Turbo Códigos	Código Convolucional  Códigos RS  Turbo códigos (en estudio)	Código Convolucional  Turbo Códigos	Código Convolucional  Turbo Códigos (en estudio)	Código Convolucional  Turbo Códigos	Código Convolucional  Decodificación por decisión suave o dura	Código Convolucional  Códigos RS Opcional  Turbo Código Opcional	Verificación Cíclica de Redundancia (CRC)  Códigos RS
Periodos de Entrelazado de Trama	10/20/40/80 ms	10/20/40/80 ms	5/20 ms	10/20/40/80 ms	10 ms	10/20/40/80 ms	10/20 ms	0/20/40/140/240 ms	10 a 300 ms	No entrelazado
Diversidad en la Transmisión (Tx)	OTD/TDTD (bajo estudio)	FDD: TDTD  TDD: STD/PTD	Por Multiportadora (Para N>3)  OTD para DS-CDMA	OTD/TDTD (bajo estudio)	TSTD  STD (bajo estudio)	OTD/TDTD (bajo estudio)	TSTD  STD (bajo estudio)	Por Tiempo, Por Espacio, Por Frecuencia	Antenas Inteligentes	Por Tiempo, Por Espacio, Por Frecuencia
Pasos de Control de Potencia	FDD: 0.25 – 1.5 dB  TDD: 1.5 – 3 dB	1 dB	1 dB (0.5, 0.25 opcionales)	FDD: 0.25 – 1 dB  TDD: 2 dB	1 dB	1 dB	0.5 ó 1 dB	4 dB	1 dB	Ninguno

Tabla 2.15.1. Parámetros de las RTT Terrestres. (Continuación)

	UTRA FDD: W - CDMA/ TDD: TD - CDMA  (ETSI SMG)	W - CDMA  (ARIB Japón)	cdma2000  (TIA TR45.5)	WCDMA/NA  (ATIS T1P1)	Global CDMA II  (TTA Corea)	WIMS W-CDMA  (TIA TR46)	Global CDMA II  (TTA Corea)	UWC - 136  (TIA TR45.3)	TD-SCDMA  (CATT)	DECT  (ETSI DECT)
Modulación	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	$\pi/4$ DPSK  $\pi/4$ QPSK Coherente  8PSK  GMSK  QOQAM  BOQAM	DQPSK  (16 QAM ó 2 Mbps)	GFSK  (BT = 0.5)  $\pi/2$ DBPSK  $\pi/4$ DQPSK  $\pi/8$ D8PSK
Modulación de Dispersión	QPSK	FDD/TDD: QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	$\pi/4$ DPSK  $\pi/4$ QPSK Coherente  8PSK  GMSK  QOQAM  BOQAM	BPSK	No Aplica
Estructura del Piloto	Símbolo de Piloto en DTCH (Multiplexado en Tiempo)	Símbolo de Piloto en DTCH (Multiplexado en Tiempo)	Símbolo en Piloto Común y Auxiliar (mult. en Código)	Símbolo de Piloto en DTCH (Multiplexado en Tiempo)	Piloto Común (Multiplexado en Código)	Piloto Común (Multiplexado en Tiempo)	Piloto Común (Multiplexado en Código)	No Aplica	Piloto Común (Multiplexado en Tiempo y Código)	No Aplica
Detección	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente ó No Coherente
Control de Potencia	Lazo Cerrado	Lazo Cerrado	Lazo Cerrado	Lazo Cerrado	Lazo Cerrado	Lazo Cerrado	Lazo Cerrado	Por ranura de tiempo o portadora	Lazo Cerrado	Ninguno

Tabla 2.15.2. Parámetros en el enlace de bajada de las RTT Terrestres.

	UTRA FDD: W – CDMA/ TDD: TD – CDMA  (ETSI SMG)	W – CDMA  (ARIB Japón)	cdma2000  (TIA TR45.5)	WCDMA/NA  (ATIS T1P1)	Global CDMA II  (TTA Corea)	WIMS W-CDMA  (TIA TR46)	Global CDMA II  (TTA Corea)	UWC – 136  (TIA TR45.3)	TD-SCDMA  (CATT)	DECT  (ETSI DECT)
Modulación	FDD: BPSK TDD: QPSK	BPSK	BPSK	DQPSK	BSPK	QPSK	BPSK	$\pi/4$ DPSK  $\pi/4$ QPSK Coherente  8PSK GMSK QOQAM BOQAM	DQPSK	GFSK  (BT = 0.5)  $\pi/2$ DBPSK  $\pi/4$ DQPSK  $\pi/8$ D8PSK
Modulación de Dispersión	FDD: HPSK TDD: QPSK	FDD: HPSK TDD: QPSK	HPSK	FDD: HPSK TDD: QPSK	HPSK	QPSK	HQPSK	No Aplica	BPSK	No Aplica
Estructura del Piloto	Multiplexaje por código I/Q	Multiplexaje por código I/Q	Multiplexaje por código I/Q	Multiplexaje por código I/Q	Multiplexaje por código I/Q	Multiplexaje por código I/Q	Multiplexaje por código I/Q	No Aplica	Multiplexaje por código I/Q	No Aplica
Detección	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente	Coherente ó No Coherente
Control de Potencia	Lazo abierto ó Cerrado	Lazo abierto ó Cerrado	Lazo abierto + Cerrado	Lazo abierto ó Cerrado	Lazo abierto + Cerrado	Lazo abierto + Cerrado	Lazo abierto + Cerrado	Control de Potencia del MS controlado por BS	Lazo abierto ó Cerrado	Ninguno

Tabla 2.15.3. Parámetros en el enlace de subida de las RTT Terrestres.

### 2.5.1 La Norma UWC - 136

La visión de TIA respecto a la evolución de la norma TDMA/IS - 136 hacia la tercera generación está contenida en el documento TR45.3. Ésta define la norma UWC - 136 (*Universal Wireless Communications - 136*) con el objetivo de soportar la provisión de todos los servicios propuestos para tercera generación, mediante una tecnología independiente de la banda de frecuencias de operación y que mantiene la filosofía de TDMA permitiendo la evolución transparente de las redes basadas en IS - 136 hacia 3G.

Para alcanzar este objetivo se propone una modulación mejorada en el canal TDMA de 30 kHz (denominado 136+) y se definen portadoras TDMA complementarias de banda ancha para direccionar aquellos servicios de alta velocidad que no puedan ser provistos por la portadora de 30 kHz tomando en cuenta que el limitante es el ancho de banda (denotados 136 HS ó *136 High Speed*). Por consiguiente, el concepto de UWC - 136 comprende tanto el actual canal TDMA de 30 kHz, como las portadoras mejoradas de 30 kHz 136+ y las portadoras complementarias de banda ancha 136 HS.

Gran parte de los operadores actuales que emplean TDMA no cuentan con espectro adicional para ofrecer servicios 3G tales como datos paquetizados a alta velocidad de transmisión o no tienen justificación económica para reemplazar sus redes con sistemas y soluciones nuevas debido a la gran cantidad de infraestructura operando que cubre una alta demanda de suscriptores y cuya operación es, en términos generales, aceptable. La solución es evolucionar los sistemas existentes a uno que provea servicios y capacidades de tercera generación; tal es el caso de la convergencia de GSM e IS - 36, aunque en realidad se trata de pasos intermedios.

La evolución de TDMA implicará mejorar la cobertura y la calidad de voz, una mayor eficiencia espectral o capacidad, servicios en interiores, nuevos servicios de datos y aplicaciones de los mismos y un servidor de nuevos dispositivos de usuario final: La evolución establecerá también una expansión hacia un segmento del mercado más amplio con un rango de uso del sistema potencialmente mayor.

#### 2.5.1.1 Requerimientos de la Norma

Más allá de los requerimientos definidos por IMT - 2000, la norma UWC - 136 debe considerar la evolución comercial efectiva de las redes TDMA IS - 136 para que resulte atractiva la migración a tercera generación para los operadores que en la actualidad cuentan con este tipo de redes. Algunos requerimientos adicionales se detallan a continuación:

- Flexibilidad en el Espectro de Frecuencias:  
La solución comercial debe ser soportar la operación multibanda entre 500 MHz y 2.5 GHz en un espectro orientado por división de frecuencia (incluyendo las bandas concesionadas a telefonía celular y PCS norteamericano) debido al desarrollo de las redes existentes; en este sentido se establece como una tecnología "independiente de la banda de operación".

El control de la potencia inherente de la norma IS - 136, que es extensivo a tercera generación, permite controlar la interferencia y por lo tanto definir la calidad del servicio, haciendo posible que más de un operador celular provea el servicio en la misma zona geográfica con la misma o con otra tecnología de radiotransmisión, en una banda de frecuencias adyacente (por ejemplo en 800 MHz, como la definición de las bandas A y B de AMPS) o con una separación de bandas considerable (como el caso de operadores en 800 MHz y en 1900 MHz).

Adicionalmente, el control de capa física puede ser usado en el enlace de subida para reducir la interferencia, es posible controlar la potencia en el enlace de bajada de forma individual para cada canal de RF y se tiene contemplado el control de potencia del enlace de bajada para cada ranura de tiempo en el caso de 136+.

El control de potencia en los enlaces de subida y de bajada reducen la interferencia potencial e incrementan las oportunidades para compartir espectro.

Otras características adicionales de TDMA IS – 136 se preservan en tercera generación como la identificación del operador a través del SID (*System Identifier*) y el SOC (*System Operator Code*) y la definición de redes privadas (PSID, o *Private System Identifier*), redes residenciales (RSID, o *Residential System Identifier*) y redes públicas identificadas de una forma unívoca para cada operador.

Actualmente se han definido dos bandas de operación para la norma completa UWC – 136, 800 MHz y 1900 MHz aún cuando el estándar es suficientemente flexible para permitir su definición en diferentes bandas de operación, lo cual está determinado por las necesidades del mercado.

De igual manera, y para no degradar el desempeño del sistema existente, es necesario contar con Estructuras de Células Jerárquicas, HCS. Siendo necesarios diversos rangos de coberturas y capacidades de células para tercera generación y flexibilidad sobre la ubicación exacta de los sitios celulares, UWC – 136 debe soportar el uso de repetidores para coberturas extendidas cuando éstas sean necesarias, y variaciones en el área de cobertura de la célula ya que soporta HCS de forma preferente, no preferente y regular, permitiendo con ello la definición de macrocélulas, microcélulas y picocélulas "sombriilla". Con ráfagas abreviadas, el rango de sitios celulares puede extenderse de manera significativa mediante el uso de repetidores.

- **Eficiencia Espectral**

Un aspecto clave de la evolución es la capacidad de incrementar la eficiencia espectral del esquema de acceso para proveer tasas de transmisión más altas. Un sistema basado en UWC – 136 a su máxima capacidad de carga debe ser capaz de manejar una eficiencia espectral de por lo menos 0.45 Mbits/s/MHz/celda con base en los requerimientos de 136 HS.

Este nivel de eficiencia, superior al manejado por tecnologías de segunda generación tales como CDPD, considera y favorece la provisión de servicios basados en conmutación de paquetes como Acceso inalámbrico a Internet.

El cambio en la modulación es un aspecto importante en la mejora de la eficiencia espectral, redefinir la modulación de un proceso de 2 bits/símbolo (de tipo QPSK) a 3 bits/símbolo (coherente, de tipo 8PSK) permite tasas efectivas de transmisión de datos de entre 45 y 50 kbps en un canal de 30 kHz sin cambio en la longitud de la trama TDMA de 20 ms.

Esta modificación significa también un incremento en la tasa de codificación de voz de 7.4 a 12.2 kbps lo cual mejora la calidad de voz en condiciones de canal limpio; también es posible implementar una codificación más robusta que provea inmunidad contra el ruido y mejore la calidad de voz en canales degradados en los que normalmente se efectúa la transmisión.

Un segundo paso consiste en añadir una portadora de 200 kHz adoptando la estructura de trama TDMA basada en GSM junto con la citada modulación de 3 bits/símbolo y con GPRS. La capa física de este sistema con portadoras de 200 kHz es denominado comunmente EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) ó 136 HS y supone la convergencia de GSM y TDMA. Esta característica permite tasas de datos de hasta 384 kbps.<sup>7</sup>

De esta manera es posible la introducción de nuevos servicios tales como correo electrónico y acceso a Internet para transferencia de información con una operación similar a la de las redes alámbricas; adicionalmente, los sistemas basados en paquetes de datos permiten multiplexar varios usuarios para que compartan un canal, lo cual es útil cuando la naturaleza del tráfico no es sensible a retrasos y su comportamiento es en ráfagas y redundante en un mejor balance costo – beneficio.

- **Compatibilidad con IS – 136/136+.**  
Este requerimiento se cumple garantizando la compatibilidad con el plan de frecuencias de RF con los sistemas actuales, que el análisis de enlace para la cobertura provea una pérdida por trayectoria similar que para los casos de IS – 136/136+ y que los servicios de 136 HS sean provistos vía los canales de control definidos para IS – 136/136+.

Para garantizar estos requerimientos es necesario tener en cuenta el efecto del desvanecimiento ante un mayor ancho de banda en el caso de 136 HS.

Considerando lo anterior, los servicios UWC – 136 pueden ser establecidos con los mismos planes de frecuencia y ambientes de C/I. La definición del nivel apropiado para el control del error en la tasa de bits usado en cada servicio para asegurar que se cumplan los requerimientos de calidad de transmisión son comunes.

- **Desempeño en Entorno de Macrocélulas para Terminales Móviles desplazándose a Alta Velocidad.**  
La norma M.1225 de UIT, que forma parte de la serie de normas para IMT – 2000, especifica tasas de transmisión de 384 kbps para entornos de microcélulas (ambientes peatonales con velocidades de desplazamiento de 3 km/h). UWC – 136 extiende este requerimiento de transmisión a entornos de macrocélulas (ambientes vehiculares con velocidades de desplazamiento de hasta 100 km/h) mediante el empleo de EDGE.

Por encima de la cota de 100 km/h y hasta 500 km/h la tasa de transmisión no debe degradarse por debajo de 144 kbps para aplicaciones terrestres.

Más allá de esta velocidad, EDGE soporta transmisión de datos "con móviles desplazándose hasta 1500 km/h" para aplicaciones aeronáuticas cumpliendo la especificación M.1034, lo que está sujeto a consideraciones adicionales de diseño. Sin embargo las restricciones en dispositivos para comunicaciones inalámbricas en la aviación comercial no hacen viable en el plano comercial la instalación de UWC – 136 a estas velocidades de desplazamiento de los móviles.

---

<sup>7</sup> Para una mejor referencia de las tecnologías de EDGE y GPRS consultar el Apéndice B anexo.

### **2.5.1.2 Estructura del canal de control: Manejo de Tráfico**

Los canales de tráfico transmiten una amplia variedad de tramas en cuanto a la naturaleza de la información, que proveen acceso con muy diversos modos de comunicación en la red de tercera generación y en las redes entre las que se conecta.

Hay dos tipos de canales de tráfico clasificados de acuerdo a sus características técnicas:

- **Canales de Tráfico Dedicados (DTCH, *Dedicated Traffic CHannel*)**  
Se define como DTCH un canal bidireccional o unidireccional en el enlace de bajada que transmite información del usuario. Un canal dedicado transmite información entre la radiobase y una sola terminal móvil.
- **Canales de Tráfico Aleatorios (RTCH, *Random Traffic CHannel*)**  
Un canal RTCH es siempre unidireccional y para el enlace de reversa. Transporta datos de usuario de tipo paquetes.

La tasa de transmisión de datos soportada, o el rango de éstas, es específica del enlace de radio y las limitantes impuestas por la transmisión inalámbrica, la disponibilidad del espectro (es decir, el ancho de banda asignado) y las razones económicas de revertir estas dificultades técnicas dificultan proveer canales con capacidades de RDSI B completos en el caso de 136/136+.

Pese a que los canales de tráfico digital (DTC, *Digital Traffic Channel*) de 30 kHz permiten la transmisión simultánea de voz y datos tanto en el canal de subida como en el de bajada, la tasa de transmisión de datos es limitada. La definición de SACCH (*Slow Associated Control Channel*) para datos a baja velocidad de transmisión (típicamente no mayor a 11.2 kbps) al mismo tiempo que se transmite voz, y de FACCH (*Fast Associated Control Channel*) para datos a velocidades mayores enmudeciendo la transmisión de voz amplían la gama de servicios que es posible ofrecer.

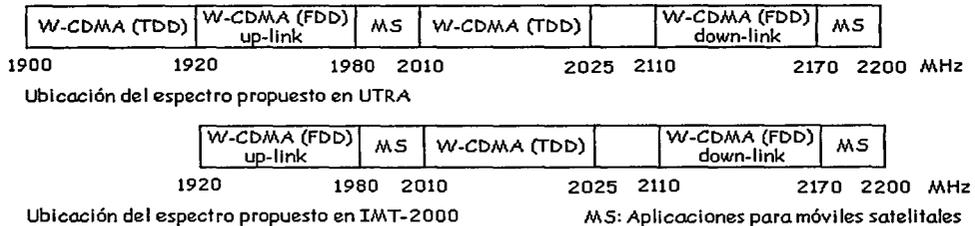
En el caso de 136 HS, el ancho de banda asignado es suficiente para superar las tasas de transmisión de datos impuestas por BRI RDSI. Por consiguiente, UWC – 136 soporta una amplia variedad de tasas de transmisión que cumplen con las características requeridas para tercera generación. Sin embargo, su explotación comercial está por verse.

### 2.5.2 CDMA de Banda Ancha

Respecto a la penetración de CDMA como tecnología de tercera generación, esta inició a principios de 1997, cuando ARIB inició sus procedimientos para proponer una tecnología RTT a la UIT basada en CDMA; durante ese año tanto la técnica de acceso propuesta por el citado organismo de normatividad japonés como por el ETSI se conjuntaron: a esta interfaz de aire se le denomina ahora CDMA de banda ancha, W-CDMA, de forma común, aunque por parte de la ETSI se refiere a la tecnología de radiotransmisión de las bandas de frecuencias con esquema por división de frecuencia (FDD) en la interfaz terrestre de UMTS.

En lo sucesivo en el presente subtema hemos de referirnos a la versión de W – CDMA propuesto por ARIB como “IMT – 2000” y a la versión europea de la norma, UMTS propuesta por ETSI, como “UTRA”

El acceso de radio soporta ambos modos de operación FDD y TDD. Una propuesta de ubicación de espectro corresponde a la mostrada en la figura 2.16.<sup>8</sup>



**Figura 2.16.** Propuesta de Ubicación de espectro considerando W – CDMA.

Para aplicaciones con tráfico asimétrico (descarga de archivos de internet ó video en demanda-VoD), solamente se necesitaría una de las bandas FDD, por lo que TDD se presenta como una solución mas flexible, capaz de duplicar la capacidad al utilizar todos los time slots en una sola dirección.

Los parámetros designados para la operación en modo TDD y FDD son mutuamente compatibles, tal como se muestra en la tabla 2.17, de tal forma que el desarrollo de terminales con modo de acceso dual para servicios brindados por operadores TDD y FDD es sencillo. Investigaciones recientes ubican al modo TDD con mayor fuerza al utilizar modems adaptativos CDMA basados en Tx/Rx de datos burst\_by\_busr, dado que la reciprocidad entre el uplink y el downlink puede ser explotada ventajosamente, para ajustar los parámetros de modem, como el factor de dispersión, ó el número de bits por símbolo con base burst\_by\_burst. Esto permite al sistema explotar de forma mas eficiente la capacidad variable con respecto del tiempo, de los canales, manteniendo así, una mayor del ancho de banda (bit/s/Hz).

<sup>8</sup> Cfr. Al respecto, consultar el capítulo 3. respecto a las propuestas aplicables para México y su análisis, de forma más extensa.

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

Tecnología de Acceso por Radio	FDD: DS-CDMA TDD: TDMA/CDMA
Ambientes de operación	Indoor/Outdoor hacia Indoor/Vehicular
Tasa de los chips (Mcps)	UTRA: 4.096/8.092/16.384 IMT2000: 1.024/4.096/8.192/16.384
Ancho de banda del canal (MHz)	UTRA: 5/10/20 IMT2000: 1.25/5/10/20
Factor de roll-off de Nyquist	0.22
Modos duplex	FDD y TDD
Tasas de bits del canal (kbps)	FDD (UL): 16/32/64/128/256/512/1024 FDD (DL): 32/64/128/256/512/1024/2048 TDD (UL/DL): 512/1024/2048/4096
Longitud del Frame	10 ms
Factor de dispersión	FDD: Variable, de 4 a 256 TDD: Variable, de 2 a 16
Esquema de detección	Cóherente mediante símbolos de la señal piloto, multiplexados en el tiempo
Operación entre celdas	FDD: Asíncrona TDD: Síncrona
Control de potencia	Círculo abierto y cerrado
Rango dinámico de transmisión de potencia	80 dB (UL) 30 dB (DL)
Handover	Handover suave (misma frecuencia) Handover entre frecuencias

Parámetros básicos para UTRA/IMT-2000

**Tabla 2.17.** Parámetros Básicos para W - CDMA

En lugar de un canal piloto dedicado, se van a agregar símbolos del canal piloto dentro de las tramas de datos del usuario.

Con el fin de tener flexibilidad en el despliegue del sistema para ambientes indoor y outdoor, la operación asíncrona entre celdas se usa en el modo FDD. Esto implica que no se requiere de una fuente de temporización externa como GPS. Sin embargo, en el modo TDD, la sincronía entre celdas se requiere para acceder a los timeslots ofrecidos por las BTSs adyacentes durante los handovers. Dado que la división del espectro en bandas con modos TDD y FDD, resulta ser ineficiente en términos de la utilización del ancho de banda, especialmente en el caso de tráfico simplex o asimétrico. Dada la flexibilidad de CDMA, y considerando que la interferencia no sea excesiva, FDD y TDD pueden compartir el mismo ancho de banda. El escenario en el que se plantea esto es servicio outdoor con FDD y servicio indoor con TDD, lo cuál es una solución todavía en estudio.

### 2.5.2.1 Canales de Transporte

Los canales de transporte se clasifican en dos grupos principales:

Canal dedicado (DCH) (UL/DL)	Canal de control de broadcast (BCCH)(DL) Canal de acceso directo (FACH)(DL) Canal de Paging (PCH)(DL) Canal de acceso aleatorio (RACH)(UL)
------------------------------	---

Para el grupo del canal de transporte dedicado, el DCH se refiere a un enlace específico entre estación base y estación móvil (bidireccional).

Dentro del grupo de canales de transporte común existen cuatro canales de transporte.

- El BCCH se usa para llevar información específica de la celda y del sistema en el downlink a todos los móviles de una celda. Contiene la potencia de transmisión en el downlink por la BTS y la potencia de la interferencia en el uplink medida en la BTS. Ambas mediciones son fundamentales para el ajuste de potencia del móvil para mantener el SINR (Razón de la Señal a Interferencia + Ruido) objetivo.
- El FACH se utiliza en el downlink para llevar información de control y paquetes cortos de información del usuario, a los móviles, si el sistema conoce la BTS servidora del móvil.
- El PCH se utiliza en el downlink para llevar información de control, cuando la estación base servidora del móvil no se conoce, a fin de alarmar al móvil.
- El RACH se utiliza en el uplink para llevar información de control y paquetes cortos de información del usuario a la BTS, a fin de soportar el acceso del móvil al sistema, cuando se desee establecer una llamada.

### 2.5.2.2 Canales Físicos

Los canales de transporte se transmiten utilizando los canales físicos. En W-CDMA, el número de usuarios soportados simultáneamente, depende de la tasa de bits requerida por los usuarios y sus factores de dispersión asociados. Los móviles pueden transmitir continuamente en todos los timeslots, ó discontinuamente. Los superframes utilizados constan de 72 frames de radio, de los cuales, cada uno tiene 16 timeslots. La duración de cada timeslot es de 0.625 ms, por lo que cada frame de radio dura 10 ms y cada superframe 720 ms.

En el modo FDD, el canal físico en el downlink se define por su código de dispersión y su frecuencia. Además, en el uplink, los canales ortogonales en-fase y en-cuadratura del modem, se utilizan para enviar información de datos y de control simultáneamente, de forma paralela mediante las trayectorias I y Q, y por tanto el conocimiento de la fase relativa de la portadora (a conocer cuando las trayectorias I ó Q se utilizan) constituye parte del identificador del canal físico. Por otra parte, en el modo TDD, un canal físico se define por su código de dispersión, su frecuencia y su timeslot. El formato de los canales físicos es distinto para UTRA y para IMT2000.

#### 2.5.2.2.1 Canales Físicos para UTRA

Se clasifican principalmente en dos grupos:

Canales físicos dedicados	Canales de transporte (asociados)
Canal físico dedicado de datos (DPDCH)(UL/DL)	DCH
Canal físico dedicado de control (DPCCH)(UL/DL)	DCH
Canales físicos comunes	Canales de transporte (asociados)
Canal físico de acceso aleatorio (PRACH)(UL)	RACH
Canal físico de control común primario (PCCPCH)(DL)	BCCH
Canal físico de control común secundario (SCCPCH)(DL)	FACH – PCH
Canal de sincronía (SCH)(DL)	

La estructura de los mismos se aprecia en la figura 2.18.

La configuración de la información dentro de los timeslots en los canales físicos, varía entre el uplink y el downlink, así como entre los modos FDD y TDD.

- El DPDCH utilizado en forma bidireccional, transmite la información del DCH entre la BTS y el móvil.

- El DPCCH utilizado en forma bidireccional, transmite los símbolos piloto, los comandos del control de potencia de transmisión (TPC) y opcionalmente, el indicador del formato de transporte (TFI). Dado que los segmentos TFI y TPC hacen "autodescriptivos" a los paquetes de transmisión, el sistema resulta ser mas flexible, soportando adaptación burst-by-burst, lo cuál incrementa el desempeño del sistema, aunque esta información adicional es vulnerable ante errores de transmisión. Los símbolos piloto se utilizan para facilitar la detección coherente en el up-link y down-link. Los comandos del TPC proveen de un esquema de control de potencia rápido y eficiente, esencial para DS-CDMA. El TFI lleva información de los parámetros instantáneos de cada canal de transporte multiplexado en el canal físico. En el uplink de UTRA modo FDD, ambos mensajes (DPDCH y DPCCH) se transmiten en paralelo en las trayectorias I y Q del modem. En el downlink ambos se multiplexan en el tiempo, dentro de un timeslot de un canal físico. La transmisión en paralelo en el up-link se realiza para evitar problemas de "Compatibilidad Electromagnética" (EMC) debido a la transmisión discontinua del DPDCH. La transmisión discontinua ocurre cuando temporalmente no se tienen datos a transmitir pero el enlace se mantiene mediante el DPDCH.
- El PCCPCH utilizado en el downlink, es enviado mediante un broadcast continuo de la BTS con información del BCCH con una tasa fija de  $20 \text{ bits} / 0.625 \text{ ms} = 32 \text{ kbps}$  a todos los móviles en la celda.
- El SCCPCH utilizado en el downlink, transmite la información del PCH y del FACH. Estos se transmiten solamente cuando se tienen datos. El móvil puede conocer la tasa de transmisión del SCCPCH, mediante el BCCH transmitido en el PCCPCH.

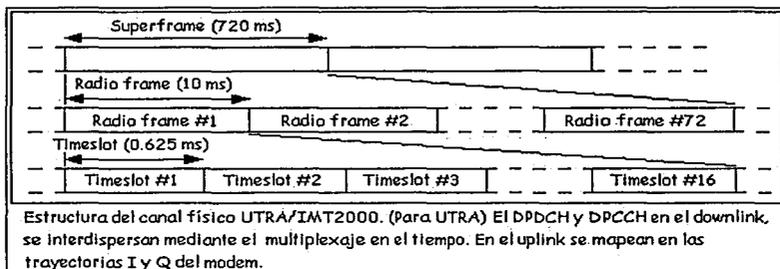


Figura 2.18. Estructura del canal físico para UTRA

El parámetro  $k$  determina el factor de dispersión (SF) de los canales físicos. El SF mas grande es 256 para  $k=0$ , que corresponde a la tasa mas baja y la ganancia de dispersión mas alta, mientras que el SF mas pequeño es de 4 con  $k=6$ . De aquí se tiene que las tasas de bits disponibles en el DPDCH del uplink son  $16/32/64/128/256/512/1024 \text{ kbps}$ , debido a la "carga útil" asociada de  $10 \times 2^k \text{ bits}$  cada burst de 0.625 ms.  $k$  toma valores de 0 a 6.

La configuración de un time slot en modo FDD en este caso, es la correspondiente a la figura 2.19. De manera similar, la configuración de un *time slot* en modo FDD se muestra en la figura 2.20.

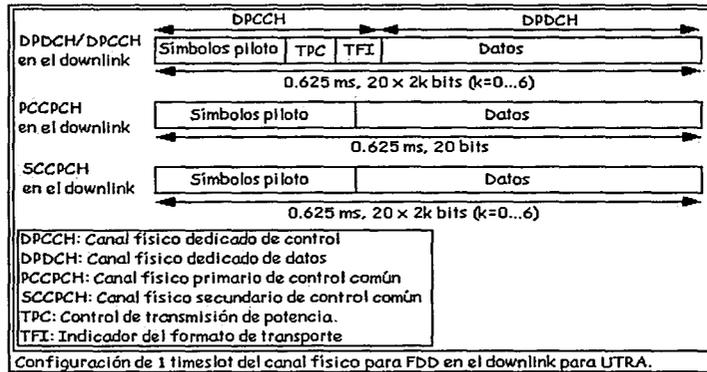


Figura 2.19. Configuración de 1 *time slot* para FDD (*downlink*) para UTRA

Este grupo de tasas de transmisión estructuradas en forma jerárquica proveen de gran flexibilidad en términos de los servicios soportados. Cabe destacar que las tasas en los canales físicos dedicados del downlink tienen el doble de capacidad que los del uplink. Esto se debe a que en el downlink, el DPDCCH y el CPDCH se multiplexan en el tiempo, mientras que en el uplink, éstos se transmiten en paralelo mediante las trayectorias I y Q del modem, usando una técnica conocida como "Transmisión por código múltiple". El SCCPCH también tiene una tasa variable de  $20 \times 2^k$  bits cada 0.625 ms. El PCCPDH tiene una tasa constante de  $20 \text{ bits}/0.625 \text{ ms} = 32 \text{ kbps}$ . Dado que la tasa de chips es de 4.096 Mcps y cada timeslot consta de 0.625 ms, se tiene una tasa de 2560 chips cada timeslot.

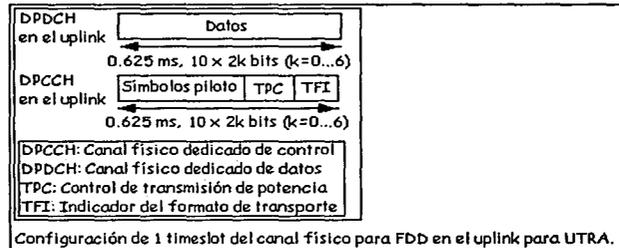
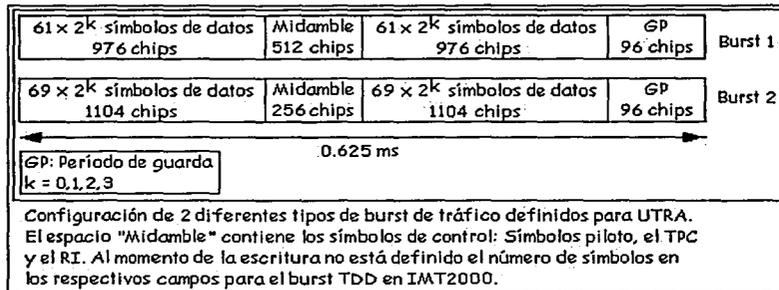


Figura 2.20. Configuración de 1 *time slot* para FDD (*uplink*) para UTRA.

En general se ve el aumento en la tasa de transmisión del canal de control, comparado contra los estándares de 2G. Esto implica de manera significativa, un control del sistema más flexible que en 2G.

En el modo TDD de UTRA se utilizan 2 tipos de burts de tráfico conocidos como *burst1* y *burst2* (el modo TDD será explicado con mayor detalle más adelante); esto puede apreciarse en la figura 2.21 mostrada en la siguiente página.

## 2. Conceptualización de Tercera Generación



**Figura 2.21.** Configuración de los dos diferentes tipos de *burst* de tráfico definidos para UTRA.

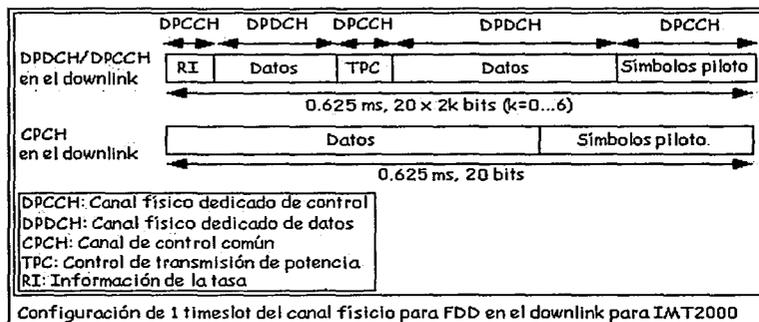
El parámetro k, donde K=0,1,2,3 determina el SF del burst. Por lo tanto, el SF de los bursts TDD puede ser variable, con un rango de  $976/(61 \times 2^3) = 2$  hasta  $976/(61 \times 2^0) = 16$ , como se deriva del Burst1. El rango del SF para el Burst2 también es de 2 hasta 16. Con estos SFs, la tasa de bit del canal de una TDD modulado con QPSK puede ser de 512/1024/2048/4096 kbps.

### 2.5.2.2.2 Canales Físicos para IMT2000

Se clasifican principalmente en dos grupos

Canal físico dedicado de datos (DPDCH)(UL/DL)	DCH
Canal físico dedicado de control (DPCCH)(UL/DL)	DCH
Canal físico de acceso aleatorio (PRACH)(UL)	RACH
Canal de posición –Perch Channel- (BCH)(DL)	BCH (corresponde al BCCH en UTRA)
Canal físico común (CPCH)(DL)	FACH – PCH

La estructura correspondiente a 1 *time slot* se muestra en la figura 2.22 a continuación:

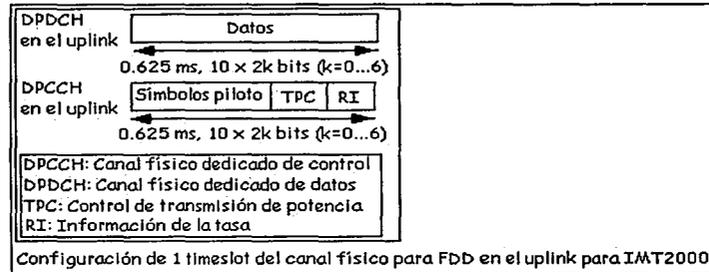


**Figura 2.22.** Configuración de 1 *time slot* de canal físico para FDD (*downlink*) para IMT2000.

Las diferencias con respecto a los canales físicos de UTRA son en los canales físicos comunes.

-El canal de posición (perch channel) tiene una función similar al SCH en UTRA. Sin embargo, el BCH de UTRA, también se transmite mediante el canal de posición en IMT2000 y no por un canal adicional como es el PCCPCH de UTRA.

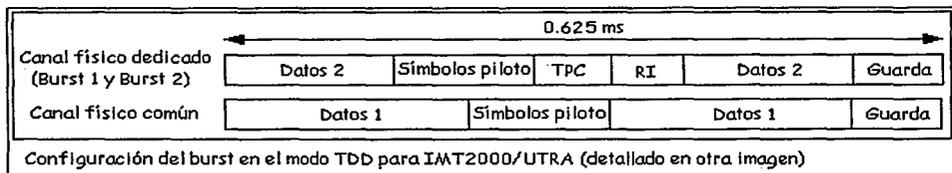
La estructura de 1 *time slot* (en el *uplink*) de canal físico para FDD es la que presentamos en la figura 2.23.



**Figura 2.23.** Configuración de 1 *time slot* de canal físico (*uplink*) en FDD para IMT2000.

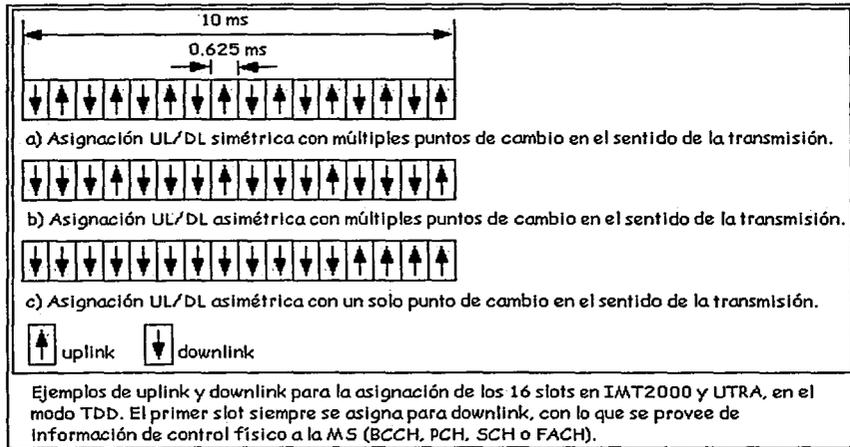
Los canales físicos de IMT2000 también se acomodan en superframes, radioframes y timeslots, con parámetros similares a los utilizados para UTRA. Para la configuración de los timeslots, el parámetro "Información de la tasa" (RI) tiene la misma función que el TFI de UTRA, dando lugar a la transmisión de burts "autodescriptivos", por lo que IMT2000 también soporta adaptación de tipo *burst-by-burst*.

En contraste con las estructuras de FDD, en la operación con TDD, la estructura del burst cambia, siendo:



**Figura 2.24.** Configuración del *burst* en modo TDD tanto para IMT2000 como para UTRA.

Para esta estructura de burst, la información transmitida en cada timeslot puede acomodarse arbitrariamente en el downlink o en el uplink, con la excepción del primer burst en el frame TDD, que siempre está asignado al downlink, como se aprecia en la imagen de la figura 2.25.



**Figura 2.25.** Ejemplos de asignación de *time slots* para los enlaces en *uplink* y *downlink*.

Por lo tanto, dicha ubicación flexible de los burts en el uplink y downlink usando TDD, hace posible el uso de un modem adaptativo, que según los parámetros de modem (como el factor de dispersión o el número de bits por símbolo), puede ser ajustado, con una base "burst by burst" para optimizar la calidad del enlace. El primer slot, conocido como "guía" (beacon slot), contiene solamente la información de control física del downlink, como la información del BCCH, PCH, SCH o FACH para UTRA e IMT2000 respectivamente.

Las ubicación simétrica de los slots en el uplink/downlink se refiere a un escenario donde se tiene el mismo número de burts para el downlink y para el uplink alojados dentro de un frame, mientras que para una ubicación asimétrica el número de burts alojados dentro de cada frame es distinto, dependiendo del servicio que se requiere. En el modo TDD, la configuración de la información en el burst difiere con respecto a la utilizada en FDD, debido a la presencia de una banda de guarda.

### 2.5.2.3 Multiplexaje de Servicios y Codificación del canal

El multiplexaje se emplea, cuando servicios múltiples con tasa de bits idéntica y/o distinta, requiriendo diferente calidad de servicio (QoS) perteneciendo a una misma conexión de usuario, son transmitidos. Un posible método de transmisión de servicios múltiples, es mediante el uso "Multiplexaje por Código" con la ayuda de códigos ortogonales. Cada servicio tendría su propio DPDCH y DPCCH, cada uno asignado a un código ortogonal distinto. Este método no es muy eficiente de cualquier modo, dado que un número de códigos ortogonales estarían reservados por un solo usuario, mientras que en el uplink esto implicaría auto interferencia. Alternativamente, estos servicios pueden multiplexarse en el tiempo en uno o varios DPDCHs.

Los canales de transporte pertenecientes a distintos servicios con diferente requerimiento de QoS primero se codifican individualmente, usando diversas técnicas de codificación. Diversas técnicas de FEC (Forward Error Correction) están propuestas para la codificación del canal. La técnica de FEC utilizada es dependiente del requerimiento de QoS de cada servicio. Las posibles técnicas de FEC a utilizarse, junto con sus respectivos parámetros son:

	Convolutional	Reed - Solomon	Turbo *
Requerimientos de BER	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$
Tasa	1/4 a 1	Por decidirse	1/3 o 1/2
Limitación de longitud	9	N / A	3

\* La codificación "Turbo" está en investigación por parte de ETSI, y es opcional en IMT2000  
 Parámetros para la codificación del canal en UTRA e IMT2000

Después, cada canal de transporte codificado se entrelaza. La longitud del llamado "Entrelazado interno" (Inner Interleaving) puede variar desde un frame de radio (10 ms) hasta llegar a los 80 ms, dependiendo del tipo de servicio que se está entrelazando. Para servicios interactivos o en tiempo real, con un BER fijo no tan estricto, el tiempo de decodificación es crítico, y por ende, una longitud pequeña de entrelazado es mas factible. Para servicios que no son en tiempo real, se pone mas énfasis en lograr un BER bajo, que en una decodificación rápida, y por tanto, una longitud grande de entrelazado es mas benéfica. La longitud del entrelazado se refiere a las dimensiones de la matriz de entrelazado, de donde se entiende que una longitud pequeña de entrelazado es una matriz de dimensiones mas pequeña, con lo que se ahorra tiempo en el procesamiento de la información.

La salida de cada canal de transporte codificado tiene una tasa de bits distinta. Por tanto, antes de que se multiplexen en el tiempo en un canal físico, se requiere de un procedimiento llamado "Empate de Tasas Estático" (Static Rate Matching). Este procedimiento está coordinado a lo largo de los diferentes canales de transporte codificados, de tal forma que la tasa de bits de cada canal esté ajustada a un nivel que cumpla con sus requerimientos mínimos de QoS. En el downlink, la tasa de bits también se ajusta, de tal forma que la tasa de bits instantánea total del canal de transporte, empate aproximadamente la tasa de bits definida para el canal físico (16/32/64...kbps).El procedimiento de "Empate de Tasas Estático" se basa en la eliminación (code puncturing) y repetición de bits.

Después del empate de tasas estático, los canales de transporte codificados se multiplexan en el tiempo, para producir la "carga útil" del DPDCH. La tasa de bits instantánea total de la "carga útil" del DPDCH, puede no ser igual a la tasa de bit del DPDCH definida. Por lo tanto, se usa el proceso llamado "Empate de Tasas Dinámico" (Dynamic Rate Matching), que empata la tasa de bit instantánea, con una de las tasas definidas como tasa de bit del DPDCH. Si la tasa de bit instantánea excede la tasa de bit del DPDCH máxima definida (de 1.024 Mbps), se ejecuta la transmisión por código múltiple, donde varios DPDCHs se transmiten en paralelo. Después de que la tasa de bit de los canales multiplexados se empata con la tasa del DPDCH, los datos son entrelazados.

El multiplexaje de servicios se muestra en la imagen de la figura 2.26.

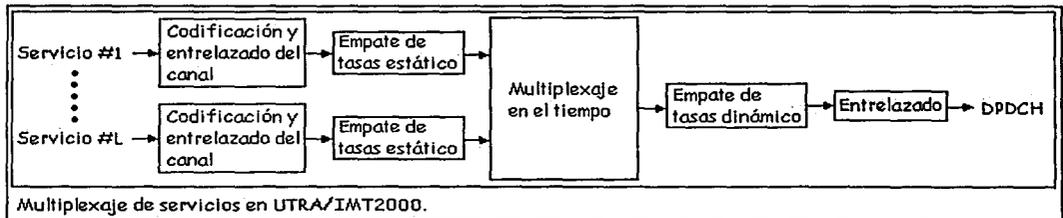


Figura 2.26. Multiplexaje de Servicios en W - CDMA

### 2.5.2.4 Tasa Variable y Transmisión con Código Múltiple

Se han propuesto 3 técnicas diferentes para soportar las tasas de transmisión variable, llamadas, código múltiple, multiplexaje por división de modulación MDM y ganancia por procesamiento múltiple (MPG). UTRA e IMT2000 emplean varias técnicas de ganancia por procesamiento, o factores de dispersión variables, para transmitir con distintas tasas de bits de canal. El SF tiene un efecto directo en el desempeño y la capacidad del sistema DS-CDMA. Dado que la tasa de chips es constante, el SF (que está definido como la razón del ancho de banda disperso entre el ancho de banda de la información original) es menor, a medida que la tasa de bit se incrementa. Por esto, existe un límite al valor del SF usado, que es 4 en el modo FDD para el estándar de 3G propuesto. La transmisión por código múltiple se utiliza si la tasa de bit total a ser transmitida, excede la tasa de bit máxima soportada por un solo DPDCH, que es de 1.024 Mbps. Cuando esto sucede, la tasa de bit se divide entre un número de códigos de dispersión y la información se transmite usando 2 ó más códigos. Sin embargo, solo un DPCCH se transmite durante este tiempo. Por lo tanto, en el uplink, un DPCCH u varios DPDCHs son multiplexados por código y transmitidos en paralelo. En el downlink, el DPDCH y el DPCCH son multiplexados en el tiempo en el primer canal físico asociado con el primer código de dispersión. Si se requieren mas canales físicos, la parte del DPCCH en el slot, se deja en blanco.

### 2.5.2.5 Dispersión y Modulación

Como ya se sabe, el desempeño del sistema DS-CDMA está limitado por la interferencia. La mayoría de la interferencia se origina en las señales transmitidas por otros usuarios en la misma celda, así como en las celdas vecinas. La interferencia se conoce comúnmente como Interferencia por Acceso Múltiple (MAI). Otra fuente de interferencia, menos considerable, es el resultado de la naturaleza de la transmisión de banda ancha en CDMA, lo que causa varias replicas de la señal transmitida para alcanzar al receptor en instantes de tiempo distintos. Esto genera lo que se conoce como interferencia por multitrayectoria. Sin embargo, la ventajas brindadas por la transmisión de banda ancha, tales como la diversidad por multitrayectoria y la propiedad "noise-like" de la interferencia, sobrepasan a las desventajas.

Para reducir el MAI y mejorar el desempeño y la capacidad del sistema, los canales físicos en UTRA/IMT2000 se dispersan usando 2 códigos diferentes, llamados "código de canalización" (channelization code) y "código de combinación" (scrambling code).

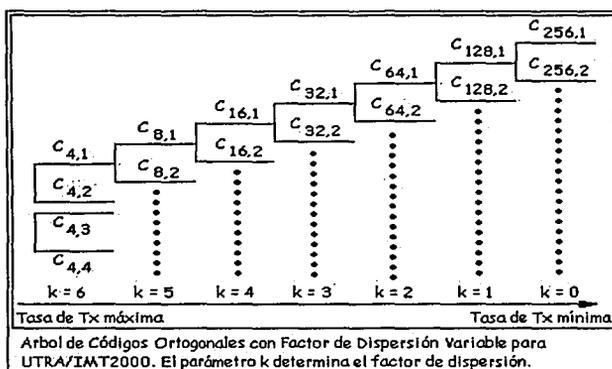
#### Códigos Ortogonales con Factor de Dispersión Variable (UTRA/IMT2000)

Los códigos de canalización para UTRA/IMT2000 se derivan de un grupo de códigos ortogonales denominados códigos ortogonales con factor de dispersión variable (OVSF). Los códigos OVSF se generan a partir de un grupo con estructura de árbol de códigos ortogonales, tales como los códigos Walsh-Hadamard. Cada código de canalización se denota por  $C_{N,n}$ , donde  $n=1,2,\dots,N$  y  $N=10^x$ , con  $x=2,3,\dots,8$ . Cada código  $C_{N,n}$  se deriva del código previo  $C_{(N/2),n}$ .

$$\begin{bmatrix} C_{N,1} \\ C_{N,2} \\ C_{N,3} \\ \vdots \\ C_{N,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{(N/2),1} | \bar{C}_{(N/2),1} \\ C_{(N/2),1} | \bar{C}_{(N/2),1} \\ C_{(N/2),2} | \bar{C}_{(N/2),2} \\ \vdots \\ C_{(N/2),(N/2)} | \bar{C}_{(N/2),(N/2)} \end{bmatrix}$$

Matriz de códigos de canalización

Se debe considerar a  $\bar{C}_{N,n}$  como el complemento binario de  $C_{N,n}$ . Cada código ubicado dentro de la matriz que genera un código de canalización recibe el nombre de código madre.



**Figura 2.27.** Árbol de Códigos Ortogonales con Factor de Dispersión  $k$ .

Para los canales transmitidos en paralelo con la misma tasa de bits, la ortogonalidad se conserva mediante al asignar a cada canal un código ortogonal distinto. Para canales transmitidos en paralelo con distinta tasa de bits se asigna un código a cada canal, asegurando que ningún código sea el código madre de otro. Por lo tanto, los códigos OVFS de canalización proveen de aislamiento total entre canales físicos de diferentes usuarios en el downlink que transmite todos los códigos con sincronía y por ende elimina la interferencia por acceso múltiple (MAI). Los códigos OVFS de canalización también proveen de ortogonalidad entre diferentes DPDCHs durante la transmisión con código múltiple.

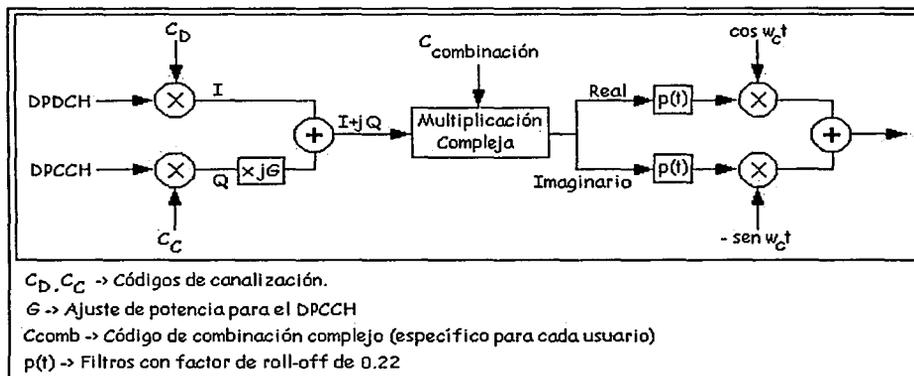
Sin embargo, dado que solo existe un número limitado de códigos OVFS, lo cuál es insuficiente para soportar un número grande de usuarios y al mismo tiempo permitir la identificación de las BTSs por los móviles en el downlink, cada celda hace reuso del mismo grupo de códigos OVFS. Otro problema surge al tener que códigos ortogonales, como es el caso de los códigos OVFS, en general no presentan propiedades aceptables al calcular la correlación cruzada asíncrona, pues resulta extremadamente alta; esta condición se cumple al hacer el cálculo para las celdas adyacentes. Por otra parte se tienen ciertos códigos largos, como los códigos de oro, que presentan una correlación cruzada asíncrona baja, lo cuál resulta ventajoso para las aplicaciones de CDMA. Es por esto, que en UTRA/IMT2000 se utilizan códigos largos específicos para cada celda, para reducir la interferencia entre celdas en el downlink. En el uplink, el MAI se reduce mediante la asignación de distintos códigos de combinación a diferentes usuarios.

OVSF	DL:Códigos de oro (UTRA/IMT/2000) Códigos Kasami (UTRA) extendidos muy largos (VL) UL:Códigos de oro
Variable	DL:10 ms de código de oro con $(2^{18}-1)$ chips UL:10 ms de código de oro con $(2^{31}-1)$ chips, Código Kasami de 256 chips (UTRA), 737.28 s de código de oro con $(2^{31}-1)$ chips (IMT2000)
DL:BPSK UL:BPSK	DL:BPSK (UTRA), QPSK (IMT2000) UL:QPSK
DL:QPSK (FDD y TDD) UL:BPSK (FDD), QPSK (TDD)	

### 2.5.2.5.1 Dispersión y Modulación en el Enlace de Subida

Las mediciones tradicionales para comparar los distintos códigos son su correlación cruzada (CCL) y su auto correlación (ACL). Si el CCL de los códigos de canalización de distintos usuarios no es cero, se incrementa la interferencia que percibe el receptor, por parte de los demás transmisores. De esto se deduce que un CCL bajo reduce el MAI. La ACL "fuera de fase" de los códigos, tiene un papel importante durante la sincronización inicial entre la BTS y la MS, puesto que debe ser lo suficientemente baja como para minimizar la probabilidad de sincronización con un pico de ACL erróneo (lo que implica la sincronía con otra celda distinta de la mejor servidora).

El diagrama de bloques para el transmisor en el *uplink* es el siguiente:



Transmisor modo FDD para el up-link - UTRA/IMT2000

**Figura 2.28.** Transmisor modo FDD para el *uplink*.

El DPDCH y DPCCH se transmiten en paralelo por las trayectorias I y Q respectivamente, por lo que para evitar interferencia entre dichas trayectorias, se cuenta con códigos de dispersión ortogonales distintos para cada canal físico. A esta técnica se le conoce como "Dispersión de canal - dual". Los dos códigos de canalización ya están ubicados en un orden predefinido. Por ende, la BTS y la MS solo deben conocer el factor de dispersión de los códigos de canalización, pero no el código en sí.

Después de la dispersión, la señales moduladas con BPSK en las trayectorias I/Q, se suman para producir una señal compleja, donde se realiza un ajuste de potencia para el DPCCH. En el caso de transmisión con código múltiple, diferentes códigos de dispersión ortogonales se asignan a cada DPDCH, con el fin de mantener la ortogonalidad y pueden ser transmitidos en cualquiera de las trayectorias I/Q. En este caso, la BTS y la MS deben acordar el número de códigos de canalización a ser usados.

Posteriormente se combina la señal compleja junto con el código de combinación complejo específico de cada usuario, el cuál es un código de oro complejo. El código de oro de la trayectoria Q, es una versión con corrimiento del código de oro de la trayectoria I, donde se recomienda un corrimiento de 1024 chips. Posteriormente, mediante una combinación con valoración compleja, se balancea la potencia en las trayectorias I/Q, con lo cuál la potencia en las trayectorias I y Q resulta ser el mismo, sin importar la potencia del DPDCH y del DPCCH. Esto se comprueba al considerar a  $C_S^I$  y a  $C_S^Q$  como los códigos de dispersión de las trayectorias I/Q. La información dispersa se denota por:

$$d(t) = C_D \cdot b_{DPDCH} + jG \cdot C_C \cdot b_{DPCCH}$$

Donde  $b_{DPDCH}$  y  $b_{DPCCH}$  representan los mensajes del DPDCH y DPCCH respectivamente. Asumiendo que la potencia en las trayectorias I y Q no está balanceada, debido a sus tasas de bit diferentes o a sus requerimientos de QoS distintos en el DPDCH y DPCCH, si se utiliza combinación con valoración compleja, la salida resulta:

$$s(t) = (C_D \cdot b_{DPDCH} + jG \cdot C_C \cdot b_{DPCCH}) \cdot (C_S^I + jC_S^Q)$$

$$s(t) = (C_S^I \cdot C_D \cdot b_{DPDCH} - G \cdot C_S^Q \cdot C_C \cdot b_{DPCCH} + j(C_S^Q \cdot C_D \cdot b_{DPDCH} + G \cdot C_S^I \cdot C_C \cdot b_{DPCCH}))$$

El proceso de dispersión utilizando códigos ortogonales y códigos de combinación con valoración compleja, se conoce como modulación "QPSK Complejo Ortogonal" (OCQPSK) ó "PSK Híbrido" (HPSK). Los filtros utilizados tienen un factor de roll-off de 0.22

Debido a la naturaleza asíncrona de las transmisiones en el uplink, cada usuario puede utilizar el mismo grupo de códigos de canalización.

En UTRA, en lugar usar códigos de combinación (de oro, largos) con una longitud de  $(2^{41}-1)$  chips, se utilizan códigos de combinación cortos como el código extendido muy largo - Kasami con una longitud de 256 chips.

### 2.5.2.5.2 Dispersión y Modulación en el Enlace de Bajada

Los bursts DPDCH y DPCCH multiplexados en el tiempo, primero se modulan con QPSK para formar las trayectorias I/Q, antes de hacer la dispersión a la tasa de chips definida, mediante el uso del código de canalización  $C_{ch}$ . Se asignan distintos códigos de canalización para diferentes usuarios, a manera de mantener la ortogonalidad. La BTS se encarga de informar a los usuarios el código de canalización correspondiente asignado.

En ambos modos, TDD y FDD, el diagrama de bloques del transmisor para el *downlink* es el correspondiente a la figura 2.29.

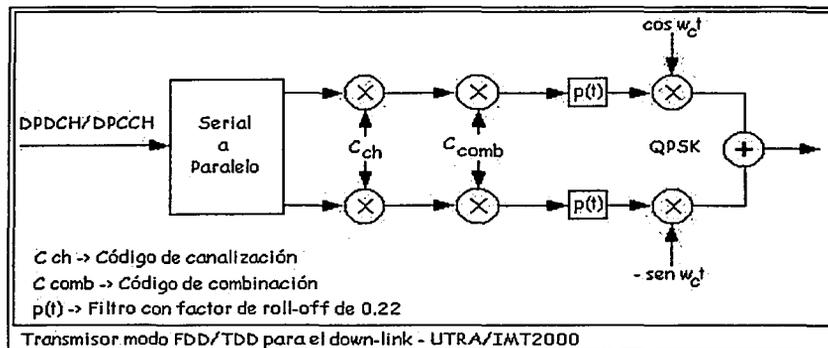


Figura 2.29. Transmisor en modo FDD/TDD para el *downlink*

La señal resultante se mezcla con el código de combinación  $C_{comb}$  específico de la celda, es cuál es complejo en el caso de IMT2000 (QPSK) y real en el caso de UTRA (BPSK). Para escoger código de combinación se consideran 32 grupos, de los cuales se toma 1, el cuál contiene 16 códigos distintos, por lo que se tiene un total 512 códigos de combinación distintos. La clasificación de los códigos en grupos tiene como fin, facilitar la rápida identificación de las celdas. Los filtros utilizados tienen un factor de roll-off de 0.22

### 2.5.2.6 Acceso Aleatorio

Si la transmisión de datos la inicia una MS, se requiere que ésta envíe una petición de acceso aleatorio a la BTS. Dado que dichas peticiones pueden ocurrir en cualquier tiempo, pueden darse colisiones, cuando 2 ó más MSs solicitan tener acceso a la red simultáneamente. A fin de reducir la probabilidad de colisiones, el procedimiento de acceso aleatorio en UTRA está basado en la técnica ALOHA, que es un procedimiento de multiplexaje estadístico.

Se envían peticiones de acceso aleatorio a la BTS mediante el RACH. UTRA e IMT2000 tienen diferentes estructuras de burst para el RACH. En el primer caso la estructura correspondiente es la de la figura 2.30 (a y b), en tanto que en el segundo caso corresponde a la figura 2.32.

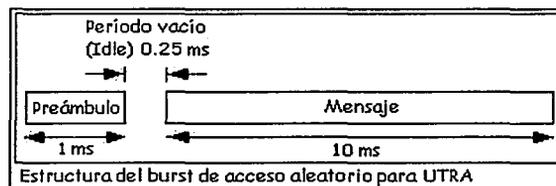
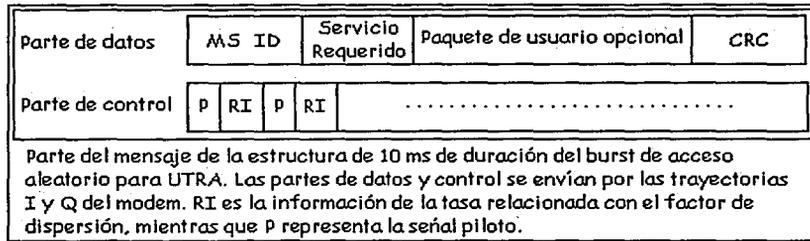


Figura 2.30.a. Estructura General de una trama de acceso aleatorio para UTRA

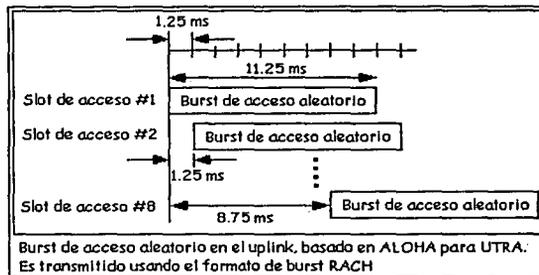


**Figura 2.30.b.** Estructura particular del mensaje de una trama de Acceso aleatorio para UTRA.

### 2.5.2.7 Canal RACH

#### 2.5.2.7.1 Canal RACH en UTRA

El RACH se transmite según la periodicidad mostrada en la figura 2.31



**Figura 2.31.** Burst de Acceso Aleatorio para el uplink, basado en ALOHA, para UTRA.

La duración de un burst de acceso aleatorio es de 11.25 ms. Consta de "preámbulo" y de "mensaje"; entre estos dos existe un "período vacío" (idle) de 0.25 ms. El propósito del período vacío, es que se permita a la BTS detectar el preámbulo y luego prepararse para la recepción del mensaje. El preámbulo lleva una firma, que es un código de oro ortogonal complejo de longitud 16, con una dispersión utilizando el código de oro ortogonal de 256 chips, específico de la celda. La estructura de la parte del mensaje, consta de una parte de "información de datos" y otra de "información de control". Ambas se transmiten en paralelo, mediante las trayectorias I y Q del modem. La parte de control contiene los "símbolos piloto" (P) y la "información de la tasa" (RI), que contiene información acerca del factor de dispersión usada por la parte de datos. Por esto, la parte de control debe ser detectada primero. La parte de control tiene una tasa de bit fija y un factor de dispersión de 256. La parte de datos puede tener un factor de dispersión entre 32 y 256. La parte de datos consta de un "Identificador Aleatorio de la MS" (MS-ID), de un campo de "Servicio Requerido" y de un campo de "CRC" para detección de errores. El campo de Servicio Requerido indica la función del burst de acceso aleatorio. Si los paquetes de información a ser enviados desde la MS son cortos y no frecuentes, entonces estos paquetes pueden transmitirse en el campo "Paquete Opcional del Usuario" perteneciente a la parte de datos. Sin embargo, si estos paquetes son largos y frecuentes, la MS hará una la petición para que se habilite un canal físico dedicado, para la transmisión de dichos paquetes.

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

Cualquiera que sea la opción a utilizar, esta se indica en el campo de Servicio Requerido de la parte de datos.

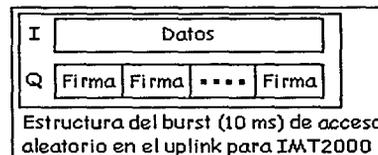
Antes de que cualquier información sea transmitida por parte de la MS, ésta última debe obtener cierta información incluida en el CCPCH Primario (PCCPCH), mediante el BCCH transmitido en el down-link. La información incluye los códigos de dispersión específicos de la celda para el preámbulo y el mensaje, las firmas disponibles, los slots de acceso por los que se puede concursar en el modo ALOHA y los factores de dispersión para el mensaje, el nivel de interferencia medido en la BTS, y el nivel de potencia de transmisión del PCCPCH. Toda esta información está disponible, una vez que se obtiene sincronía.

Existe un espacio de 125 ms al inicio de cada slot de acceso aleatorio. El burst de acceso aleatorio solo puede transmitirse en uno de estos slots de acceso. Después de adquirir toda la información necesaria incluida en el PCCPCH, mediante el BCCH, la MS selecciona aleatoriamente una firma del total de firmas disponibles y comienza a transmitir sus bursts de RACH en el up-link, en el slot de acceso seleccionado aleatoriamente, elegido del grupo de slots de acceso disponibles (8 en total).

Después de la transmisión del burst del RACH, la MS espera el mensaje de reconocimiento de la transmisión, por parte de la BTS, mediante el FACH. Si el MS no recibe el reconocimiento por parte de la BTS después de un cierto tiempo predeterminada, retransmite el RACH mediante el mismo procedimiento.

### 2.5.2.7.2 Canal RACH en IMT2000

Aquí se utiliza una estructura diferente para el burst de acceso aleatorio. La información se envía mediante la trayectoria I, mientras que la firma se transmite repetidamente en la trayectoria Q del modem. El procedimiento para la petición de acceso es igual que el empleado en UTRA.



**Figura 2.32.** Estructura de la Trama de Acceso Aleatorio en el *uplink* para IMT2000.

### 2.5.2.8 Control de Potencia

La optimización del control de potencia es esencial en CDMA para evitar el llamado "problema cerca-lejos". Además, el control de potencia tiene gran repercusión en la cobertura y la capacidad del sistema.

### **2.5.2.8.1 Control de Potencia de Trayectoria Cerrada**

Este se emplea tanto en el up-link como en el down-link (puesto que tanto para el up-link como el down-link se sigue el mismo procedimiento, solo se hará mención del procedimiento para el up-link).

La BTS mide la potencia recibida del DPCCH y además calcula la potencia de la interferencia recibida. Con lo anterior obtiene la razón de señal a interferencia (SIR). Este proceso se realiza cada 0.625 ms, que es la duración del timeslot, durante el cuál el SIR calculado se compara con el SIR objetivo. El valor del SIR objetivo depende de la calidad requerida de la conexión. Según los valores calculado y requerido de SIR, la BTS genera un comando de control de potencia para la transmisión (TPC), que se envía a la MS. Si el SIR calculado es mayor que el SIR objetivo, el comando TPC indica a la MS que disminuya su potencia de transmisión para el DPDCH y el DPCCH en un paso. De lo contrario, la indicación será que incremente su potencia de transmisión en un paso. El tamaño del paso puede variar de celda en celda, desde 0.25 hasta 1.5 dB (En IMT2000 el valor de cada paso se fijó en 1 dB).

En el downlink, la llamada "combinación de diversidad de BTSs", puede utilizarse, cuando 2 ó más BTSs transmiten la misma información la MS para mejorar su recepción. Estas BTSs se llaman "conjunto de BTSs activas de la MS". El control de potencia se realiza en todas estas BTSs de forma independiente. Por ende, la MS recibe diferentes comandos TPC. El algoritmo que sigue la MS es el siguiente; la MS incrementa la potencia de transmisión si todos los TPCs así lo indican, mientras que disminuye la potencia de transmisión habiendo al menos un TPC que así lo indique. Con más de un TPC que indique la disminución de la potencia, la MS así lo realiza, pero considerando el mayor tamaño de paso definido.

### **2.5.2.8.2 Control de Potencia de Trayectoria Abierta**

Este procedimiento de control de potencia se utiliza para ajustar la potencia de transmisión para el burst de acceso aleatorio, dado que no existe una trayectoria cerrada en esta etapa de la petición de acceso realizada por la MS. Antes de transmitir cualquier burst de datos, la MS ya habrá obtenido información acerca del nivel de interferencia medido en la BTS, así como del nivel de señal con que la BTS transmitió el PCCPCH; ambos son enviados a la MS mediante el BCCH. Al mismo tiempo, la MS también mide la potencia del PCCPCH recibido. Por ende, conociendo la potencia de transmisión y la potencia en la recepción del PCCPCH, se pueden calcular las pérdidas en la trayectoria del down-link. Con el conocimiento del nivel de interferencia y de las pérdidas en la trayectoria del down-link, la potencia de transmisión requerida del burst de acceso aleatorio puede ser calculada.

### 2.5.2.9 Identificación de Celdas

La información específica de cada celda y del sistema, se envía mediante el BCCH transmitido por el "PCCPCH" (en UTRA) ó el "Canal de Posición" (en IMT2000), desde la MS a la BTS

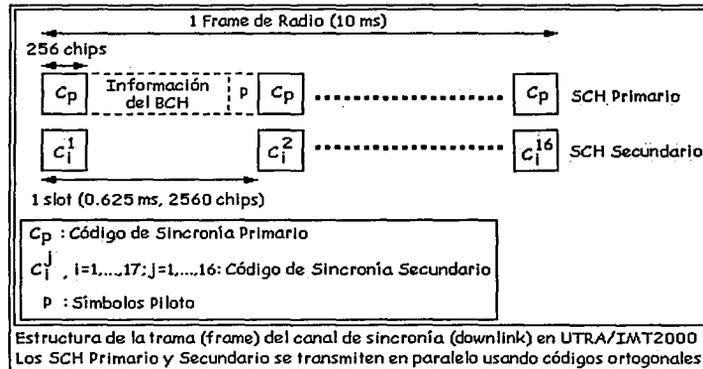


Figura 2.33. Estructura de la trama del canal de sincronía.

Antes de que una MS pueda tener acceso a la red, ésta debe obtener cierta información del sistema y la celda en particular. El PCCPCH se dispersa mediante un código de combinación propia de la celda, con el cual se minimiza la interferencia entre celdas y apoya en la identificación de las celdas. Por ende, el primer paso para la MS es el reconocimiento del código de combinación y conseguir la sincronía con la BTS correspondiente.

Existe un total de 512 códigos de combinación disponibles para la red. Teóricamente, es posible conseguir la identificación del código de combinación al hacer la correlación cruzada del broadcast de la señal del PCCPCH, contra los 512 posibles códigos de combinación. Sin embargo, este proceso resulta ser extremadamente lento, con lo que se retrasaría el acceso de la MS a la red. Además, se debe conseguir sincronía entre la MS y la BTS.

A fin de agilizar el acceso, tanto UTRA como IMT2000, adoptaron un proceso de 3 pasos, que involucra al SCH y al Canal de Posición, respectivamente. El Canal de Posición en IMT2000 realiza las mismas funciones que el SCH en UTRA. El SCH se transmite durante la sincronía de frames, junto con los demás canales físicos. El concepto de lograr el proceso de 3 pasos, consiste en dividir en número total de códigos de combinación (512) en grupos (32), cada uno conteniendo por tanto 16 códigos. Una vez conocido el grupo en particular, la MS busca el código de combinación usado, dentro de un grupo mas reducido.

La estructura de la trama de sincronía consiste de dos subcanales, llamados SCH Primario y Secundario, transmitidos en paralelo usando multiplexaje por códigos ortogonales. El SCH Primario en un código de oro ortogonal, conocido como Código de Sincronía Primario (PSC), con 256 chips de longitud y se transmite periódicamente al inicio de cada slot. El mismo PSC se utiliza en todas las BTSs de la red. Esto permite a la MS obtener sincronía con respecto a los slots y proceder con la fase de sincronía con respecto a los frames, con la ayuda del SCH Secundario. En el SCH Secundario, una secuencia de 16 diferentes códigos de oro ortogonales, cada uno con 256 chips de longitud, se transmiten en el tiempo equivalente a la duración de un radio frame (10 ms). Los 16 códigos transmitidos se escogen de entre 17 de códigos distintos, llamados Códigos de Sincronía Secundarios (SSC), los cuales son ortogonales al PSC.

La secuencia de 16 SSCs se utiliza como un código para identificar y señalar a la MS, a cuál de los 32 grupos de códigos de combinación pertenece el código utilizado por la celda. Específicamente, cuando cada una de las 17 secuencias (cada una formada por 256 chips puede utilizarse para cada una de las 16 posiciones dentro del frame de radio (considerando que pueden repetirse los códigos), se pueden construir:

$$C_{i,j}^{\text{repetidos}} = \binom{i+j-1}{j} = \frac{(i+j-1)!}{j!(i-1)!} = \frac{32!}{16! \cdot 16!} = 601080390$$

combinaciones diferentes, donde  $i=17$  y  $j=16$ . Sin embargo, las secuencias formadas por 16 códigos (cada uno con 256 chips), deben construirse de tal forma que su defasamiento cíclico también sea único. Esto implica que ninguno de los defasamientos cíclicos de las 32 secuencias (formadas por  $16 \times 256 = 4096$  chips) puede ser idéntico a cualquiera de los defasamientos cíclicos de las demás secuencias. Una vez cumplida esta condición, la secuencia que forma al SCH Secundario puede ser reconocida dentro del período de duración de un frame de radio, por lo que ya se tendría la sincronía de slot y de frame de radio, durante la recepción de un frame de radio.

La información del BCH en IMT2000 y los símbolos piloto, aparecen en el canal de posición. En UTRA, estos dos tipos de información se transmiten en el PCCPCH. Usando esta técnica, la identificación y sincronía inicial con la celda se puede lograr en tres pasos básicos.

**Paso 1:** La MS utiliza el PSC de 256 chips, para realizar la correlación cruzada con todos los SCHs Primarios (de la celda y vecindades) recibidos. Se escoge la celda cuya salida del correlador es la más alta, la cuál constituye la mejor celda, con la menor pérdida en la trayectoria. Se deben identificar varios picos como resultado de las correlaciones, a fin de lograr una detección altamente efectiva. La sincronía de slot también se logra al reconocer las 16 secuencias consecutivas del código de Código de Sincronía Primario  $C_p$ , con lo que se obtienen 16 picos periódicos a la salida de la correlación.

**Paso 2:** Con la mejor celda identificada, el grupo del código de combinación de la celda se puede encontrar al hacer la correlación cruzada del SCH Secundario con los 17 SSCs posibles, en cada uno de los 16 timeslots. Esto se logra usando 17 correladores, puesto que ya se tiene sincronía de slots desde el paso 1. De lo anterior, resultan  $(16 \times 17 =)$  272 salidas de los correladores. De estas salidas, un total de  $(32 \times 16 =)$  512 variables de decisión se obtienen, correspondientes a las 32 posibles secuencias y a los 16 corrimientos cíclicos de cada secuencia de  $(16 \times 256 =)$  4096 chips. La variable de decisión mas alta determina el grupo de código de combinación. Con esto se tiene ya sincronía del frame de radio.

**Paso 3:** Con el grupo del código de combinación identificado y la sincronía del frame de radio obtenida, el código de combinación se obtiene en UTRA al realizar la correlación cruzada de la señal recibida del PCCPCH, símbolo por símbolo, contra los 16 posibles códigos de combinación pertenecientes al grupo identificado. El código de combinación se obtiene en IMT2000 al realizar la correlación cruzada de la información del BCH símbolo por símbolo. Una vez obtenido el código de combinación exacto, la información del BCCH, transmitida por el PCCPCH, puede ser detectada.

### 2.5.2.10 Handover

DS-CDMA puede utilizar un factor de reuso de 1, lo que implica que todas las celdas de la red utilizan la misma frecuencia portadora. Sin embargo, es necesario la utilización de mas frecuencias portadoras, a fin de reducir la interferencia producida por el aumento del tráfico, lo que implica un mayor número de BTSs y MSs interferentes.

Handover en la misma Frecuencia (Handover suave).

Este tipo de handover implica que no hay cambio en la sintonía de frecuencia de Tx/Rx. La MS continuamente monitorea los niveles de la señal recibida, transmitida por las celdas vecinas y las compara contra un grupo de umbrales. Esta información se envía de regreso a la red. Con base en esta información, si la señal de una celda se detecta como fuerte o débil, la red indicará a la MS si debe agregar ó eliminar a una celda de su listado activo de BTSs. A fin de asegurar un handover imperceptible para el usuario, un nuevo enlace se establece antes de abandonar el enlace antiguo.

Handover entre Frecuencias (Handover duro)

Para realizar este tipo de handover se busca evitar el daño al flujo de información. Una técnica consiste en comprimir en el tiempo la información del downlink, que normalmente ocuparía un radio frame de 10 ms, de tal forma que se ocupe solamente una parte de frame de radio, dejando de transmitir información en la parte restante. La sección del frame de radio se conoce como "período vacío u ocioso" y tiene una duración variable. Este período ocioso puede estar al principio, en medio, o al final del frame de radio. La compresión de la información se logra mediante la eliminación de algunos bits de paridad codificados, o bien, ajustando la tasa de codificación. A fin de mantener la calidad del enlace, se incrementa la potencia instantánea cuando realiza la compresión del frame de radio. Después de recibir la información, la MS puede usar este período ocioso para sintonizarse a otras frecuencias portadoras y realizar las mediciones de la calidad del enlace necesarias para el handover.

Alternativamente, se puede utilizar un receptor dual a fin de realizar el handover entre frecuencias. Un receptor se sintoniza en la frecuencia portadora para la transmisión de datos, mientras que el otro receptor se utilizaría para realizar las mediciones de la calidad del enlace en las demás frecuencias portadoras. Este método resulta en una mayor complejidad del hardware de la MS.

### 2.5.2.11 Sincronía entre Celdas para el Modo TDD

Cuando se opera en el modo TDD, se requiere de sincronía en el tiempo entre BTSs, a fin de soportar los handovers. Un método simple de lograr esto, es enviar un periódicamente un broadcast del código llamado "faro ó guía" (beacon), desde una fuente a todas las BTSs. El retraso por la propagación se puede calcular fácilmente al conocer la distancia entre la fuente y la BTS. Existen tres opciones para la transmisión de dicho código: mediante un enlace de radio terrestre, mediante una red fija o mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

La sincronía global en el tiempo para los sistemas de radio móvil 3G, se obtiene al dividir la región de cobertura en tres áreas llamadas "sub-área", "área-principal" y "área-de-cobertura", donde la sub-área, que incluye varias BTSs, está incluida en el área-principal junto con otras sub-áreas y así sucesivamente. La sincronía entre celdas del sub-área se consigue mediante una BTS guía, y dado que es la más pequeña de las áreas definidas, se puede transmitir el código guía mediante un enlace de radio terrestre, o bien mediante una red fija.

Todas las BTSs guía pertenecientes a las distintas sub-áreas pertenecientes a un área-principal, se sincronizan mediante una BTS guía de esta área principal, usando el mismo método de transmisión del código guía. Finalmente, todas las BTSs guías de las distintas áreas principales, se sincronizan mediante el sistema GPS. La principal ventaja de dividir las regiones de cobertura en zonas pequeñas, consiste en que cada área de jerarquía menor puede continuar operando por sí misma, aún cuando se pierda el enlace de sincronía con las áreas de mayor jerarquía.

### 2.5.3 CDMA2000

Uno de los problemas que mayor tiempo ocupó a la TIA en Estados Unidos lo representó el traslape de frecuencias por asignarse a sistemas de comunicación móviles de tercera generación, identificadas en la WARC'92, en los cuales se ubica actualmente los Servicios de Comunicación Personal (PCS), esto en las bandas de 1885 a 2025 MHz y de 2110 a 2200 MHz.

Por consiguiente, el trabajo de cdma2000 se diseñó de tal manera que pudiera ser subterido sobre una red CDMA de segunda generación, y que además fuese compatible con la norma IS - 95 que define dicha tecnología.

El sistema cdma2000 tiene una tasa básica de *chips* de de 3.6864 Mcps, en un ancho de banda de 3.75 MHz; esto representa tres veces la tasa de *chips* de CDMA IS - 95, de 1.2288 Mcps, lo cual se refleja en el ancho de banda. El hecho importante es que las redes CDMA actuales pueden ser usadas para la operación de cdma2000.

Para tasas superiores de *chips*, del orden de  $N \times 1.2288$  Mcps, para  $N = 6,9,12$ , varían la tasa de codificación del canal y la tasa de bits del canal. En este caso se emplean dos técnicas de modulación diferentes:

#### 2.5.3.1 Similitudes y Diferencias con CDMA de Banda Ancha.

**En el modo de modulación por dispersión directa**, DSM, los símbolos se dispersan de acuerdo con la tasa de *chips* y se transmite una sola portadora por lo cual se genera un ancho de banda de  $N \times 1.25$  MHz, esta forma de modulación es empleada tanto en el enlace de subida como en el de bajada.

**En el modo de modulación por multiportadora**, MCM, los símbolos se demultiplexan y transmiten en señales separadas, cada una de 1.25 MHz; esta forma de modulación es empleada únicamente en el enlace de bajada. Bajo este esquema se puede tener diversidad al transmitir las distintas portadoras por antenas separadas espacialmente. Además, empleando múltiples portadoras, cdma2000 es una tecnología apta para convivir con los canales existentes de IS - 95, conservando la ortogonalidad con éstos.

De forma similar a W-CDMA, cdma2000 también soporta la operación TDD en frecuencias no apareadas; de hecho con el objetivo de facilitar la instalación de terminales modo dual FDD/TDD, la mayor parte de las técnicas usadas para FDD son aplicables también para TDD, diferenciándose en la estructura de la trama y en un tiempo de guardia adicional requerido en la operación en modo TDD.

Para el canal piloto, en contraste con W-CDMA, cdma2000 emplea un canal piloto continuo multiplexado a través de un código común, como lo hace IS - 95; por lo tanto no se genera un encabezado adicional. Sólo en el caso de emplear antenas adaptivas, se requiere enviar una portadora por cada antena.

Otra diferencia con W-CDMA es que las radiobases necesitan estar sincronizadas en cdma2000, por lo cual se puede emplear el mismo código PN con diferente corrimiento de fase para distinguir a las estaciones base, lo cual facilita la adquisición del canal a las terminales móviles que pueden usar este canal común en el enlace de bajada para realizar una estimación del canal por detección coherente, handover suave y adquisición rápida de multitrayectorias de nivel alto.

Respecto al manejo de la calidad de servicio, cdma2000 asigna un canal físico diferente para cada servicio, manejados por un FCH y uno o varios SCH<sup>9</sup> multiplexados por códigos Walsh, a diferencia de W-CDMA en el que todos los diferentes servicios son multiplexados en uno o más canales físicos.

Las características básicas de cdma2000 son las de la tabla 2.34.

Tecnología de Acceso por Radio	DS-SS-SSS, CDMA Multiportadora
Entornos de Operación	De Interior/Exterior a Interior/Vehicular
Tasa de chips (Mcps)	1.2288/3.6864/7.3728/11.0592/14.7456
Ancho de banda del canal (MHz)	1.25/3.75/7.5/11.25/15
Modos Dúplex	FDD y TDD
Longitud de la Trama	5 a 20 ms
Factor de Dispersión	Variable, de 4 a 256
Esquema de Detección	Coherente con canal piloto común
Operación entre celdas	FDD: Síncrona TDD: Síncrona
Control de Potencia	Círculo abierto y cerrado
Handover	Handover suave (misma frecuencia) Handover entre frecuencias

**Tabla 2.34.** Parámetros Clave de cdma2000

### 2.5.3.2 Estructura de los canales de transporte y los canales físicos

La duración típica de la trama para todos los canales físicos es de 20 ms, aunque el Canal Fundamental, FCH que lleva el control de la información, así como el canal de control dedicado (DCCH) pueden también transmitir tramas cada 5 ms.

El canal piloto se transmite ortogonal con un canal piloto auxiliar común (CA-PICH) y un canal piloto auxiliar dedicado (DA-PICH) que permiten implantar arreglos de antenas.

A diferencia de CDMA de primera generación, referido a menudo como CDMAone (por ejemplo por el *CDMA Development Group*; CDG), cada terminal móvil también transmite su propio canal piloto (PICH) en el enlace de subida - por lo que la radiobase puede efectuar una detección coherente para detectar multitrayectorias de alto nivel -, y un bit de control de potencia multiplexado cada 1.25 ms, es decir 800 veces por segundo, que asiste el control de potencia en el enlace de bajada. Cada trama de 1.25 ms se conoce como Grupo de Control de Potencia.

<sup>9</sup> Vid infra. Tabla 2.35. Sección 2.5.3.2

## 2. Conceptualización de Tercera Generación

Los datos relevantes de los canales físicos determinados para cdma2000 son los que contiene la tabla 2.35 que presentamos enseguida.

CANALES FÍSICOS	Número de Canales por Conexión	CARACTERÍSTICAS RELEVANTES		
<b>1. DEDICADOS DE DATOS</b>				
		<b>Duración de la Trama</b>		
		<b>5 ms</b>	<b>20 ms</b>	
			RS1	RS2
Fundamental (FCH)	1	9.6 kbps	1.5 a 9.6 kbps	1.8 a 14.4 kbps
Suplementario (SCH)	Muchos	NA	Variable. 1.5 kbps a 2074.6 kbps	
<b>2. DE SINCRONÍA</b>				
SYCH (DL)	1	<b>Tasa de Datos</b>		
		No codificada: 1.2 kbps		Codificada: 4.8 kbps
<b>3. DE VOCEO Y TRANSMISIÓN DE PAQUETES DE DATOS</b>				
		<b>Tasa de Datos</b>		
Canal de Voceo (PCH) (DL)	1	No Codificada: 4.8 ó 9.6 kbps (compatible con IS – 95)		
Canal de Control Común (CCCH) (DL)	1	No codificada: 4.8 ó 9.6 kbps	Adicional: 19.2 ó 38.4 kbps	

**Tabla 2.35.** Características Relevantes de los Canales Físicos para cdma2000.

La codificación provista para los canales FCH y SCH que contienen la información puede ser convolucional o por turbo códigos con tasas  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  ó  $\frac{1}{4}$  en ambos casos; un código convolucional se prefiere para los casos de tasas menores a 14.4 kbps, empleando turbo códigos para tasas de transmisión superiores a esta cota.

### 2.5.3.3 Dispersión y Modulación

El tratamiento de los datos en cdma2000 es muy parecido a CDMA de segunda generación, de hecho la secuencia de combinación (*scrambling*) que se envía con un desplazamiento por cada radiobase puede ser la misma que la empleada en una red CDMA de segunda generación.

En el enlace de bajada, por lo tanto, los datos, contenidos en los canales físicos FCH y SCH se combinan con el código de *scrambling* específico de la terminal móvil (llamado secuencia larga), posteriormente se modulan con QPSK generando dos portadoras ortogonales Q e I, que se canalizan por medio de códigos Walsh cuya longitud depende de la tasa de transmisión, ya que a mayor tasa de transmisión se usan códigos más cortos (para FCH es posible usar un código de 64 chips para tasas RS1 ó 128 chips para tasas RS2; para SCH la longitud del código varía de 4 a 128 chips); llevando a cabo la combinación antes de la modulación se duplica el número de códigos Walsh disponibles al aplicarlos a las portadoras. La salida de estos códigos es combinada con un código de *scrambling* propio de la radiobase (que consiste en un desplazamiento particular de la secuencia de combinación de longitud  $2^{15}$  chips empleada por todas las radiobases, la cual se modula en frecuencia para su transmisión hacia los móviles).

Debido a que la secuencia de *scrambling* larga tiene propósitos de seguridad, los canales físicos comunes no pasan por esta combinación, siguiendo, por lo demás, el mismo proceso. Por ejemplo el PICH (Canal Piloto), es una cadena de 0's que se dispersa por el código Walsh 0.

El control de potencia se añade a cada portadora I, Q antes de dispersar mediante código Walsh, sólo en el canal físico FCH, con una frecuencia de 800 Hz.

Cuando se emplea el esquema MC-CDMA la información se divide a las N portadoras y cada una se pasa por el mismo proceso.

Para el enlace de subida se sigue un proceso inverso, mapeando los canales FCH y SCH (datos) en la portadora Q y los canales PICH y DCCH en la portadora I mediante QPSK. Cada uno es canalizado mediante un código Walsh diferente para que conserven su ortogonalidad siendo éste requisito de la modulación. Las portadoras Q e I son procesadas junto con la secuencia larga desplazada en función del usuario y por la secuencia compleja desplazada en función de la radiobase. Esta es la señal digital que se transmite hacia la radiobase.

#### **2.5.3.4 Acceso Aleatorio**

Un móvil inicia el acceso a la red enviando una "prueba de acceso", que consiste en una señal enviada por el móvil hacia todas las radiobases y se divide en PICH sin bits de control de potencia ni información ninguna y en un canal lógico llamado ACH (*Access Channel*) contenido en el CCCH (*Common Control Channel*) enviado en un intervalo múltiplo de 1.25 ms después del PICH (a este intervalo se le denomina preámbulo de acceso) y con una tasa de 9.6 ó 4.8 kbps que se mantiene constante durante la prueba de acceso.

Como resultado de la prueba de acceso el móvil debe recibir un reconocimiento del mismo por parte de alguna radiobase, o el móvil continúa enviando pruebas de acceso obedeciendo un esquema de seleccionar aleatoriamente alguna ranura de tiempo disponible cada 1.25 ms, incrementando la potencia en el PICH, hasta que ese reconocimiento sea recibido. A un conjunto de pruebas de acceso dirigido a una radiobase se le conoce como sub-intento, mientras que a todo el proceso hasta el registro del móvil se le denomina intento de acceso.

#### **2.5.3.5 Handover**

En cdma2000 las estaciones móviles realizan el proceso de handover. Cuando se trabaja en una sola portadora, se trata siempre de handover suave; cuando  $N > 1$  existiendo más de una portadora, se trata de handover duro o entre frecuencias.

Para llevar a cabo el *handover* el móvil monitorea la potencia del PICH de las radiobases; todas las radiobases recibidas constituyen el "Conjunto Activo" de la terminal móvil. Cada nivel de señal es comparado contra umbrales, estáticos o dinámicos. Con la finalidad de que la potencia total del conjunto activo del móvil permanezca constante y en un nivel suficiente, el móvil añade o retira radiobases de dicho conjunto activo tomando como criterio estos umbrales de potencia de cada PICH. A la vez, el móvil reporta a la red el estado de estos niveles para que la radiobase incremente su potencia, o la decremente, según corresponda.

### 3. Proceso de Implantación en México

#### 3.1 Antecedentes

En los capítulos precedentes hemos hecho referencia detallada tanto de las causas de la evolución de los servicios de comunicaciones inalámbricas como de las tecnologías propuestas y en estudio para ser implantadas a fin de proporcionar estos servicios. En el presente capítulo analizaremos posibles vías de evolución e instalación de estas tecnologías para el caso de México, teniendo en cuenta tanto el estado actual de desarrollo de las mismas como la demanda esperada en un mercado en expansión, para lo cual es necesario hacer referencia a lo que hemos establecido en el capítulo I, en particular en cuanto al análisis y características de la demanda de acceso a datos y servicios de información en México.

Es en el mercado mexicano el crecimiento explosivo de las comunicaciones móviles, principalmente en el rubro de la telefonía celular y los llamados servicios de comunicaciones personales (PCS), en las bandas de 850 MHz (bandas A y B) y de 1900 MHz (en las bandas A hasta la banda F<sup>8</sup>) ha sido de tal magnitud que desde finales del año pasado el número de suscriptores a líneas celulares y de PCS, que ofrecen básicamente servicios con características similares, rebasó al número de suscriptores a líneas fijas de telefonía tradicional, pese a la introducción de operadores para WLL<sup>9</sup>.

Las redes WLL representan una solución de servicios que no ha probado su efectividad como una alternativa tecnológica y de mercado real en escala mundial, a pesar de su factibilidad técnica y las ventajas de su instalación en áreas abiertas o geográficamente complicadas en donde no existen redes alámbricas instaladas. En este sentido, existen soluciones para redes con lazo local inalámbrico, WLL, que la asemejan mucho con los servicios de comunicaciones personales excepto por la disponibilidad del *handover* en las llamadas, característica que se ve limitada cuando se intenta realizar una llamada desde un móvil registrado fuera de su área de facturación; ejemplos de estos sistemas de WLL son PWT, PHS y PACS, basados en sistemas celulares/de comunicación personal implantados en el mundo como DECT, TDMA (IS - 136) y CDMA (IS - 95) respectivamente, aunque también existen desarrollos de WLL derivados de tecnologías punto a punto de microondas, sistemas específicos o agregados basados en satélites o sistemas diseñados exprofeso para esta tecnología, el uso de una u otra tecnología depende del área a cubrir y de su facilidad de interconexión con la RTPC. [10], [11], [12].

En adelante, entenderemos por línea fija tanto a la telefonía alámbrica tradicional como a la telefonía provista por medio de WLL.

De hecho parte del espectro en la frecuencia de 1900 MHz puede contener servicios de WLL. A pesar de estas características, desde 1992 el crecimiento de la telefonía móvil ha estado a la par o, en la mayor parte de los años a partir de entonces, ha sido mayor que el crecimiento de la telefonía fija. Incluso considerando que ambos casos esto no implica una tasa de penetración muy alta en la sociedad (en la actualidad, sólo el 15.71% de la población es suscriptor de servicios de telefonía móvil, en tanto que el 12.77% de la población es suscriptor de servicios de telefonía fija).

---

<sup>8</sup> Vid infra. Capítulo 2. Sección 2.3.1. Tabla 2.12

<sup>9</sup> Vid infra. Capítulo 1. Sección 1.4. Figura 1.2

### 3.- Proceso de Instalación en México

---

Cabe considerar las características socioeconómicas de la población mexicana para entender que esta tasa de penetración es alta y refleja el crecimiento de los servicios de telecomunicaciones, es de suponerse que, a pesar de factores económicos, políticos y sociales que puedan incidir en el mercado de la telefonía (fija y móvil), la tendencia de crecimiento puede esperarse sostenida, principalmente considerando la introducción de nuevos servicios que satisfagan las demandas y la consolidación de otros servicios como mensajes cortos (SMS), correo electrónico, envío de información personalizada o acceso a redes, que contribuyan a la contracción, cada vez más acelerada, de mercados como el de radiolocalización de personas.

Cabe señalar también una diferencia en cuanto al uso de líneas fijas residenciales y líneas móviles: mientras que por lo general una línea fija puede considerarse suficiente para una familia, las líneas móviles tienen un uso más individual, ya que sólo el abonado que paga por el servicio es quien generalmente hace uso de dicha línea telefónica, siendo menos común el empleo de una sola línea por varios miembros de una familia incluso con la reciente introducción de servicios de grupo, ya que cada miembro de dicho grupo tiene una línea asignada aunque la facturación sea especial; en este sentido es acertado denominar servicios de comunicaciones personales a aquellos provistos por una línea inalámbrica móvil

Existen otras diferencias evidentes entre las líneas fijas e inalámbricas móviles, como las características del tráfico cursado en uno y otro caso; entendiéndose por tráfico cursado el período de tiempo en el que un recurso está siendo ocupado, en forma bidireccional aunque asimétrica, en una llamada o conexión (en el caso de acceso a datos a través de las líneas telefónicas), concepto que está ligado a la definición del Erlang. El tráfico en Erlangs representa un valor que significa el número esperado de recursos que podrían ser ocupados sin que haya bloqueo o congestión, considerando valores promedio de dos parámetros: la frecuencia de intentos de llamadas ( $R_\lambda$ ) y el tiempo de sesión en el que la llamada requiere recursos de la red ( $\tau$ ), empleando valores promedio de estos parámetros dada la dificultad implícita en determinar cada valor puntual de tiempo de sesión y número de intentos de llamada para cada usuario, ya que cada uno tiene una correlación de cero o muy cercana a cero con respecto a otro. [13]

$$E = R_\lambda \cdot \tau [Erl]$$

Es decir, el concepto de tráfico en Erlang (Erl en la ecuación anterior) relaciona a la capacidad instalada de una red con la demanda de uso de la misma, siendo posible determinar el desempeño de una red o su *calidad de servicio* en función de las llamadas bloqueadas o no exitosas en proporción de las llamadas generadas o exitosas.

Para satisfacer la demanda de estos suscriptores, no relacionados de manera estadística entre sí en cuanto al uso de la red, es necesario proveer más recursos a una red de comunicaciones respecto al número de Erlangs que tienen que ser satisfechos, considerando que la capacidad máxima que ésta red puede proporcionar es equivalente a 1 Erlang por recurso.

Dada la relación entre el tráfico cursado y los recursos necesarios para lograr la llamada o conexión en la red, la diferencia proviene del hecho de que estos recursos están disponibles en forma permanente para cada abonado en el caso de la telefonía fija, al menos en el caso de la conexión del último kilómetro, siendo el canal físico para la sesión un circuito dedicado que se conmuta para el usuario en cada llamada, a menos que exista congestión por una demanda excesiva y no pueda llevarse a cabo la conmutación mencionada en la central telefónica.

En el caso de la telefonía inalámbrica móvil el canal físico es un determinado ancho de banda en el espectro que se comparte con otros usuarios, por lo que requiere una técnica de acceso para múltiples usuarios concurrentes a estos recursos compartidos, en cuyo caso la diferenciación de cada usuario se logra mediante la definición de distintos canales lógicos (por ejemplo, por medio de código o por fragmentación del espectro de frecuencias disponible o una combinación de éstas).

Por tal motivo, mientras el tráfico en las líneas fijas para telefonía local no es un factor de crecimiento relevante en abonados, lo cual se ve potenciado con la introducción de servicios de datos, particularmente de acceso a Internet vía módem a través de las líneas telefónicas, un indicador del crecimiento de las redes celulares y de comunicación móvil es el promedio nacional de tráfico por llamada para una línea móvil, de 440 [Min/mes] en el caso de México, en el periodo comprendido de 1995 al mes de Marzo del año 2001<sup>10</sup> aunque éste ha tenido una fluctuación importante durante los años del periodo mencionado como puede apreciarse en la figura de la gráfica 3.1. En esta gráfica resalta un comportamiento descendente en forma constante respecto al número de minutos al mes por usuario, de 139 [Min/mes/usr] en 1985 a sólo 82 [Min/mes/usr] en el año 2000 y el periodo comprendido para el año 2001 (tráfico normalizado). En estos datos se observa una diferencia inherente a ambos casos en el modo de facturación, ya que mientras los operadores de servicios de telefonía alámbrica y WLL pueden cobrar una renta mensual o anual y cargos fijos por llamada, los operadores de telefonía celular y servicios de comunicación personal facturan rentas mensuales y cargos fijos por minuto, con base en los planes tarifarios registrados ante y aceptados por la COFETEL, o bien cargos por minuto que son pre – pagados.

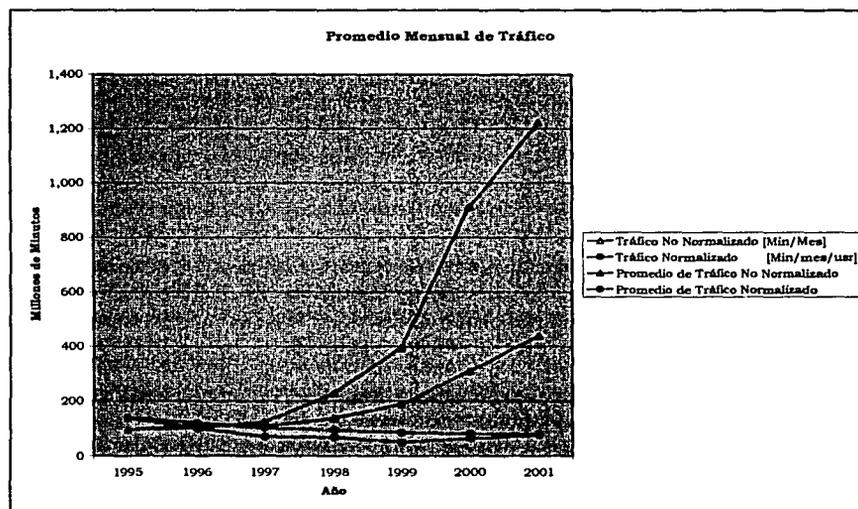


FIGURA 3.1. Gráfica del promedio mensual de tráfico en telefonía móvil.

El tráfico antes presentado, sin embargo, no puede ser considerado uniforme para todo el territorio nacional, debido a las características de distribución de la población, las diferencias

<sup>10</sup> Confrontado con datos de la Comisión Federal de Telecomunicaciones, COFETEL, y el Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, INEGI en el rubro de "Tráfico Normalizado".

### 3 - Proceso de Instalación en México

en las tasas de facturación y la variación en el comportamiento de tráfico dependiendo de la región del país de la cual se trate.

La COFETEL distingue 9 regiones distintas para fines de concesión de permisos de operación para redes públicas de comunicaciones inalámbricas (celulares y de servicios personales, en las bandas de 850 MHz y 1900 MHz, actualmente licitadas) y de tarifas aplicables.

Para el caso de telefonía celular, es decir la banda de 850 MHz, se tiene la siguiente división:

La región 1 comprende Baja California Sur, Baja California Norte y el municipio de San Luis Colorado en el estado de Sonora.

La región 2 en Sinaloa y Sonora (excepto el citado municipio de San Luis Colorado).

La región 3 corresponde a los estados de Chihuahua, Durango y Coahuila, éste último los municipios de Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón y Viesca.

La región 4 los estados de Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila excepto los municipios antes mencionados.

La región 5 los estados de Colima, Michoacán, Nayarit y Jalisco (con excepción de los municipios de Bolaños, Colotlán, Huejuca, Huejuquilla, Encarnación de Díaz, Mezquite, Ojuelos de Jalisco, Santa María de los Ángeles, Tenochtitlán, Villa Guerrero y Villa Hidalgo).

La región 6 comprende los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas y parte de Jalisco (correspondiente a los municipios excluidos de región 5).

La región 7 comprende los estados de Guerrero, Puebla, Veracruz, Oaxaca y Tlaxcala.

La región 8 comprende los estados de Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

Finalmente, la región 9 abarca los estados de Hidalgo, México, Morelos y el Distrito Federal.

Esta división por regiones puede apreciarse en el mapa de la figura 3.2.



**Figura 3.2.** División por Regiones en la banda de 850 MHz de los Estados Unidos Mexicanos

En la banda de 1900 MHz el cambio es en la numeración de las regiones, mas no en los límites territoriales de las mismas. La correspondencia entre regiones es la que se muestra en la tabla 3.3.

1	1
2	2
3	3
4	4
5	6
6	7
7	8
8	5
9	9

**Tabla 3.3.** Correspondencia de Números de Región para los servicios Celular y PCS en los Estados Unidos Mexicanos.

Evidentemente en una misma región existen zonas urbanas de mayor concentración de suscriptores y zonas rurales de área abierta en donde incluso existe la forma de telefonía celular pública, mediante planes de pre – pago y terminales públicas clase I. Este hecho, que impacta directamente en la capacidad demandada hacia la red, también tiene que ver con la densidad de estaciones base en la zona.

Por esta razón el promedio de tráfico en comunicaciones móviles se ve dominado por las zonas urbanas por región, concentrándose en las grandes ciudades.

Con estas bases, podemos distinguir y establecer diversos escenarios presentes en el país, considerando la naturaleza del tráfico, es decir, la concentración de suscriptores y el uso que éstos dan a las terminales móviles, para propósitos del análisis subsecuente, teniendo los escenarios siguientes:

- Zonas Urbanas Densamente Pobladas
- Zonas Urbanas Medianamente Pobladas
- Zonas Abiertas Medianamente Pobladas
- Zonas Abiertas Poco Pobladas (Rurales)

Ya que las redes de comunicación móvil son implantadas con el objetivo de satisfacer la demanda de servicio con la calidad esperada para proporcionar servicios básicos y complementarios (o de valor agregado), la densidad de población es un factor directamente relacionado con el número de sitios de estaciones base en la zona, así como la configuración de radiofrecuencia de los mismos.

### 3.- Proceso de Instalación en México

Aún cuando existen casos particulares que ameritan un análisis especial por cada operador y vendedor, distinguiremos soluciones generales que permitan una visión amplia de los pasos a seguir para el diseño e instalación de la red, por ejemplo, el hecho de requerir una densidad mayor de sitios ante una mayor concentración de tráfico, y la proporción de potencia de transmisión de las estaciones base para una misma frecuencia será mayor a mayor distancia de separación entre las mismas; estas consideraciones las asumiremos como observaciones generales que son aplicables a los diferentes escenarios de acuerdo a la tabla 3.4 mostrada a continuación, siendo necesario sustentar y demostrar, por medio del modelado, tales aseveraciones.

ESCENARIO		Característica de Terminales Móviles		Característica de Estaciones Base	
		Número	Potencia de Transmisión	Número	Potencia de Transmisión
1	Zona Urbana Densamente Poblada	Alto	Alta a Mediana	Alto	Mediana a Baja
2	Zona Urbana Medianamente Poblada	Mediano	Alta a Mediana	Mediano	Alta a Mediana
3	Zona Abierta Medianamente Poblada	Mediano	Alta	Mediano	Alta a Mediana
4	Zona Abierta Poco Poblada	Bajo	Alta	Bajo	Alta

**Tabla 3.4.** Características de los Escenarios Previstos

A partir de estos escenarios, es de considerarse que la tendencia de distribución del tráfico para redes y servicios de tercera generación de comunicaciones móviles se sostenga<sup>11</sup>, existiendo por lo tanto una mayor demanda de tráfico en zonas urbanas densamente pobladas, así como una mayor variedad de servicios en comparación con áreas con menor número de suscriptores potenciales o más abiertas.

Estos son factores que deben tomarse en cuenta en la consideración de los tiempos de instalación de las redes y en el tipo de servicios que éstas provean, existiendo de facto una diferenciación geográfica en el servicio de las redes de comunicaciones y por consiguiente un enfoque hacia diferentes mercados. Si bien esta diferenciación existe en la actualidad, y como ejemplo cabe citar el ya mencionado enfoque hacia la telefonía pública (cobertura de poblados) que tienen las redes celulares implantadas en áreas abiertas (rurales), se va a hacer más notoria ante la introducción de una mayor cantidad de servicios, incluyendo servicios multimedia y de telemetría, así como aplicaciones específicas enfocadas a mercados urbanos o rurales exclusivamente.

En el caso de los servicios, éstos sólo serán garantizados si se dispone del ancho de banda suficiente para proporcionar la tasa de transmisión de paquetes requerida para un servicio determinado; se ha mencionado que la recomendación para tercera generación tiene la meta específica de alcanzar las tasas de transmisión de los canales primarios de las Redes Digitales de Servicios Integrados, es decir 2.048 Mbps, lo cual está en función del servicio entregado a la terminal móvil.

En este respecto podemos mencionar una diferencia significativa entre las tecnologías de acceso digital para comunicaciones móviles de segunda generación y las tecnologías de tercera generación.

<sup>11</sup> *Vid infra.* Capítulo 2. Figura 2.3

Consideremos el ejemplo de la migración hacia un modelo CDMA de segunda generación hacia un modelo basado en CDMA de tercera generación por multi – portadora. En este último caso el reuso de frecuencias no es aplicable ya que cada usuario puede tener un mismo grupo de frecuencias portadoras (en un esquema también llamado "reuso universal") que incrementa su tasa efectiva, *throughput* y permita la transferencia "suave" de llamada, *soft handover*.

Para CDMA de segunda generación se puede establecer la tasa máxima de transmisión efectiva en términos de,

$$\lambda_{SC} = R_e = (1 - P_{OUT})R \text{ [bps / usuario]}$$

Donde  $P_{OUT}$  es un factor de calidad de servicio que representa la probabilidad de falla en el mismo (por ejemplo, una interrupción de servicio ante una degradación en el servicio por encima de 2%) a una tasa máxima de transmisión de  $R$  [bps], teniendo una capacidad de  $C/\kappa$  usuarios por célula, para una distancia de reuso  $\kappa$ .

Por el contrario, en el caso de un esquema CDMA por multiportadora, la tasa efectiva de transmisión corresponde a la suma de las tasas efectivas de cada frecuencia portadora, independientemente de que éstas sean subportadoras ortogonales entre sí o se deriven de un esquema FDM simple. Es decir:

$$\lambda_{MC} = \sum_{i=1}^{\kappa} (1 - P_{OUT_i})R_i \text{ [bps / usuario]}$$

Teniendo en cuenta que todas las tasas de transmisión son iguales, es decir la información a transmitir (por ejemplo multimedia) se divide para su transmisión en forma equitativa entre todas las portadoras como puede suceder en un esquema cdma2000, entonces la tasa de transmisión efectiva es:

$$\lambda_{MC} = K(1 - P_{OUT})R \text{ [bps / usuario]}$$

El número de usuarios no se ve afectado, pero se mejora la tasa efectiva de transmisión haciendo posible ofrecer servicios de banda ancha; cabe señalar, sin embargo, que todos aquellos usuarios cercanos a la estación base serán capaces de utilizar todas las frecuencias asignadas a ellos pero los usuarios más alejados de la estación base usarán solo una parte de estas portadoras: estos usuarios no podrán hacer uso de la tasa de la tasa máxima de transmisión  $\lambda_{MC}$ , logrando conexiones con tasas intermedias entre ésta y  $\lambda_{SC}$ . [14]

El número de usuarios con acceso variable entre tasas efectivas de una sola portadora y de  $K$  portadoras disponibles en el sistema para cada usuario se incrementa en la misma proporción en la que aumenta la demanda de portadoras por sitio y disminuye el área de cobertura del mismo, teniendo como resultado global que menos usuarios alcancen dicha tasa máxima y la consecuente degradación de los servicios. En este caso aplican los términos de *multitasa* y *tasa variable* con el significado de que la tasa promedio de datos (neta o efectiva) de cada usuario es diferente y la tasa de datos de un usuario en particular (y por lo tanto el código de dispersión, VSF) cambia en cada ranura de tiempo o trama recibida, respectivamente. [15]

### 3.- Proceso de Instalación en México

Del ejemplo anterior podemos decir que se requiere un mayor número de recursos ocupados simultáneamente para dar servicios multimedia o "de banda ancha", lo que representa una merma en la capacidad que la red puede ofrecer en ese instante, o de otra forma, se requiere incrementar la capacidad para mantener una tasa máxima garantizada, implicando un crecimiento sostenido de la red en el que tiene que ver el balance capacidad/tasas de transmisión efectivas. En consecuencia, para un ambiente urbano densa o medianamente poblado, la provisión de este tipo de servicios será más crítica, paralelamente y debido a la más amplia diversidad de necesidades, estos escenarios son los que presenten mayor demanda de servicios de banda ancha tales como multimedia.

Estas características naturales de los sistemas en cuanto a las tasas de transmisión, aún en tercera generación, limitan las condiciones en las que pueden proporcionarse los servicios, aunque de hecho se distinguen tasas máximas diferentes para distintos ambientes; si se considera la movilidad, es decir la velocidad de cambio en la posición de la terminal, y la ubicación de los usuarios en una topografía específica, pueden distinguirse 3 ambientes: *Vehicular* o de movilidad alta, *peatonal* o de movilidad moderada y *en interiores* o de movilidad baja. Cada uno de éstos presenta particularidades que deben ser tomadas en cuenta para la propagación de la señal de radiofrecuencia, lo cual explica la necesidad de aplicar diferentes valores a los parámetros de diseño y optimización de una red<sup>12</sup>. Éstas se mencionan en la tabla 3.5 a continuación. [16]

AMBIENTE	MOVILIDAD [Km./h]	TASAS DE TRANSMISIÓN OBJETIVO [Kbps]	ÁREA DE COBERTURA CARACTERÍSTICA PARA 1 SITIO	FACTORES DE DEGRADACIÓN DE LA PROPAGACIÓN
Vehicular	100	144	Macro célula	Desvanecimiento, Multitrayectoria
Peatonal	6	384	Macro célula	Desvanecimiento, Multitrayectoria
En Interiores	3	2048	Micro célula a Píco célula	Penetración, Desvanecimiento, Multitrayectoria

**Tabla 3.5.** Características de los Ambientes Previstos

Por lo tanto, la definición de servicios específicos puede darse a partir de la consideración de un entorno (ciudades con alta densidad de población, ciudades medianas o zonas rurales) y un ambiente (en vehículos, peatonal o en interiores) determinados; aún cuando no únicamente el servicio puede definirse a partir de esta consideración, también las características de la señal transmitida, los pronósticos sobre la capacidad demandada a cada sitio y por lo tanto el número y cercanía de los sitios.

Las tasas de transmisión tienen que ver con la técnica de acceso empleada, siendo indudable que existen tecnologías más robustas que otras debido a la modulación, codificación de canal y acceso múltiple concurrente a los usuarios; como ejemplo de esto es posible en la actualidad proveer tasas de transmisión mejores con CDMA (limitado a 64 kbps compartidos sin considerar las perturbaciones debidas a la propagación [17]) que con TDMA (limitado a 9.6 ó 19.2 kbps compartidos sin tomar en cuenta las perturbaciones causadas por la propagación y considerando el uso de CDPD/CSD [18]) en la adaptación de dichas redes para la transmisión de datos.

<sup>12</sup> Estos parámetros ya se han tomado en cuenta en los capítulos anteriores, como referencia: *Vid infra*. Cap. 2. Sección 2.3.1

Los demás factores enunciados, si bien pueden ser mitigados con la técnica de acceso adecuada, se relacionan más con la frecuencia de radiotransmisión empleada y la relación de la interfase aérea que con la técnica de acceso, por lo cual la frecuencia de operación de los sistemas de tercera generación es un aspecto clave, particularmente en parámetros tales como el área de cobertura de un sitio, y los efectos de degradación sobre la propagación.

### **3.2 Etapas de la Instalación**

Para tener en cuenta el proceso de instalación de una red, el primer punto que hemos considerado es el objetivo a cubrir con tal proceso.

Este objetivo lo planteamos como la instalación de la infraestructura más redituable desde el punto de vista de un operador, para tener cobertura y capacidad de atención a la demanda actual y a mediano plazo del servicio adecuadas en un área objetivo donde se distribuye el mercado de abonados a servicios de voz y de datos de tercera generación.

Por infraestructura nos referimos tanto a los recursos de asignación de espectro de frecuencias como a los elementos físicos de la red inalámbrica tales como equipamiento dimensionado en forma suficiente para la provisión de los servicios, es decir, centrales (MSC), controladores de estaciones base (BSC) y las propias estaciones base (BTS) de acuerdo con la arquitectura de una red de tercera generación de forma semejante a las redes de segunda generación basadas en tecnologías GSM o CDMA.

Para implantar una red de tercera generación es factible partir de dos supuestos:

1. El operador de servicios 3G no cuenta con infraestructura de red operando actualmente por lo cual tiene incluso que adquirir una licencia en el espectro, determinar y encontrar cada sitio para alojar la cantidad suficiente de los equipos e instalar cada uno de los elementos, o bien,
2. El operador que proporcionará los servicios 3G cuenta ya con infraestructura celular o de comunicaciones personales operando en por lo menos el mercado objetivo a cubrir, con lo cual los servicios básicos como voz e incluso datos a baja velocidad tales como SMS pueden seguirse proporcionando con la misma infraestructura y hacia las mismas terminales. Puede suponerse que adicionalmente se tengan terminales exclusivas de tercera generación con capacidades de voz (telefonía y servicios de valor agregado ya existentes en el mercado) y datos de alta demanda de tasas de transmisión (servicios de tercera generación); estas terminales bien pueden ser de mayor tamaño que un teléfono digital de segunda generación, pero más livianas que una computadora portátil, con las mismas funcionalidades de comunicación de ésta.

En este punto podemos decir que, si bien es cierto que una red de tercera generación a ser implantada puede proveer servicios de esta naturaleza, es decir basados en voz, para diseñar un esquema de alta capacidad de atención al tráfico demandado resulta preferible no degradar la transferencia de datos que requieren altas tasas de transmisión como acceso remoto a redes incluyendo navegación por páginas de Internet y transferencia de archivos, multimedia o servicios adecuados a necesidades específicas como telemetría entre otros, con lo que una red de segunda generación puede permanecer operativa proporcionando servicios de voz cuyo desborde sea captado por la red de tercera generación, en tanto que esta última esté enfocada a la provisión de servicios de datos como los que ya hemos mencionado.

El esquema de funcionamiento propuesto en el párrafo anterior queda claro en la figura 3.6 mostrada enseguida. Debemos mencionar que se ha considerado el supuesto en el cual existe ya una red de segunda generación de PCS o celular. De lo contrario todo el tráfico, tanto de voz como de datos a cualquier tasa de transmisión, deberá ser cursado por la red de comunicaciones móviles de tercera generación.

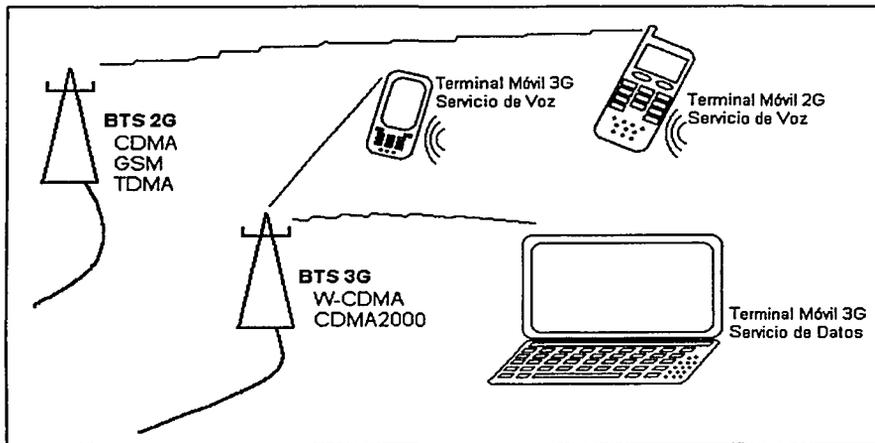


Figura 3.6. Distribución del Tráfico por Servicios entre Redes Superpuestas de Segunda y Tercera Generación

Suponiendo la disponibilidad de terminales de usuario multiservicios concurrentes, en la que simultáneamente se requieran recursos para una llamada telefónica y para acceso a una red remota con transferencia de datos asimétrica, por ejemplo, el manejo más apropiado del control de dicha terminal deberá ser permitiendo que la totalidad del tráfico sea cursado a través de la red de tercera generación de tal forma que se disponga de un solo canal piloto en el enlace de subida por medio del cual se administren todas las conexiones generadas. Esto economiza señales de control a otras estaciones base incluyendo aquellas de segunda generación cuyos recursos quedan libres para otras terminales, o bien no ocupa ranuras de tiempo cuando se trabaja en el modo TDD.

Las etapas en las que proponemos la instalación de la red de tercera generación, teniendo en cuenta lo anterior, son las siguientes:

1. Definición de Infraestructura

Como hemos citado, por *infraestructura* nos referimos tanto a la frecuencia de operación y su alojamiento en el espectro radioeléctrico como al equipo a emplear en sí.

En cuanto al espectro de frecuencias, hemos establecido que la provisión de servicios de comunicaciones personales inalámbricas, incluyendo celular, de segunda generación (PCS) y los servicios futuros de tercera generación pueden ubicarse básicamente en tres frecuencias distintas conocidas genéricamente como 850 MHz, 1900 MHz y 2100 MHz en un espectro y ancho de banda aún por determinar; en las dos primeras existen actualmente redes desarrolladas y operando, como ya hemos establecido con anterioridad, las cuales constituyen todo el tráfico al que ya hemos hecho referencia y de cuyo análisis partimos para sugerir la posibilidad de instalar una red de tercera generación para la oferta de servicios de datos.

La introducción de los servicios puede llevarse a cabo en una o varias bandas de tal forma que las terminales móviles de usuario debieran tener la capacidad de rastrear los canales de control en diversas frecuencias, basados en un esquema de memoria respecto a los últimos canales empleados para un servicio específico, por ejemplo, realizar una llamada telefónica o acceder a Internet.

De este modo pueden presentarse en el mercado terminales multiservicios multibanda cuando se tiene desarrollo de redes en diversas frecuencias de operación, de tal forma que esta terminal pueda acceder a cada una de éstas de manera independiente para cada requisición de servicio.

Una descripción más detallada de éste espectro de frecuencias, constituye una reproducción de los párrafos mencionados en el capítulo 2, baste decir, por lo tanto, que existe en cada región del país un total de 2 operadores en las bandas de 850 MHz (bandas A y B, con sus correspondientes bandas de extensión: A', A'' y B') licitado a cada uno un ancho de banda de 25 MHz totales en las direcciones de subida y de bajada con una separación de 45 MHz entre dichas direcciones de cada banda.

De igual manera, en los rangos de frecuencias de 1900 MHz existen 6 bandas, nominalmente frecuencias A, B, C, D, E y F, incluyendo una banda de frecuencia no apareada, las cuales tienen anchos de banda diversos: las bandas licitadas A y B están constituidas por 30 MHz totales, no son contiguas. Las bandas C, D, E y F constan de 10 MHz en total, es decir 5 MHz en cada dirección.

La COFETEL ha identificado diversos escenarios de alojamiento de espectro para la provisión de servicios de tercera generación, tanto aquellos ubicados en las bandas que actualmente alojan servicios de telefonía celular y de comunicaciones personales como también bandas de frecuencia nuevas con un ancho de banda mayor para licitarse en un futuro [19].

En consecuencia se han propuesto diversas opciones de alojamiento del espectro; evidentemente la opción más económica para un operador consiste en evolucionar, de forma transparente o con pocos ajustes, de la tecnología digital de segunda generación instalada y operando, hacia una tecnología de radiotransmisión de tercera generación cuya frecuencia de operación se encuentre en el espectro de frecuencias que dicho operador tiene licitado, por ejemplo 850 MHz (típicamente la banda de frecuencia para telefonía celular) o 1900 MHz (en el caso de las bandas antes mencionadas, en las que se proporcionan servicios de los llamados de comunicaciones personales), debido a que un costo muy importante es la licencia para operación en el espectro. Un aspecto independiente de los operadores es la disponibilidad del equipo de radiocomunicaciones, especialmente en lo que se refiere a estaciones base, que operen a la frecuencia citada; sin embargo, considerando la evolución que debe tener la tecnología, no es alejado suponer la disponibilidad de estaciones base de tercera generación que operen en las bandas de frecuencia mencionadas previamente. Sin lugar a dudas esto facilitará ampliamente la opción del modo viajero internacional de forma transparente para el usuario, haciendo uso de una sola terminal que cumpla con los mencionados requisitos de multibanda y multiservicios. Del análisis de las opciones hemos planteado la opción 2 establecida en el documento [19] como la más adecuada ya que no implica cambios en las bandas de PCS y proporciona un total de 180 MHz adicionales para la introducción de servicios móviles de tercera generación.

### 3.- Proceso de Instalación en México

---

Sin tener en cuenta la frecuencia de operación, considerando que el espectro en dicha frecuencia se tiene licitado o se subastara, un operador tiene diversas opciones para implantar servicios de tercera generación con infraestructura propia.

Sin embargo, a partir de las tecnologías de radiotransmisión propuestas y enviadas para su estudio y discusión al Grupo de Trabajo 8 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones en el sector de las Radiocomunicaciones (UIT – R), es un hecho afirmar que la tecnología de acceso dominante para la tercera generación de comunicaciones móviles se basará en división de código, es decir, una radiotecnología evolucionada de CDMA<sup>13</sup> tal como CDMA2000 ó W – CDMA con alguna de las variantes propuestas por los diferentes organismos reguladores regionales como ETSI o ARIB.

#### 2. Diseño de la Red

El diseño inicial de la red está fijado por los parámetros establecidos para definir el número de estaciones base necesarias en la cobertura del área objetivo, con la calidad de servicio preseleccionada en función del tráfico esperado para cada tipo de servicio a proporcionar y las tasas de transmisión requeridas para ello.

De las características de las tecnologías de radiotransmisión que hemos descrito en el capítulo 2, podemos decir que parámetros a considerar en el diseño de la red para la parte de radiofrecuencia son la potencia de transmisión en el enlace de bajada, es decir, la potencia efectivamente radiada (ERP) por cada estación base que tiene que ver con el área de cobertura en el sistema tomando en cuenta los efectos de desvanecimiento, pérdida por propagación en el espacio libre y obstáculos de la señal transmitida a la frecuencia de operación del sistema lo cual da como resultado un valor de la pérdida máxima permisible por trayectoria, PMPT, que define el radio de cobertura de cada sitio en particular para un enlace idealmente balanceado o con la misma potencia recibida tanto por la BTS como por cada móvil que mantenga una conexión con ésta; también debe tomarse en cuenta el número de portadoras que tiene que ver con la capacidad del sistema, el ancho de banda empleado (o disponible para la instalación) y el piso de ruido introducido considerando que cada terminal operando con la misma portadora por frecuencia tiene que ser discriminada y coopera en el incremento de dicho piso de ruido, independientemente del modo de operación TDD o FDD, que tiene que ver con la calidad de la red.

El diseño de red debe ser planeado de tal modo que, en caso de existir una red de segunda generación, puedan aprovecharse los sitios físicos que alojan el equipo, principalmente en lo referente a estaciones base, para colocar de forma superpuesta el equipo para la red a ser implantada. Esto implica la posibilidad de compartir tanto el contenedor o sala en la que se tiene el equipo, como la torre o estructura que soporta el sistema radiante, es decir, las antenas de recepción y/o transmisión, las líneas de transmisión que son por lo general cable coaxial debido a la relación entre costo y desempeño (a la frecuencia de operación de los servicios de comunicación personal y celular), los tableros de tierra del equipo e incluso los amplificadores de bajo ruido colocados para eliminar las pérdidas por elementos de recepción teniendo en cuenta que debido a que el móvil transmite con menor potencia que la estación base dicha potencia es el factor limitante para lograr que en el enlace las señales recibidas por ambos pares sean de igual potencia teniendo en cuenta la sensibilidad de cada equipo.

---

<sup>13</sup> Denominada por lo tanto CDMAone en algunos sectores de la industria, principalmente orientados al mercado PCS de Norteamérica.

El hecho de emplear el mismo sistema radiante para dos redes superpuestas, como las que aquí presentamos de segunda y tercera generación, ofrece una ventaja en el impacto visual de un sitio instalado, en el peso que deben soportar las estructuras (torres, plataformas y escalerillas guía de líneas de alimentación) y en el número de elementos requeridos para la operación, lo cual puede redundar en disminuir costos de instalación y simplifica los procesos de optimización de la red al tener estándares comunes de cobertura por sitio, aún cuando estrictamente esto sólo se cumple si ambas redes operan en la misma frecuencia.

Si bien colocar las estaciones base de la red de tercera generación compartiendo espacio con sitios operando puede proporcionar una cobertura con una calidad y a una tasa de transmisión específicas, esto no garantiza una instalación óptima para la nueva red, aún cuando el número y la distribución de los sitios permitan dicha condición de operación en el caso de la red de segunda generación. Esto es particularmente cierto para redes superpuestas de tecnologías de radiotransmisión diferentes, como GSM y cdma2000 o W - CDMA, debido a que los criterios de diseño y selección de sitios cambian en cada caso, además, cada red debe considerarse independiente en cuanto al tráfico cursado en ella y por lo mismo la demanda esperada de usuarios determina la densidad de sitios, como hemos mencionado antes.

Por ello es preciso tener en cuenta los posibles huecos de cobertura o zonas de sombra para la red de tercera generación, en la cual se requieren sitios nuevos aún cuando no exista un proyecto de crecimiento inmediato e instalación para la red de segunda generación. Con ello, la cobertura en el diseño debe considerar estos sitios nuevos que bien pueden ser exclusivos de la nueva red.

Para sitios exclusivos de tercera generación y debido a que la tecnología de radiotransmisión está basada en división de código, la localización puntual de un sitio no exige tanto rigor como en el caso de una red GSM o incluso TDMA en la cual el reuso de recursos obliga a un acomodo dentro de una retícula imaginaria para hacer más eficiente la planeación de frecuencias, minimizando las interferencias producidas por ese reuso. Si bien para TDMA existen técnicas para solventar problemas de interferencias, como control dinámico de potencia o asignación dinámica de canal evitando las frecuencias más interferidas, sigue existiendo dicha degradación en la calidad.

Una consideración adicional es el uso del mismo espectro de frecuencias para redes de comunicación móvil, en este caso, el impacto de compartir la banda de operación entre dos redes superpuestas implica una disminución en la capacidad de la red operando, como sucede en efecto debido a la introducción de más de un operador en una banda de frecuencias; tal disminución en este caso debe ser suplida ya sea añadiendo una mayor cantidad de portadoras (frecuencias o códigos, sea que se trate de GSM o de CDMA) por sitio, o bien, si esto no es posible debido a que las configuraciones de los equipos de estaciones base tengan de hecho el número máximo de portadoras posibles debido a la demanda actual de la red, aumentando el número de sitios de la red existente.

El aumento en el número de sitios en conjunto con la disminución del espectro de frecuencias disponibles para la red de segunda generación trae como consecuencia un incremento en el riesgo de degradar la calidad de la misma.

### 3.- Proceso de Instalación en México

---

En el caso de GSM o de TDMA como red de segunda generación la distancia de reuso para los canales de control de cada estación base es menor, por lo cual existe una mayor densidad de reusos en una misma área en forma sucesiva conforme la meta de la planeación celular es solventar la capacidad demandada más que la cobertura por sí misma; luego entonces, la interferencia puede aumentar.

En el caso de CDMA como red de segunda generación la densidad de estaciones base también se incrementa en un área, por lo cual el ruido recibido por los móviles en esa área será mayor y el reuso de códigos en la señal piloto de las estaciones base necesariamente aumenta. Por lo tanto, el piso de ruido y la interferencia están presentes de un modo más crítico.

El problema cerca – lejos, si bien es evitado por medio de un estricto control de potencia llevado por medio de la secuencia específica de bits hacia y desde cada móvil tal como en CDMA de segunda generación, se traduce en el *efecto de respiración celular* heredado a las redes de tercera generación dado el acceso múltiple por división de código. Este punto crítico en el diseño consiste, en el enlace de subida, en que muchos de los móviles cuyo servidor sea la misma estación base pueden estar bastante alejados de ésta en comparación con otros, si el número de suscriptores se incrementa, los móviles antes mencionados más alejados (típicamente en el límite del valor PMPT) no serán capaces de incrementar su potencia más allá de un máximo definido por estándar por lo cual la celda mejor servidora estará ahora totalmente interferida para dichos móviles, esto reduce el área de cobertura de un sitio específico de forma dinámica tanto por el ruido generado debido a los sistemas superpuestos con frecuencia compartida pero en particular por el movimiento dinámico de tráfico ubicado en diferentes puntos con relación a la posición de la estación base.

En el enlace de bajada, donde el recurso compartido por todos los móviles es tanto la potencia disponible ERP de la estación base como el conjunto de códigos, el primero puede significar que el efecto de respiración celular aparezca como resultado de ciertas distribuciones de tráfico altamente desbalanceadas.

Estas consideraciones no deben ser despreciadas en el diseño de la red puesto que implican, de facto, un diseño nuevo para la red operando. El efecto antes mencionado quiere decir que la ubicación de los sitios debe ser elegida en puntos muy cercanos a áreas generadoras de alto tráfico [20], lo cual no es una tarea fácil de lograr debido al grado de precisión de las estimaciones de tráfico.

Además, las estimaciones realizadas son válidas para un tipo de servicio en particular (es decir, una tasa de transmisión de datos) para el que se define una relación portadora a interferente C/I objetivo lo que redundará en una capacidad determinada. Debido a esta limitación por interferencia (el elemento I del valor de la relación objetivo) en las redes de tercera generación y asumiendo una distribución de tráfico no uniforme como la que en realidad se presenta, la capacidad lograda puede ser mucho mayor si dicho tráfico está cercano a la estación base debido a que la potencia restante en la amplificación de potencia de los móviles será muy superior al promedio.

Por consiguiente, aunque se mantenga constante la interferencia detectada por la estación base debido al control de potencia, si el móvil está más alejado el límite de capacidad es mucho menor.

Por consiguiente si el tráfico de servicios de tercera generación se mantiene cercano a las estaciones base la capacidad en ambas direcciones del enlace será mayor y a la vez los riesgos del efecto de respiración celular serán menores, mejorando la interferencia entre celdas.

La cobertura de una celda en específico varía en efecto conforme a las demandas de tráfico a lo largo del día. Más aún, con múltiples servicios proporcionados, la hora pico de ocupación es altamente aleatoria debido a que las cargas ocasionadas por servicios diferentes varían de forma independiente en el transcurso de cada día.

Esta característica de las redes de tercera generación implica que el reuso o co-ubicación de sitios operando que alojan estaciones base de segunda generación para estaciones base de tercera generación no es deseable en todos los casos; la metodología a seguir para determinar si un sitio operando debe ser usado o no consiste en la que se describe en los siguientes puntos:

1. Estimar el radio típico de cobertura de cada célula de tercera generación para cada morfología y en cada periodo de tiempo (por ejemplo de 1 año) considerando que éstas ofrecerán una variedad de servicios y que la huella de cobertura es dependiente del tráfico por el mencionado efecto de respiración celular. Esto tiene que ver con llevar a cabo el cálculo del enlace estableciendo algunos márgenes de diseño (pérdidas por penetración, desvanecimiento logonormal, interferencia, figuras de ruido, etc.) ya sea extraídos de métodos analíticos o de mediciones así como la carga o porcentaje de ocupación promedio de la celda. En otras palabras, determinar el valor de la pérdida máxima permisible por trayectoria, PMPT.
2. Comparar el radio típico de una celda de tercera generación con el radio de un sitio de segunda generación, CDMA ó GSM (o incluso TDMA) para establecer un estimado del número de sitios nuevos a implantar.
3. Identificar los sitios que no deben ser reusados, a menudo estos consisten en sitios de cobertura muy amplia operando en áreas de bajo tráfico de la red de segunda generación los cuales pueden causar problemas de interferencia conforme la densidad celular se hace más grande debido a incrementos posteriores en el tráfico cursado. Un sitio de tercera generación con un área de cobertura muy amplia no es recomendable, principalmente en áreas urbanas, debido a que experimenta variaciones en el área de cobertura muy grandes debidas al comportamiento dinámico y la evolución del tráfico y puede ser muy riesgoso para otros sitios por la interferencia causada a estos.

Con estas consideraciones se puede tener una idea muy clara de la cantidad de equipo requerido para la instalación y, en su caso, la nueva definición de la red operando de tal forma que no merme la capacidad de la red. Por consiguiente la etapa de diseño de red está muy relacionada con el dimensionamiento de la infraestructura necesaria en términos de sitios para radiotransmisión requeridos en función de la predicción del tráfico y las tasas de transmisión a ser entregadas. Este diseño nominal para dimensionamiento es un proceso iterativo que debe efectuarse previo a competir por una licencia de operación de espectro para la provisión de servicios móviles de tercera generación ya que permite darse una idea de la inversión requerida y de la planeación celular para las predicciones de mercado en un área objetiva específica.

### 3. Adecuaciones Físicas

Esta etapa involucra la visita, determinar la ubicación óptima de cada nuevo sitio (teniendo como criterio la matriz de distribución de tráfico en la morfología correspondiente) y la colocación física de los sitios nuevos, así como las adaptaciones necesarias a los sitios operando de tal manera que todos estos alojen la totalidad de los equipos determinados como necesarios para la red de tercera generación.

En este sentido pueden considerarse cambios en el equipo de fuerza, la capacidad del enlace de cada sitio con la central (vía fibra óptica o microondas), o la colocación de un nuevo enlace en el caso de contar con una central nueva, lo cual es ampliamente recomendable para mantener la independencia entre las redes de segunda y tercera generación de forma que si en su momento la red de segunda generación es migrada a servicios de 3G, todo el equipo puede apagarse sin afectar el desempeño de la red de tercera generación, y en cambio liberando recursos (enlaces, espacio en contenedores y salas, y más importante aún: permitiendo que todo el ancho de banda antes compartido sea posteriormente empleado únicamente por la red de tercera generación).

En el caso de compartir el sistema radiante que hemos descrito con anterioridad, es necesario considerar cambios paulatinos en antenas, líneas de alimentación y amplificadores de bajo ruido los cuales deben programarse de tal modo que produzca en cada caso el menor impacto sobre el tráfico en la red operando.

Las adecuaciones físicas de sitios que alojan equipo 3G debe lograrse de tal modo que la red de segunda generación no deje de operar ni observe degradación en su servicio. Esto quiere decir que la integración de los nuevos sitios implantados para conservar la capacidad de la red de segunda generación debe ser un proceso anterior a la entrada en operación de la red de tercera generación o, al menos, simultáneo. Esto último, sin embargo, involucra un equipo de trabajo de ingeniería más cuantioso tomando en cuenta la cercana atención al desempeño que debe tenerse en todos los sitios (nuevos y operando) en ambas redes, ante un cambio de tal naturaleza.

### 4. Integración y Puesta en Operación

Por integración entendemos el término de la obra civil de un sitio, incluyendo la instalación de todo el equipo necesario así como la prueba de operación para incluir a la célula como parte de la red, con esto se define su área de cobertura y la relación que guarda con las células vecinas de tal forma que es posible tener un conocimiento preciso de la red en su fase de instalación.

La puesta en operación puede llevarse a cabo considerando que todos los sitios deben estar integrados o bien programando su integración por zonas, por ejemplo con base en la densidad del tráfico, de tal modo que la puesta en operación sea más rápida orientada al mercado de suscriptores, aunque se establezcan simultáneamente fases de desarrollo y crecimiento y de optimización de las áreas operando.

Estas dos alternativas planteadas ofrecen ventajas y desventajas sobre las que debemos abundar. En la tabla 3.7 establecemos algunos factores que hemos considerado sobre estas dos opciones.

Integración por Partes en una misma ciudad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es más flexible a retrasos imprevistos en la adecuación y/o construcción de sitios que alojan las estaciones base.</li> <li>• Permite identificar áreas con mayor demanda de cierto tipo de servicios desde el principio ("distribución real de tráfico") logrando un diseño más dinámico.</li> <li>• Puede comercializarse desde un inicio o desde fases tempranas, reduciendo el tiempo de rédito de la inversión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La calidad de servicio de la red no está garantizada de acuerdo al diseño global, en particular en áreas frontera de la cobertura de una zona integrada en partes. Esto puede traer como consecuencia una calidad de servicio siempre por debajo de cierto nivel esperado</li> </ul>
Integración de la Red hasta su totalidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resulta la misma calidad de servicio del diseño original en el tiempo de su instalación, siendo por lo tanto óptima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere llegar hasta el término de cada etapa para todos o un buen porcentaje de los sitios ya integrados antes de comercializar el servicio.</li> </ul>

**Tabla 3.7.** Alternativas de Integración en la Instalación.

### 5. Optimización de Red

En toda red inalámbrica existen diferencias con respecto al diseño planeado mediante un modelo de propagación y un análisis de las expectativas de tráfico en la misma con respecto a la red operando; con las redes de tercera generación de comunicaciones móviles también se observarán estas diferencias, aún cuando dicha red sea implantada por un operador con experiencia en el mercado mexicano dada la operación en frecuencias de servicios celulares o de comunicaciones personales.

Para solventar estas diferencias se requiere llevar a cabo un análisis de los datos estadísticos arrojados por el monitoreo de la actividad de los usuarios de la red, así como diversos recorridos de campo para detectar posibles áreas con cobertura dispar o con un problema en específico.

En las ciudades grandes y medianas, es impráctico establecer sitios con centros de radiación colocados a una altura muy superior a la morfología de la ciudad con lo cual un sitio podría abarcar un área de cobertura relativamente extensa.

En lugar de esto, se prefieren sitios inmersos en la morfología con áreas más reducidas, ya que están más propensos a obstáculos debidos a construcciones presentes en las ciudades, de tal forma que la densidad actual y futura sea mayor, especialmente en las áreas de más concentración de usuarios para que, en el evento de integrar un nuevo sitio en la red en dicha área, en todo caso se reduzca la potencia de los sitios vecinos manteniendo lo más bajo posible el umbral de ruido del sistema.

Todos los cambios, como el citado anteriormente, que deban efectuarse *a posteriori* a la puesta en operación del sitio deben buscar optimizar el desempeño de la red. Estos cambios pueden enfocarse al área de cobertura de la célula, al balance entre los enlaces de subida y de bajada o bien a la capacidad de la célula o del sistema.

Hemos de referirnos con mayor detalle a la optimización del sistema en el punto 3.5 del presente capítulo.

### 3.3 Análisis de Posibles Escenarios

Los escenarios que a continuación presentamos parten de casos reales actuales presentes en México de tal forma que plantean opciones válidas de instalación para la convivencia de redes de segunda generación y de tercera generación, en los anchos de banda disponibles o futuros para la provisión de dicho servicio.

Esto se debe a que no todo el tráfico actual de segunda generación será el tráfico futuro, en un mediano plazo, de las redes de tercera generación debido a que los usuarios de los servicios actuales no necesariamente requieren nuevos servicios, de hecho, la experiencia obtenida después de la introducción de servicios de transmisión de datos por medio de redes llamadas "de segunda generación y media" como GPRS en Europa ha dejado insatisfechos a los usuarios de las mismas debido a las bajas tasas de transmisión, la consecuencia crítica de la caída de llamadas y los largos tiempos de espera para la conexión teniendo como referencia servicios de datos similares proporcionados mediante redes fijas tales como DSL, RTPC o RDSI o enlaces inalámbricos de microondas dedicados. En consecuencia la aplicación de procesos de optimización y de cambio de tecnología en redes de comunicación móvil de segunda generación sigue representando alternativas de inversión rentables para los operadores de éstas, aún con la futura instalación de redes de tercera generación.

En todo caso el decaimiento de las redes operando actualmente será lento y gradual, conforme la calidad y provisión de los servicios cumplan las demandas del mercado así como se cree una necesidad real de comunicación personal por transmisión de datos.

Las variables a tomar en cuenta para establecer con claridad las posibilidades de instalación son, básicamente:

- Frecuencia de Operación
- Radiotecnología de Transmisión de la red de Tercera Generación
- Radiotecnología de Transmisión de la red de Segunda Generación (en caso de significar una evolución).

Adicionalmente, hemos de considerar la demanda proyectada del servicio para la nueva red, en función de los abonados actuales de redes de segunda generación en México, de los que no son abonados actuales pero pudieran ser usuarios de servicios de tercera generación y de los usuarios potenciales que emplean de forma cotidiana servicios de datos en redes fijas tales como acceso a Internet quienes son suscriptores potenciales de un mercado que les pueda ofrecer los servicios a los que tienen acceso actualmente, con algunas posibles modificaciones como el formato de presentación o incluso en los contenidos de la información par adaptarla a las tasas de transmisión y posibilidades de visualización de las terminales portátiles con la ventaja de obtener movilidad y por lo tanto independencia de la ubicación del suscriptor.

De estas consideraciones tenemos los siguientes escenarios.

#### 3.3.1 Instalación con CDMA en la banda de 850 MHz.

##### 3.3.1.1 Descripción del Modelo

Los operadores actuales cuentan con tecnología híbrida CDMA/AMPS en la banda de 850 MHz típicamente licitada para telefonía celular; debido a la tecnología de acceso múltiple digital por división de código es posible la provisión de servicios de datos como transferencia de archivos o SMS.

El ancho de banda total en cada banda licitadas para telefonía celular A y B es de 12.5 MHz considerando las bandas de extensión respectivas A', A'' y B'. Esto permite introducir servicios de tercera generación con un espectro compartido entre los servicios actuales y los futuros.

La consideración que haremos al respecto es la digitalización total de la red CDMA 850 MHz, con lo cual se simplifica el modelo de redes superpuestas a CDMA/W-CDMA o bien CDMA/cdma2000, en referencia al análisis de capacidad, ubicación de las BTS y en referencia al tipo de terminales móviles. Esto es una consideración práctica en virtud de la tendencia de digitalización observada en los operadores en escala mundial, del decremento constante de suscriptores de tecnología analógica AMPS<sup>14</sup> y de los tiempos de introducción de tecnologías de tercera generación en México.

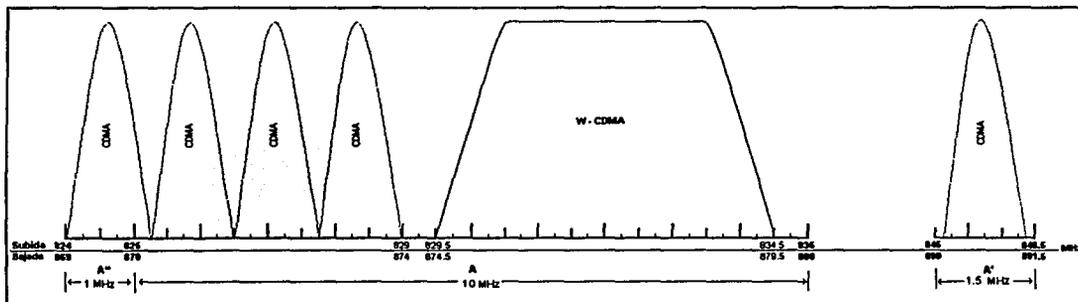
En la banda A de 850 MHz puede presentarse la posibilidad de división de espectro con CDMA de acuerdo al planteamiento de la tabla 3.8 y la figura 3.9 para una red W-CDMA superpuesta o el presentado en la tabla 3.10 y la figura 3.11 para una red cdma2000 superpuesta.

A	A''	CDMA	1*	1*
	A	CDMA	3*	4*
		W-CDMA	1	5
		-	-	1
	A'	CDMA	1	1.25
		-	-	0.25

**Tabla 3.8.** Distribución de Portadoras en redes W-CDMA / CDMA en la banda A de 850 [MHz].

Respecto a la tabla anterior cabe hacer las siguientes observaciones:

- La portadora mencionada en la banda A'' ocuparía 0.25 [MHz] de la banda A (\*), por lo que la primer portadora en A se centraría en 825.875 [MHz] para el enlace de subida.
- El ancho de banda "desperdiciado" o como banda de guarda (-) corresponde a 1 [MHz] en la banda A y a 0.25 MHz en la banda A'.



**Figura 3.9.** Alojamiento de Espectro Compartido W-CDMA / CDMA en la banda A de 850 [MHz].

<sup>14</sup> Vid Supra. Capítulo 2. Sección 2.2. Cuadro 2.4.

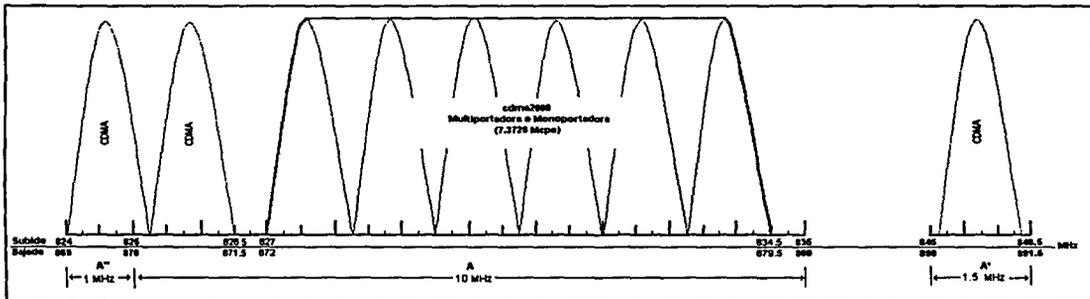
**3.- Proceso de Instalación en México**

Con base en el tráfico cursado en CDMA se debe calcular el impacto causado por disminuir la capacidad a la brindada mediante sólo 4 portadoras CDMA en el caso de W – CDMA como red de tercera generación.

A	A''	CDMA	1*	1*
	A	CDMA	1*	1.5*
		Cdma2000	6 (1)	7.5
		-	-	1
	A'	CDMA	1	1.25
		-	-	0.25

**Tabla 3.10.** Distribución de Portadoras en redes cdma2000 / CDMA en la banda A de 850 [MHz].

En la tabla 3.10 anterior son aplicables las mismas observaciones que para el caso de W – CDMA en el caso de la portadora de CDMA que ocupa la banda A'' y una porción igual a 0.25 MHz de la banda A así como del ancho de banda ocupado por éstas portadoras. De igual modo, el espaciamiento entre portadoras y las bandas de guarda especificadas con (-).



**Figura 3.11.** Alojamiento de Espectro Compartido cdma2000 / CDMA en la Banda A de 850 [MHz].

En el caso de cdma2000 como radiotecnología de tercera generación, al igual que para W – CDMA, también es preciso calcular el impacto en la capacidad debido a la posible disminución de portadoras a un máximo de 3 portadoras CDMA de acuerdo al alojamiento descrito en la figura 3.11 considerando una situación en la cual la capacidad demandada requiera, en uno o más sectores, un número mayor de portadoras que las que se tienen con el espectro compartido en las redes superpuestas.

Este tráfico excedente debe repartirse entre las demás portadoras y, de ser necesario agregar más BTS de tal forma que la capacidad total demandada a la red de segunda generación en cualquier localización al menos se mantenga con relación a la que se ofrece anterior a la red superpuesta.

Esta última consideración conduce a dos casos posibles:

1. El tráfico cursado en la red CDMA,  $T_{CC}$ , no supera la capacidad de la red CDMA,  $C_{RC}$ , tras la instalación de la red de tercera generación. Debido a esto no se requiere una inversión adicional en la red CDMA ( $\$I_{AC} = 0$ ).
2. El tráfico cursado en la red CDMA,  $T_{CC}$ , supera la capacidad de la red CDMA,  $C_{RC}$ , tras la instalación de la red de tercera generación con lo cual es necesario agregar al menos  $N_{SC}$  nuevos sectores para CDMA, requiriendo una inversión adicional para mantener la capacidad inicial de la red ( $\$I_{AC} \gg 0$ ).

Dado que cada sector tiene una capacidad actual de 31 [Erl] para 40 códigos (máxima de 55 [Erl] con 61 códigos – canales lógicos – según los canales de voice aún cuando esta utilización máxima no se ha logrado), el valor de  $N_{SC}$  está dado por la expresión:

$$N_{SC} = \frac{T_{CC} - C_{RC} \text{ [Erl]}}{31.00 \text{ [Erl]}}$$

En virtud de que, en práctica, el tráfico sigue una distribución no uniforme en el área objetivo de la red, los sectores deben de hecho instalarse según la distribución real de tráfico de acuerdo a las estadísticas de ocupación de cada sector. Esto también implica que el número  $N_{SC}$  deberá incrementarse para cada sector según sea su ocupación.

Por lo tanto en la red de segunda generación habrá tanto sectores para los cuales la capacidad restante sea suficiente como sectores cuya capacidad restante demande la instalación de nuevos sectores.

El total de  $N_{SC}$  implica agregar nuevas BTS para la red de CDMA, con valor  $N_{BC}$ .

Del número de nuevos sectores y nuevos sitios definidos con anterioridad se deduce que la antes mencionada inversión adicional para la red CDMA está dada por la ecuación:

$$\$I_{AC} = \$N_{BC} + \$CA_{NBC}$$

Donde  $\$I_{AC}$  es la inversión adicional requerida en la red CDMA de segunda generación,  $\$N_{BC}$  es la inversión derivada de la instalación de sitios CDMA para suministrar la capacidad requerida mediante nuevas estaciones base y  $\$CA_{NBC}$  es la inversión debida a la contratación y adecuación de las nuevas BTS en CDMA.

Después de analizar el costo de instalación para la red de tercera generación se analiza también la factibilidad de dicha inversión a partir de la demanda esperada de los servicios ofrecidos por la misma.

### 3.- Proceso de Instalación en México

El monto correspondiente a la inversión inicial para la red de tercera generación está dado por:

$$\$II_W = \$NB_W + \$CA_{NBW} - \$CA_{CC} \quad \text{Para W - CDMA}$$

$$\$II_{c2} = \$NB_{c2} + \$CA_{NBc2} - \$CA_{CC} \quad \text{Para cdma2000}$$

Tales que  $\$II_W$  es la inversión inicial total para implantar una red W – CDMA con base en el diseño determinado,  $\$NB_W$  es la inversión debida a la adquisición de  $N_{BW}$  BTS de tercera generación con tecnología W – CDMA,  $\$CA_{NBW}$  es la inversión requerida debida a la contratación y adecuación del número de  $N_{BW}$  sitios para alojar las BTS de W – CDMA y  $\$CA_{CC}$  es el costo implícito de adecuación y contratación de los sitios co – ubicados de CDMA y un equipo de tercera generación cuyo valor es mucho mínimo en referencia a un sitio nuevo.

Puede decirse que el número de sitios no existentes que requieren contratarse para W – CDMA y representan una inversión en adecuación más importante,  $NBN_W$ , es:

$$NBN_W = NB_W - N_{CC}$$

Para cdma2000  $\$II_{c2}$  es la inversión inicial total para implantar una red con dicha tecnología,  $\$NB_{c2}$  es la inversión realizada por la adquisición de las  $NB_{c2}$  BTS de tercera generación con tecnología cdma2000,  $\$CA_{NBc2}$  es la inversión derivada de la contratación y adecuación de  $NB_{c2}$  sitios con BTS de tercera generación y  $\$CA_{CC}$  representa el mismo valor que en la ecuación predecesora.

En el caso de cdma2000 el valor de la inversión en equipo nuevo,  $\$NB_{c2}$  puede ser tan bajo como inversión en transreceptores de radiofrecuencia adaptables a las BTS de CDMAone, así como la actualización de dichas BTS, BSC y MSC por medio de módulos de *software* o *hardware* para manejar cdma2000 y CDMAone mediante la misma arquitectura y red, e inclusive los mismos sitios, con ello el costo se reduce. Sin embargo la demanda y distribución de tráfico mencionadas para la planeación celular de una red de tercera generación es un factor preponderante para decidir si esta situación es realizable en la práctica o resulta en un diseño degradado.

Si la capacidad de la red de segunda generación se requiere mayor que la capacidad inicial de tercera generación, y debido a que en 850 [MHz] los efectos sobre la propagación son iguales para los canales físicos de ambas redes por tener aproximadamente la misma frecuencia de operación, es posible que todos los sitios que alojan equipo de cdma2000 ó W – CDMA sean co – ubicados con lo cual no se requieren sitios nuevos exclusivos para BTS de tercera generación.

Con base en lo anterior el total de la inversión para instalación,  $\$TI_{13G}$  se calcula como:

$$\$TI_{13G} = \$II_W + \$I_{AC} \quad \text{Para W - CDMA}$$

$$\$TI_{13G} = \$II_{c2} + \$I_{AC} \quad \text{Para cdma2000}$$

Con los anchos de banda de las portadoras propuestas, es posible llevar a cabo una comparación de las tasas máximas de transmisión y por lo tanto del tipo de servicios que de forma ideal es posible proporcionar para cada radiotecnología de tercera generación, cabe recordar sin embargo que el diseño de la cobertura de la red está en función del servicio a proporcionar así como de la demanda de tráfico sobre el mismo.

Estas tasas máximas están en función de la tasa de chips que alcanza la portadora de tercera generación y el código de dispersión VSF empleado el cual define el tipo de servicio, mediante la relación:

$$T_{Tx_d} = \frac{T_{Tx_c} [chips]}{VSF [chip/bit]} [bits]$$

La tasa de transmisión en *chips*,  $T_{Tx_c}$  depende del ancho de banda de la portadora; la longitud del código de dispersión, VSF está en función del tipo de servicio y de la tecnología empleada, siendo diferente para W – CDMA y para cdma2000, y diferente ya sea que se trate de modo TDD ó FDD, o de una portadora o multi – portadora para el caso de cdma2000.

En este caso, las diferentes tasas de transmisión, en kpbs, que se pueden alcanzar con los tipos de servicios, se muestran para cada tecnología de tercera generación en la tabla 3.12 a continuación. Estas tasas de transmisión son aplicables a todas las secciones siguientes.

	Modo	Enlace	Ancho de Banda [MHz]	Tasa de Chips [Mcps]	Tasa de Transmisión [kbps]	VSF
cdma2000	FDD/ TDD	Subida (UL)	1.25	1.2288	307.20	@ VSF = 4
			4.80		@ VSF = 256	
		Bajada (DL)	3.75	3.6864	921.60	@ VSF = 4
			14.40		@ VSF = 256	
			7.5	7.3728	1,843.20	@ VSF = 4
					28.80	@ VSF = 256
W - CDMA	FDD/ TDD	Subida (UL)	5	4.096	1,024.00	@ VSF = 4
					16.00	@ VSF = 256
		Bajada (DL)			1,024.00	@ VSF = 4
					16.00	@ VSF = 256

**Tabla 3.12.** Tasas de Transmisión máximas para diferentes portadoras de tercera generación W – CDMA y cdma2000.

Como se aprecia, en ningún caso se tiene una tasa de 2.048 Mbps, que es el objetivo para ambientes en interiores con poca movilidad, esto puede ser posible sólo con anchos de banda mayores a los especificados en las portadoras. Por otra parte, las tasas mínimas (con factores de dispersión mayores), no son útiles para servicios de transmisión de datos en el caso de una portadora cdma2000 (4.8 kbps por portadora de 1.25 MHz), por ello el término de "portadora básica" a aquella única portadora o multi – portadora con ancho de banda de 3.75 MHz que ofrece 14.40 kbps mínimos.

Es necesario decir que en el caso de W – CDMA sí se tiene el concepto de tasas asimétricas de transmisión, empleando para un mismo servicio un factor de dispersión más bajo en el enlace de bajada que en el enlace de subida; esto da como resultado que la tasa mínima sea de 16 kbps en el enlace de subida y de 32 kbps en el enlace de bajada mientras que la tasa máxima sea de 512 kbps en el enlace de subida correspondientes a 1,024 kbps para el enlace de bajada.

### 3.- Proceso de Instalación en México

Sin embargo, para servicios que requieran factores de dispersión tan bajos como 4, las tasas de datos transmitidos permiten un tiempo de espera menor en relación con tecnologías de segunda generación y de segunda generación y medio como EGPRS que permiten hasta 384 kbps.

#### **3.3.1.2 Ventajas y Desventajas**

CDMA es una tecnología de segunda generación adaptable a la introducción de nuevos servicios en redes superpuestas en el espectro y los sitios que alojan las BTS implantadas y operando. Los cambios en modulación de la señal de radiofrecuencia con relación a portadoras cdma2000 pueden significar únicamente modificaciones de equipo (*hardware*) en los gabinetes de las BTS hacia la parte de la antena, pero la arquitectura de la red puede aprovecharse de forma total para tercera generación, en referencia a implantar cdma2000 por lo que es una evolución natural de forma que puede incluso migrarse el total de la red de forma paulatina hacia tercera generación de forma más económica.

La ventaja del *handover* suave o en la misma frecuencia que hace de CDMA una tecnología flexible puede afectarse cuando debido a la necesidad de mantener la capacidad de la red de segunda generación deba disponerse de una segunda portadora en cada sitio evitando, sin embargo, integrar nuevos sitios de segunda generación.

Esta situación puede presentarse debida ante el aumento natural en la demanda hacia la red CDMA por parte de los abonados, aún sin la introducción de redes de tercera generación o antes de ésta.

En general puede considerarse que no existe merma significativa sobre la capacidad de la red de segunda generación, sin embargo la reducción de capacidad puede tornarse un problema más crítico debido al ruido introducido por la red de tercera generación sobre CDMA pese a la banda de guarda que pudiera considerarse.

CDMA es una tecnología de acceso múltiple que evoluciona más naturalmente hacia cdma2000, aún cuando resulta más recomendable mantener dos redes independientes (CDMA y W - CDMA) debida a la capacidad por el dimensionamiento de elementos de red tales como BSC y MSC puesto que no se espera una migración completa en primera instancia, a menos que se tenga una estrategia para sustituir paulatinamente en un corto plazo todas las terminales CDMA de segunda generación.

Asimismo, en una comparación de la eficiencia espectral en términos de tasas de transmisión y anchos de banda ocupados, W - CDMA muestra cierta robustez para los enlaces de subida y los de bajada.

### 3.3.2 Instalación con CDMA en la banda de 1900 MHz.

#### 3.3.2.1 Descripción del Modelo

En la banda de 1900 MHz dedicada actualmente para servicios de comunicación personal o PCS es práctico colocar una red superpuesta de segunda y tercera generaciones sólo en bandas de frecuencias de 30 MHz totales, es decir la banda A, B y C, debido a que el resto de dichas bandas de frecuencias cuentan con una capacidad muy reducida para alojar las portadoras de ambas frecuencias, incluso empleando el modo TDD para ambientes en interiores de baja movilidad.

Por lo tanto la instalación de tercera generación en las bandas D, E y F actuales de 1900 MHz no se recomienda a menos que pueda presentarse una extensión de dichas bandas lo que implica un reacomodo de las portadoras en el espectro de frecuencia probablemente para todos los operadores de éstos servicios.

Sin embargo tal como está atribuido el espectro de frecuencias en la actualidad es posible para un operador de servicios PCS en 1900 MHz implantar una red de tercera generación en el espectro en el que opera actualmente mediante la división de su red tal como hemos planteado previamente en el caso de 850 MHz en la banda A.

Para este escenario se supone la utilización de CDMA como tecnología de acceso múltiple de segunda generación tal como sucede en la actualidad con los operadores de las bandas A ó B de 1900 MHz.

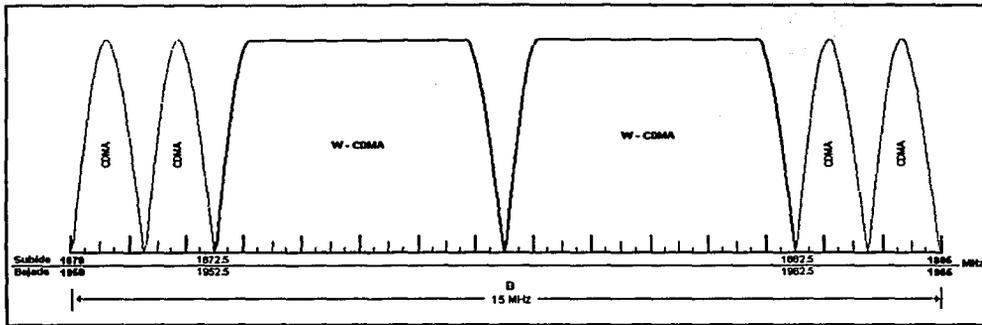
Los 15 MHz de ancho de banda en cada dirección del enlace permiten considerar hasta 4 portadoras de CDMA de 1.25 MHz e incluso 2 portadoras de W – CDMA para favorecer la capacidad de la red de tercera generación con una lógica de diseño de superposición de redes en función de la demanda de tráfico<sup>15</sup>. En el caso de cdma2000 pueden emplearse una portadora de 7.5 MHz o dos de 3.75 MHz de dicha radiotecnología y hasta 6 de CDMA de segunda generación con un espaciamiento entre portadoras de ambas redes superpuestas.

Estas opciones se clarifican en las tablas 3.13 y 3.15 para W – CDMA y cdma2000 así como por medio de la división del espectro propuesta contenida en las figuras 3.14 y 3.16.

A (B)	CDMA	4	1.25	5
	W - CDMA	2	5	10

**Tabla 3.13.** Distribución de Portadoras en redes W – CDMA / CDMA en las bandas A ó B de 1900 [MHz].

<sup>15</sup> *Vid infra.* Punto 2.3.4 en lo referente a desarrollo de redes en dos capas para atender la demanda de tráfico.



**Figura 3.14.** Alojamiento de Espectro Compartido W – CDMA / CDMA en la banda B de 1900 [MHz].

El caso planteado en la figura anterior no es la única posibilidad de alojamiento de las portadoras para compartir el espectro, de hecho si bien esta distribución permite una mayor distancia entre portadoras de tercera generación de otros operadores, concretamente aquellos que las dispongan en el límite de más alta frecuencia de la banda A (separados por lo menos 2.5 [MHz] de las portadoras indicadas), obliga por contraparte a emplear portadoras CDMA de segunda generación muy distanciadas entre sí en caso de requerirse éstas, con lo cual el empleo de *handover* duro o transferencia de frecuencia la conexión es más robusta ante interferencia entre células en caso de que exista reuso de frecuencia y por lo tanto se ocupen más de dos portadoras CDMA dada la capacidad.

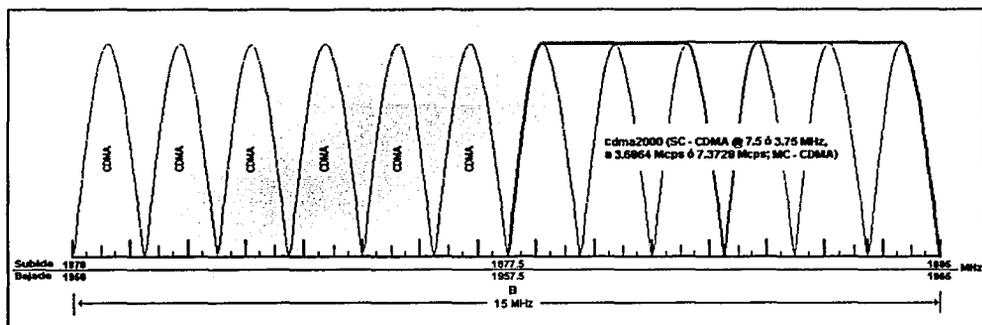
En la práctica, el caso de emplear cuatro portadoras para CDMA es más bien una situación aislada debido a la madurez de las redes de segunda generación y la densidad de sitios monofrecuencia que atienden el tráfico requerido empleando división ortogonal de código, por lo cual podría preferirse la separación de las portadoras W – CDMA entre sí de tal modo que el impacto menor en la interferencia entre células sea para la red de tercera generación.

De hecho, ese nuevo esquema de distribución de portadoras CDMA / W – CDMA permitiría canales de guarda tanto entre las portadoras W – CDMA como entre las portadoras CDMA y W – CDMA en tanto las 4 portadoras CDMA no sean requeridas.

Por el contrario, dos portadoras W – CDMA proporcionan una gran flexibilidad en la planeación celular para diseñar una superposición de redes en tercera generación que atiendan puntos emergentes de alto tráfico ubicados en determinadas áreas de la morfología durante diversas horas pico.

A (B)	CDMA	6	1.25	7.5
	Cdma2000	1 (2)	7.5 (3.75)	7.5

**Tabla 3.15.** Distribución de Portadoras en redes cdma2000 / CDMA en las bandas A ó B de 1900 [MHz].



**Figura 3.16.** Alojamiento de Espectro Compartido cdma2000 / CDMA en la banda B de 1900 [MHz].

En este caso, al contrario de cdma2000 el alojamiento continuo de los 7.5 MHz correspondientes a portadoras de tercera generación es necesario en virtud de que para una sola portadora este es el ancho de banda requerido. Además, la posición en el espectro mostrado en la figura permite una menor interferencia de una señal de tercera generación que se ubicara en la Banda A, de la que al menos está separada 7.5 MHz. Evidentemente si se tratase del espectro compartido diseñado para la banda A de 1900 MHz la posición óptima de la(s) portadora(s) cdma2000 es hacia la mitad de menor frecuencia en el espectro para lograr la misma separación antes mencionada de una posible portadora de tercera generación.

Suponiendo un costo relativamente similar de las estaciones base que en el caso de 850 MHz, y debido a que se cuenta ya con una licencia de operación de la banda de frecuencias, los costos de inversión por instalación de una red W – CDMA ó cdma2000 resultan en un modelo igual al obtenido para el caso de su instalación en la banda A de 850 MHz en México.

Respecto a las tasas de transmisión máximas alcanzadas por las portadoras respectivas de tercera generación de acuerdo a la división del espectro antes mostrada, éstas son las mismas que en el caso de la colocación de una radiotecnología de tercera generación en la banda de 850 MHz de la que ya hemos hecho mención.

### 3.3.2.2 Ventajas y Desventajas

En el caso de la instalación en la banda de 1900 MHz, si bien los efectos del ambiente, la topografía y la morfología sobre la propagación de señal transmitida a esta frecuencia son mayores, tanto en pérdida por trayectoria como en efectos de sombras ó pérdidas por penetración, esto puede ser compensado con una mayor densidad de sitios respecto a la que sería necesaria en la banda de 850 MHz para tener la misma cobertura con un nivel dado de señal y por lo tanto una relación señal a interferencia determinada.

Adicionalmente, debido a que las radiotecnologías existentes en esta banda son puramente digitales, básicamente GSM y CDMA, la trayectoria de evolución hacia tercera generación puede ser más breve que en el caso de la banda de 850 MHz en la cual supusimos la completa digitalización de la red como paso previo.

Otra ventaja es un ancho de banda mayor que en 850 MHz lo cual permite una mayor capacidad dado el número de portadoras disponibles para cada tecnología, o bien la futura provisión de servicios de "banda ancha" o aquellos que requieren una mayor tasa de transmisión en el caso de una evolución total hacia tercera generación.

Sin embargo, este último escenario puede ser aún más lejano que en el caso de 850 MHz toda vez que las redes de servicios de comunicación personal en México se encuentran en una etapa relativamente temprana de expansión y es de esperarse que en un mediano plazo el tráfico de servicios inalámbricos móviles se concentre en ésta banda.

Una posible instalación rápida y económica de redes de tercera generación podría suscitarse con la puesta en operación de radios con anchos de banda, modulación y capacidad de provisión de servicios de transmisión de datos y multimedia a tasas hasta de 384 kbps, empleando cdma2000 y haciendo uso de las estaciones base actuales de CDMA, con ciertas modificaciones que podrían darse por actualizaciones de *software* en las propias BTS, BSC y en las MSC.

Para permitir la introducción de servicios de tercera generación, con una red nueva o mediante modificaciones en el equipo existente, el ancho de banda con el que se cuenta es un aspecto fundamental, por lo tanto no en todas las frecuencias actuales de 1900 MHz es posible llevar a cabo tales modificaciones con un esquema FDD. Las bandas D, E y F con anchos de banda de 10 MHz totales cada una podrían alojar servicios de tercera generación empleando TDD para el cual no se requieren bandas apareadas: una ranura de tiempo constituye el canal de subida y otra el canal de bajada. Sin embargo esto aún está en estudio y requiere un control de sincronía muy preciso.

### **3.3.3 Instalación con GSM en la banda de 850 MHz.**

#### **3.3.3.1 Descripción del Modelo**

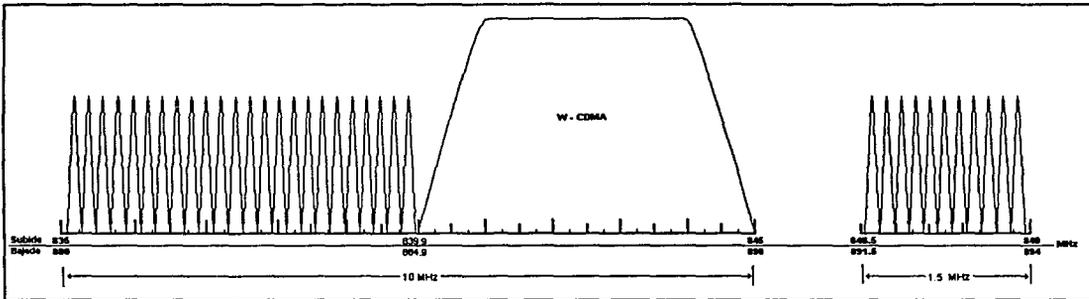
Para este escenario consideramos un operador de servicio que ofrece principalmente servicios de voz en la banda B de 850 MHz haciendo uso de la tecnología de acceso múltiple GSM. Si bien aún no existe equipo disponible para esta tecnología en dicha banda, debido al crecimiento que ha experimentado en el número de abonados en escala mundial lo cual predice una tendencia de crecimiento en este rubro en los próximos años (en México, por ejemplo, constituye un proyecto de instalación en la banda de 1900 MHz para proporcionar servicios de voz y servicios de datos de valor agregado con configuraciones personales y dependientes de la localización del usuario). En la industria por lo tanto existe un gran interés y un compromiso de permitir la introducción de GSM en la citada banda de 850 MHz, lo cual nos permite deducir una tendencia negativa de crecimiento de TDMA a ser sustituida por otras tecnologías, en este caso GSM.

Por lo tanto, considerando los tiempos de introducción de tecnologías de tercera generación en México nos es posible suponer la posibilidad de compartir la banda de 850 MHz entre una tecnología GSM de segunda generación y una tecnología de tercera generación con la finalidad de brindar servicios de tercera generación considerando una portadora de W – CDMA con un ancho de banda de 5 MHz o bien 3 portadoras cdma2000 (en modo multiportadora) con un ancho de banda de 3.75 MHz. Estas opciones se especifican en las tablas 3.17 y 3.19 así como en las figuras 3.18 y 3.20 siguientes.

B	B	GSM	24	4.8
		W-CDMA	1	5
		-	-	0.20
	B'	GSM	11	2.2
		-	-	0.20
		-	-	0.20

**Tabla 3.17.** Distribución de Portadoras en redes W – CDMA / GSM en la banda B de 850 [MHz].

El ancho de banda no ocupado (-) es en realidad bandas de guarda para GSM.

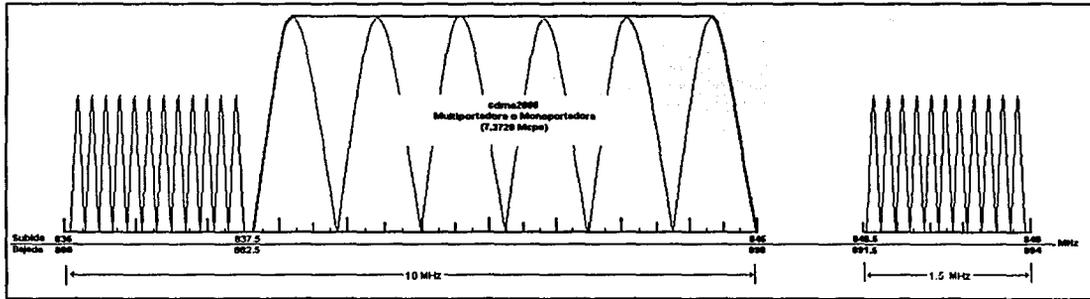


**Figura 3.19.** Alojamiento de espectro compartido W – CDMA / GSM en la Banda B de 850 [MHz].

En el caso de cdma2000 la consideración del número de portadoras es como sigue:

B	B	GSM	11	2.2
		cdma2000	1 ó 2; 6 - MC	7.5
		-	-	0.3
	B'	GSM	11	2.2
		-	-	0.20
		-	-	0.20

**Tabla 3.17.** Distribución de Portadoras en redes W – CDMA / GSM en la banda B de 850 [MHz].



**Figura 3.21.** Alojamiento de espectro compartido cdma2000 / GSM en la Banda B de 850 [MHz].

Otra alternativa es alojar una sola portadora de 3.75 MHz (ancho de banda básico para cdma2000) con lo cual podrían introducirse hasta 30 portadoras GSM en la sub – banda B de 850 MHz, cuando existen limitaciones debidas a la capacidad de la red.

Con 35 portadoras GSM se propone la instalación de hasta 3 TRU's por sector, en el caso de W – CDMA como tecnología de tercera generación, con una distribución propuesta de 15 portadoras asignadas para el BCCH susceptibles de un plan de frecuencias para la asignación, 12 portadoras asignadas mediante la función de salto de frecuencia (*frequency hopping*) en el segundo TRU de cada sector y 8 portadoras asignadas también mediante salto de frecuencia (*frequency hopping*) para el tercer TRU de cada sector. Con esta disposición contamos con 23 ranuras de tiempo máximas por sector, es decir, 23 canales físicos de transmisión GSM equivalentes a una capacidad de 15.76 Erl.

Con base en el tráfico cursado en GSM, es necesario calcular el impacto causado por sustraer la capacidad proporcionada por 25 portadoras GSM cuyo ancho de banda será asignado a la portadora W – CDMA. Este tráfico debe repartirse entre las demás portadoras y, en su caso, analizar en forma independiente para cada sector si es necesario implantar más BTS GSM.

Con la división del espectro el tráfico cursado en la red GSM,  $T_{CG}$ , supera la capacidad actual de la red GSM ( $C_{RG}$ ) debido a que cada sector tiene una capacidad máxima de 15.76 Erl para 3 portadoras por sector. En consecuencia se deberán agregar, al menos  $N_{SG}$  sectores nuevos para GSM, tales que:

$$N_{SG} = \frac{T_{CG} - C_{RG} [Erl]}{15.76 [Erl]} \quad \text{Para una portadora W - CDMA}$$

En el caso de 1 portadora básica cdma2000 de 3.75 MHz, con 41 canales GSM se propone la instalación de 4 TRU's por sector distribuyendo 15 portadoras por plan de frecuencias asignadas para el BCCH, 12 portadoras asignadas para el segundo TRU mediante salto de frecuencia (*frequency hopping*), 9 portadoras para el tercer TRU asignadas igualmente mediante salto de frecuencia (*frequency hopping*) y 6 portadoras asignadas mediante salto de frecuencia para el cuarto TRU.

Con esta distribución es posible contar con 31 ranuras de tiempo o canales físicos de GSM los cuales pueden proporcionar 22.83 Erl. de capacidad máxima.

Entonces, con base en el tráfico cursado GSM,  $T_{CG}$  y la capacidad actual de la red GSM,  $C_{RG}$ , es necesaria la colocación de  $N_{SG}$  nuevos sectores tales que:

$$N_{SG} = \frac{T_{CG} - C_{RG} [Erl]}{22.83 [Erl]} \quad \text{Para una portadora básica cdma2000}$$

### 3.3.3.2 Ventajas y Desventajas

La convivencia con una red GSM es posible en la banda de 850 MHz, de una forma similar a la red de tercera generación con CDMA. La diferencia en este caso estriba en que no se trata únicamente de agregar radios transreceptores que tengan una modulación y ancho de banda diferente y actualizar los elementos de la red por medio de *software*, aún en el caso de elegir cdma2000.

Si bien la arquitectura de la red de GSM cuenta con el mismo conjunto de elementos que una red de tercera generación, de forma similar que en el caso de CDMA, la técnica de acceso no permite suponer la introducción de tercera generación como un paso más allá de EGPRS, en este sentido, se trata de redes diferentes compartiendo el espectro.

La interferencia provocada por la portadora de tercera generación, W – CDMA ó cdma2000, degrada el factor de señal a interferencia (SIR) de la red GSM y por lo tanto la calidad de servicio de la misma, sin embargo la característica de salto en frecuencia de GSM puede revertir esta degradación ya que es posible que dicha diferencia de portadora con relación a la interferencia sea tan baja como 9 dB en condiciones de salto de frecuencia. Adicionalmente, puede tomarse como precaución seleccionar los canales de GSM más alejados de la portadora de tercera generación para distribuirlos de manera fija en un plan de frecuencias de BCCH, mientras que los canales más próximos a dicha portadora corresponderían al último TRU de cada sector y por lo tanto se asignarían con base en un algoritmo de medición de interferencias y desvanecimiento (en general degradación del canal de frecuencias) por medio de salto de frecuencias.

Los costos implícitos de mantener la capacidad de la red operando GSM (aquí denotados como inversión adicional,  $\$I_{AG}$ ) pueden resultar mayores que los relacionados con la red CDMA en la banda de 850 MHz teniendo en cuenta que esta última red podría manejar más portadoras CDMA de 1.25 MHz por sector con lo cual se pierde la función de transferencia de llamada suave pero se mantiene la capacidad.

En el caso de GSM la instalación de servicios a través de una red W – CDMA podría ser más recomendable ya que no se tiene sincronía en la red, como sucede en el caso de CDMA de segunda generación, y cabe recordar que una red cdma2000 requiere sincronía para su operación.

### 3.3.4 Instalación en la banda de 2100 MHz.

#### 3.3.4.1 Descripción del Modelo

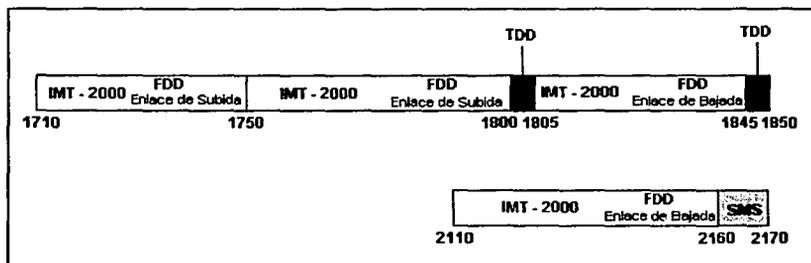
Las redes de tercera generación están pensadas para funcionar como una evolución de las redes implantadas actualmente, GSM y CDMA e incluso TDMA en el caso de la norma UWC - 136 de la que no consideramos su instalación en virtud del decremento esperado en el número de usuarios TDMA y la paulatina sustitución de estas redes por otras con tecnologías de segunda generación y de segunda generación y medio diferentes, como GSM.

Sin embargo, en los apartados anteriores hemos observado la limitación en la capacidad que implica la introducción de redes de tercera generación en un esquema de ancho de banda compartido con redes de comunicación móvil operando actualmente.

Si bien una licitación puede implicar un alto costo en la inversión inicial de la red de tercera generación, también implica una banda de operación que no es compartida con otras redes y por lo tanto está menos propensa a interferencias. Adicionalmente, la UIT ha definido espectros básicos que permitan el modo viajero de forma global, a lo cual es necesario apegarse también en la región 2 incluyendo México. Por este motivo la COFETEL ha establecido posibles asignaciones de espectro que permitirían hasta 190 MHz adicionales para la instalación de redes de tercera generación: 180 MHz de los cuales están considerados para redes apareadas de tipo FDD y 10 MHz sirven de bandas de guarda pero también es posible introducir servicios de tercera generación en modo TDD.

De los 180 MHz citados, al menos 50 MHz en cada dirección del enlace permitirían modo viajero universal en caso de licitarse para el mismo servicio de radiocomunicación en todo el mundo; estas licitaciones están tomando efecto ya en Europa. Nos referimos a las bandas de 1750 - 1800 MHz para los canales de subida y 2110 - 2160 MHz para los canales de bajada.

La asignación del espectro en lo que hemos denominado genéricamente "la banda de 2100 MHz" correspondería a la que se muestra en la figura 3.22 [19].



**Figura 3.22.** Opción de Asignación de Espectro para Servicios de Comunicaciones móviles de tercera generación

Para efectuar el modelo consideraremos la sub – división del espectro en 6 bandas de frecuencias cada una de 30 MHz totales, las cuales consideraremos factibles de ser licitadas por parte de la COFETEL en un futuro próximo a diferentes operadores en cada una de las 9 regiones definidas que comprende el país.

Si bien es posible considerar asignaciones no simétricas en las sub – bandas de frecuencias, 15 MHz por dirección ofrecen un balance entre capacidad y permiten un número considerable de operadores de servicios móviles de tercera generación. Esto podría permitir la introducción de hasta 3 portadoras W – CDMA en cada porción de espectro por operador y hasta 12 multi – portadoras cdma2000 de 1.25 MHz o su correspondiente portadora cdma2000 de 12 MHz para una tasa de chips de 14.7456 Mcps con capacidad de 14.4 kbps y hasta 3.6864 Mbps de transmisión de datos. Cabe recordar la necesidad de una sincronía estricta requerida en el caso de cdma2000 entre las estaciones base.

Es necesario considerar que si un operador cuenta con un número mayor de portadoras o canales físicos para asignar, esta situación le permite conformar una planeación celular más relajada y que atienda una mayor capacidad. Para CDMA esto se debe al hecho de que, si el radio de mejor servidor de una célula determinada se reduce debido a la interferencia, sería posible superponer una microcélula que emplee una frecuencia diferente (con la cual no se produzca transferencia de llamada suave) si el tráfico generado está localizado en un punto de alta densidad de suscriptores, o bien incrementar la capacidad añadiendo otra portadora. Incluso podría ser requerido desarrollar una capa de microcélulas en un área determinada de la zona objetivo.

Sin embargo, es necesario subrayar que aún en el supuesto de que no se requiera una planeación celular de radiofrecuencia entre los sectores pertenecientes a un mismo operador siempre que entre éstos exista transferencia de llamada suave, se debe tener especial cuidado cuando se emplean portadoras adyacentes a las de otro operador. Esto se debe al efecto de zona muerta que se define por la interferencia por canal adyacente causada por una portadora de tercera generación de otro operador en un área de cobertura con un nivel bajo de señal en relación con la portadora interferida [20].

Este efecto ocurre cuando la diferencia de potencias entre las dos portadoras es muy grande y por lo tanto puede presentarse en el evento de que los móviles de los abonados de un operador se encuentren cerca de una microcélula de otro operador (típicamente en línea de vista) en el interior de una edificación de tal modo que la señal de la macrocélula servidora correspondiente se reciba muy atenuada.

Para evitar este problema es recomendable llegar a acuerdos con respecto al uso del espectro y el alojamiento de las portadoras, inclusive establecidos en la regulación o bien entre operadores, considerando dos puntos importantes:

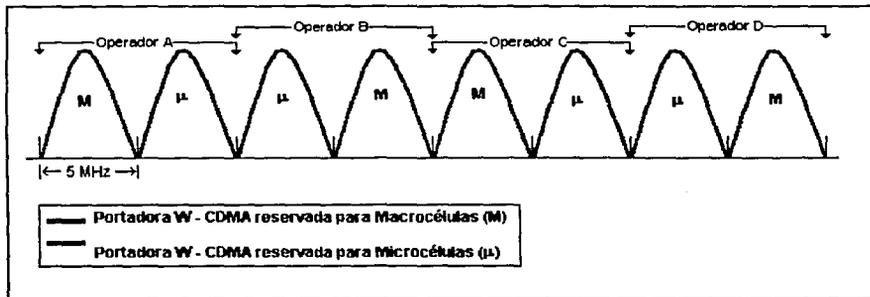
- 1.** En caso de tenderse una red de microcélulas de tercera generación superpuesta a la red de macrocélulas del mismo operador, las frecuencias asignadas a las células respectivas serán siempre las mismas de modo que entre macrocélulas pueda existir transferencia suave de llamada.

### 3.- Proceso de Instalación en México

2. La frecuencia de la portadora correspondiente a la red subtendida de microcélulas de un operador no quede adyacente a la frecuencia de una portadora empleada para macrocélulas que puedan tener un nivel de cobertura menor en un punto específico perteneciente a otro operador.

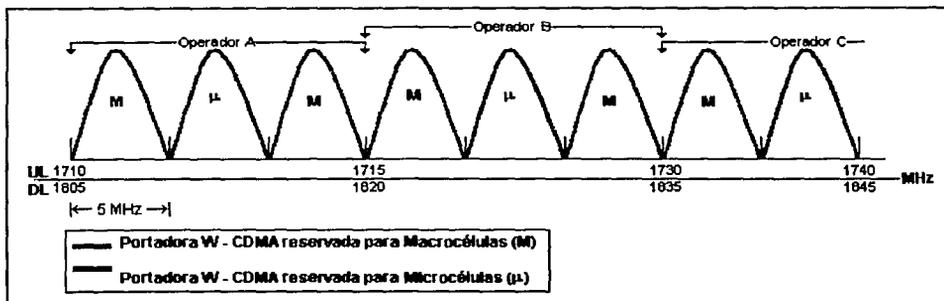
Este problema es evidentemente más crítico en ambientes urbanos de gran demanda.

Para el caso de un espectro de 10 MHz por par de frecuencias en modo FDD, considerando el empleo de W – CDMA, el arreglo entre portadoras que pueden asignarse a una capa de microcélulas debe ser muy específico. Esta situación se ilustra en la figura 3.23.



**Figura 3.23.** Asignación de portadoras de tercera generación (W – CDMA) para el caso de microcélulas superpuestas por capacidad en 10 MHz de ancho de banda.

En el caso que hemos planteado respecto al empleo de 15 MHz por cada sub – banda de frecuencia del par, es posible asignar una portadora comprendida entre los 5 MHz centrales de la banda de frecuencia correspondiente para emplearlo en una microcélula sin causar posibles efectos de interferencia con otro operador, como se ilustra en la figura 3.24 para el caso de W – CDMA y 3.25 para cdma2000.



**Figura 3.24.** Asignación de Portadoras W – CDMA en 2100 MHz, con 15 MHz de Ancho de Banda por Operador.

De la figura anterior debe tomarse en cuenta que al operador al que se otorgase la licencia en la banda comprendida de 1730 a 1745 MHz en el canal de subida (UL en la figura), le correspondería un par de frecuencia dividido para el canal de bajada tal que se tienen 10 MHz entre 1835 a 1845 MHz y 5 MHz entre 2110 a 2115 MHz. En este sentido conviene más la introducción de W – CDMA bajo este esquema debido a que es posible acomodar las portadoras aún con esta separación de espectro. El rastreo de canales en el diseño de las terminales móviles de tercera generación es un asunto a tomar en cuenta en este caso.

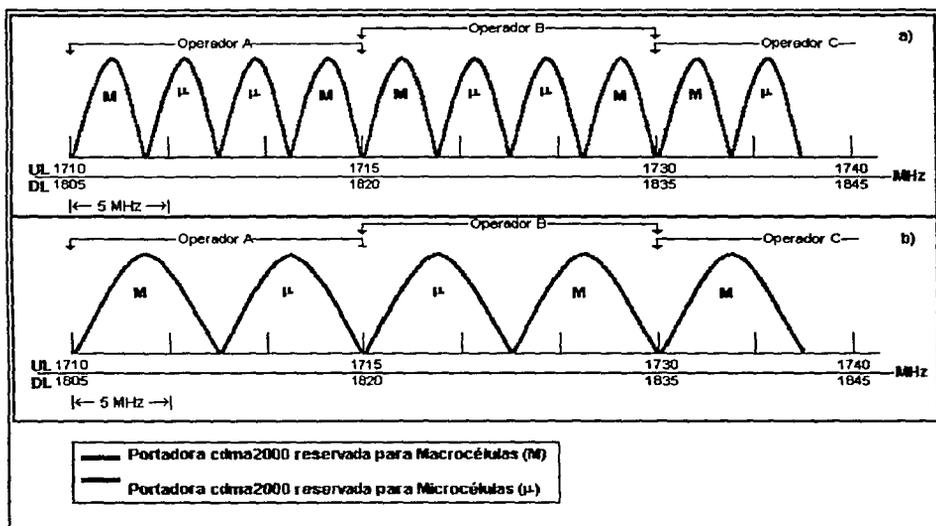


Figura 3.25. Asignación de Portadoras cdma2000 en 2100 MHz, con 15 MHz de ancho de banda por operador.

Para el caso de cdma2000 la separación del espectro es un factor crítico para la capacidad brindada en el caso de la sub – banda asignada al operador C de la figura anterior, tanto si se establece un esquema de portadoras básicas de 3.75 MHz por portadora (a), tales que únicamente 3 portadoras pueden ser alojadas en dicha banda en particular, como mediante un esquema de portadoras de 7.5 MHz (b) siendo que sólo 1 portadora de tal ancho de banda puede alojarse, además de 1 adicional de 3.75 MHz en los 5 MHz separados en el enlace de subida.

En cuanto a la inversión puede o no haber sitios colocados dependiendo si el operador con licencia de operación de una banda en 2100 MHz tiene o no otra red en alguna frecuencia de telefonía celular o PCS, sin embargo necesariamente es necesario realizar un estudio de distribución de tráfico para determinar si cada sitio operando en alguna otra frecuencia es conveniente o no respecto a co – ubicarse mediante la colocación de equipo BTS de tercera generación, como ya hemos mencionado.

En este caso al costo de la inversión inicial debe añadirse el costo de la licencia, que se otorga para proporcionar el servicio en toda la región de la cual se trate.

El diseño nominal y el dimensionamiento en el número de sitios debe considerar el tipo de servicio, la potencia máxima de transmisión, por consiguiente el radio de cobertura y la tasa de transmisión objetivo a la cual, aún a la hora pico de servicio, en cualquier zona del área objetivo, no existan huecos de cobertura en los cuales se presente el efecto de zona muerta considerando la respiración celular.

Evidentemente tratándose de predicciones de demanda futuras, a ocurrir en dos o tres años, tiempo de la instalación de la red, deben tomarse en cuenta las tendencias en el crecimiento de los servicios, por ejemplo de acceso a Internet y en general a redes de datos, la madurez del mercado para la provisión de nuevos servicios como transacciones bancarias a través del móvil, y la penetración de cada tipo de servicio en los diferentes niveles de la población. Así, podemos considerar que un esquema general del número de usuarios y de las tasas de transmisión demandadas por éstos estaría dado por:

$$Nu = [ \%P_{S1} + \%P_{S2} + \%P_{S3} + \dots + \%P_{SN} - (\%PC_{S1S2S3\dots SN}) ] (1 + \%C_H) H$$

Tal que Nu es el número total de usuarios del sistema en la zona objetivo,  $\%P_{S1}$  es el porcentaje de penetración calculado para el "Servicio 1" (por ejemplo voz),  $\%P_{S2}$  es el porcentaje de penetración calculado para el "Servicio 2" (por ejemplo SMS o servicios de valor agregado incluyendo envío de correo electrónico o transferencia de archivos de longitud limitada),  $\%P_{S3}$  es el porcentaje de penetración calculado para el "Servicio 3", por ejemplo acceso a Internet y redes remotas, y así sucesivamente para los N servicios tanto de voz como de datos a ofrecer, que pueden ser incluso servicios de banda ancha.  $\%PC_{S1S2S3\dots SN}$  es el porcentaje conjunto de usuarios que cuentan con los distintos servicios, al menos podría esperarse que además de voz y servicios de valor agregado se tuvieran otro tipo de servicios de transmisión de datos, por lo que  $\%PC_{S1S2S3\dots SN} \gg 0$ .  $\%C_H$  es el porcentaje de crecimiento de la población de la zona objetivo y H el número actual de habitantes.

Esta misma deducción puede llevarse a cabo con las tasas de transmisión demandadas, por usuarios, por zonas de alto tráfico, y por tipo de servicio.

#### 3.3.5 Análisis de Interferencias por Canal Adyacente.

Si bien teóricamente es posible colocar dos portadoras colindando cuando éstas son de diferentes tecnologías, por ejemplo de segunda generación tal como GSM ó CDMA en forma adyacente con una o más portadoras de tercera generación específicamente de W - CDMA o de cdma2000 tal como han sido los casos que antes hemos presentado, es necesario tener en cuenta el efecto de la interferencia por canal adyacente que es causada en estos casos.

Debido a la presencia de éste fenómeno se ha llegado a la conclusión de la necesidad de inclusión de bandas de guarda las cuales queden libres de portadoras en el caso de espectros compartidos o adyacentes.

La importancia de este hecho es tal que podemos citar que la FCC de Estados Unidos llevó a cabo un estudio exhaustivo para el análisis de la posible colocación de servicios de comunicaciones inalámbricas de tercera generación en la banda de 2500 a 2690 MHz, en la cual se proporcionan servicios de IFTS y MDS para radiodifusión analógica o digital y sistemas de datos inalámbricos fijos de banda ancha con valores de potencia de 33 dB típicos, anchos de banda requeridos asimétricos de 125 kHz y 6 MHz y un objetivo de relación señal a interferente muy estricto de incluso 45 dB; principalmente por ésta última razón el estudio concluyó en la necesidad de ubicar las estaciones base y las terminales móviles de usuario a 57 Km de las estaciones radiodifusoras con un ancho de banda en las bandas de guarda de 2 MHz o bien bandas de guarda de hasta 4 MHz para lograr tal relación señal a interferente requerida en los mencionados sistemas. [21]

La necesidad bandas de guarda representan limitaciones muy severas para la instalación de tercera generación en estas frecuencias de operación y, de hecho, de ser requeridos en forma similar en las bandas que hemos propuesto, de 850 MHz y 1.9 GHz en un esquema de espectro compartido 2G/3G implicaría no poder llevar a cabo la instalación tal como se propone debido al impacto en la capacidad del sistema de segunda generación por la merma en el número de portadoras y, en consecuencia, de un posible incremento en el número de sectores nuevos – con menor capacidad que las antes establecidas en cada caso – requeridos.

Por lo tanto es indispensable conducir un análisis de interferencias por canal adyacente entre sistemas.

Los parámetros involucrados en dicho análisis son la potencia de la portadora y la potencia de la señal interferente en un centro o rango de frecuencias determinado.

Para determinar estas potencias respectivas, se atienden a las normas respectivas de cada radiotecnología en cuanto a potencias máximas de transmisión efectivamente radiadas para transmisiones en banda o las consideradas en el rango de frecuencias en donde se aloja la portadora, y fuera de banda o las consideradas en cualquiera otra porción del espectro.

Al respecto de ésta última se determina por medio del valor de decaimiento del filtro paso – banda por medio del cual se define la portadora; dicho valor está dado en decibeles por unidad de frecuencia. Por consiguiente las potencias respectivas para las diferentes tecnologías involucradas en el presente análisis son las mostradas en la tabla 3.26 a continuación:

<b>W - CDMA</b>	27	10	-10	46	100	46
<b>cdma2000</b>	27	10	-10	46	100	46
<b>CDMA</b>	20		8	30	30	100
<b>GSM</b>	15		8	30	30	100

**Tabla 3.26.** Valores de Potencia de Portadoras en diferentes Tecnologías de Radiotransmisión.

De la tabla anterior cabe mencionar la consideración para equipos de estación base de tercera generación en alta potencia de transmisión y baja potencia de transmisión. Los primeros enfocados a utilización en áreas abiertas como ambientes rurales por ejemplo, los últimos enfocados a su utilización en áreas urbanas y de alta densidad de tráfico, con potencias isotrópicas efectivamente radiadas típicas de  $PIRE_{TXBTSHP} = 500 \text{ W}$  (27 dB) y  $PIRE_{TXBTSLP} = 100 \text{ W}$  (10 dB) respectivamente.

La caída del filtro pasa – banda se toma por norma de forma unificada, por esta razón resulta en una caída de  $ripoff_{PTXOB} = 46 \text{ dB}/100 \text{ kHz}$  tanto para W – CDMA como para cdma2000 en ambas direcciones del enlace de radiofrecuencia. Un ejemplo respecto a la caída del filtro en frecuencias fuera de banda de la portadora, para CDMA y las radiotecnologías de tercera generación puede apreciarse en la figura 3.27 (W – CDMA en este caso), según la cual se aprecia un valor muy bajo para la interferencia por canal adyacente.

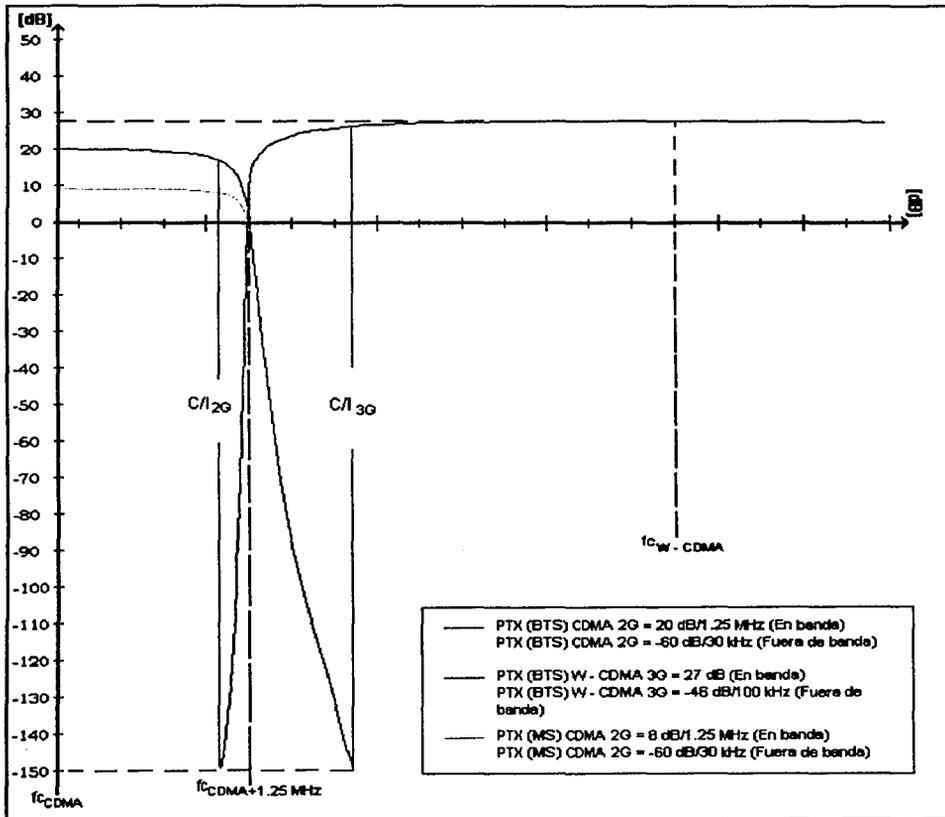


Figura 3.27. Relación de C/I para CDMA y W – CDMA.

Definimos el término de *portadora significativa* para el cálculo de interferencia como aquella ubicada de forma adyacente más próxima a la portadora de tercera generación interferida, esto para el caso del conjunto de portadoras de segunda generación co – ubicadas en un rango del espectro.

Para cada caso, las portadoras significativas son las que contiene la tabla 3.28 mostrada enseguida.

		SISTEMA INTERFERIDO						
SISTEMA INTERFERENTE	W - CDMA	832	N/A	N/A	832	1875	842.5	
		877			877	1955	887.5	
	cdma2000	MP	N/A	827.625	N/A	827.625	1878.125	838.125
				872.625		872.625	1958.125	883.125
		1P	N/A	N/A	1879.375	830.75	1881.25	845.25
					1959.375	875.75	1961.25	890.25
	CDMA	50 MHz	828.375	825.875	825.875	N/A	N/A	N/C
			873.375	870.875	870.875			
		100 MHz	1871.875	1876.875	1876.875	N/A	N/C	N/A
			1951.875	1956.875	1956.875			
	GSM 850 MHz	839.8	837.25	837.25	N/C	N/A	N/A	
		884.7	882.25	882.25				

**Tabla 3.28.** Portadoras Significativas para el Cálculo de Interferencia por Canal Adyacente

En la tabla 3.28 se encuentran definidas todas las frecuencias centrales de operación de las portadoras significativas interferentes para los diferentes esquemas de espectro compartido, incluyendo portadoras de tercera generación en el caso en que se encuentren definidas dos o más adyacentes, como en cdma2000 multi – portadora (cdma2000 MP) para 850 MHz y 1900 MHz o W – CDMA de acuerdo a su alojamiento en 1900 MHz. De los casos en 2100 MHz no se incluyeron datos.

Para analizar el caso de cdma2000 por multi – portadora, el ejemplo incluido en la tabla anterior corresponde a la colocación del sistema en la banda A de 850 MHz, aún cuando podría también realizarse para las bandas en 1900 MHz e inclusive 2100 MHz.

En los casos en donde en dos o más ocasiones puede analizarse la interferencia por canal adyacente debido a la presencia de diversas adyacencias 2G / 3G, hemos considerado la interferente significativa como la presente en la parte baja del espectro, es decir, el caso que se presenta en donde las frecuencias de operación son las más bajas.

Para determinar la frecuencia a la cual es conveniente calcular la interferencia causada por una portadora adyacente de otro o el mismo sistema consideramos los anchos de banda de las portadoras respectivas de CDMA (1.25 MHz), GSM (200 kHz), cdma2000 (1.25 MHz para multi – portadora, 3.75 MHz ó 7.5 MHz para modo mono – portadora) y W – CDMA (5 MHz).

El procedimiento considerado se basa en la frecuencia central de las portadoras significativas interferida e interferente tales que, si una tecnología de radiotransmisión en particular ocupa el espectro comprendido entre las frecuencias  $f_i$  MHz y  $f_r$  MHz, para un ancho de banda por portadora  $AB_p$ , entonces la frecuencia de interés  $f_A$  estará dada por la relación:

$$f_A = (f_f - f_i) - \frac{AB_P}{2} \text{ [MHz]}$$

Siendo  $AB_{io\_ripoff}$  el rango en el cual está dada la caída fuera de banda del filtro paso – banda de la portadora interferente,  $AB_{ii\_ripoff}$  el rango para el cual está dada la caída de potencia en banda, tal que  $P_{iTXMAX} \leq P_{iTX@fci}$  es la potencia máxima de transmisión de la interferente la cual corresponde a la potencia en la frecuencia central de la portadora interferente significativa, entonces la potencia de la interferente en la frecuencia de interés se determina por medio de la ecuación:

$$P_{iTX@f_A} = P_{iTX@f_{ci}} - \left( \frac{AB_I}{2} \cdot \frac{P_{ii\_ripoff}}{AB_{ii\_ripoff}} \right) - \left( \frac{AB_P}{2} \cdot \frac{P_{io\_ripoff}}{AB_{io\_ripoff}} \right) \text{ [dB]}$$

Para la cual  $P_{ii\_ripoff}$  es la caída en potencia del filtro paso – baja en banda de la portadora interferente específica para el rango  $AB_{ii\_ripoff}$  y  $P_{io\_ripoff}$  es la caída del filtro paso – baja fuera de banda especificada cada  $AB_{io\_ripoff}$  unidades de frecuencia para la misma señal.

En el caso de la portadora interferida, el valor en la frecuencia de interés  $f_A$  es generalmente el máximo valor de potencia de transmisión cuando se trata del análisis de portadora a interferente en la frecuencia central de la portadora significativa interferida. Un caso más crítico es cuando  $f_A$  no corresponde a la ecuación planteada con anterioridad, es decir, no es igual a la frecuencia central de transmisión. Este análisis redundante en una relación C/I más deteriorada pero es posible considerarlo debido a la oscilación en frecuencia por el efecto Doppler presente en el medio de transmisión de radiofrecuencia.

En éste último es necesario considerar entonces la caída en banda del filtro paso – banda de la señal portadora, la potencia de transmisión de la portadora y el ancho de banda del filtro, de tal modo que la potencia de la portadora será, en forma general:

$$P_{pTX@f_A} = P_{pTX@f_{cp}} - \left( (f_{cp} - f_A) \cdot \frac{P_{pi\_ripoff}}{AB_{pi\_ripoff}} \right) \text{ [dB]}$$

Finalmente, la relación portadora a interferente tal cual está dada por la relación de  $P_{pTX@f_A}$  con  $P_{iTX@f_A}$  es decir:

$$C/I = \frac{P_{pTX@f_A}}{P_{iTX@f_A}}$$

Aplicando las anteriores relaciones para cada caso, tanto en sistemas de tercera generación como interferentes a los sistemas operando de segunda generación cuando sea el caso (frecuencias de 850 y 1900 MHz) como en el caso contrario, determinamos que en ningún caso el valor de C/I limita la colocación de las portadoras ya que la diferencia entre las señales portadora e interferente es mayor a 110 dB, por lo que los escenarios propuestos resultan realizables.

### 3.4 Optimización de la Red

Si bien un aspecto necesario para la instalación de una red es definir el área de cobertura logrando dar el servicio adecuado a un mercado objetivo de abonados potenciales, es decir proporcionar la calidad adecuada y el rango de servicios que satisfaga la necesidad de dichos abonados de tal forma que sea atractivo para ellos el cambio de terminal y su incorporación a redes de tercera generación al ofrecer un valor agregado con relación a las redes telefónicas móviles tradicionales, lo cual puede lograrse mediante el diseño de una red para comunicaciones móviles personales de tercera generación con la cantidad de recursos suficientes para garantizar un grado de servicio, como hemos establecido antes, una segunda etapa a considerar para un operador de cualquier red de comunicaciones inalámbricas consiste en proporcionar una calidad óptima buscando erradicar las deficiencias que pueda tener la red implantada y operando, adelantarse a posibles presencias de estas deficiencias e impedir con estas acciones que se degrade el servicio ofrecido.

Para lograr lo anterior, no es suficiente considerar un crecimiento en la densidad de sitios a la par del crecimiento de la demanda de tráfico con el fin de evitar la degradación en la calidad de servicio; si bien esto es necesario, pueden aplicarse técnicas específicas que busquen eliminar problemas particulares o bien optimizar los recursos existentes en la red, por ejemplo, el área de cobertura de las radiobases o una mejora en la relación señal a interferente (SIR) en las estaciones base.

Las técnicas que se aplican y mencionamos brevemente a continuación bien pueden ser sujetas de estudios posteriores con la finalidad de considerar su impacto, tanto económico como desde el punto de vista del diseño y la planeación de la red.

Los alcances de las mismas dependen de su aplicación pero podemos decir que, en general, tienden a mitigar los efectos del ambiente de transmisión de las portadoras de radiofrecuencia en diferentes contextos.

Al respecto podemos decir que existen cuatro imparidades básicas presentes en la interfase de aire experimentadas en un enlace de comunicaciones: pérdida por propagación, sombras, multitrayectoria y corrimiento en frecuencia de Doppler.

La pérdida por propagación es el efecto directo de la distancia entre el transmisor y el receptor en el enlace. Las sombras producidas, o desvanecimiento lento o de Rician, se deben en mayor medida a obstrucciones parciales o absorción ambiental como la producida por árboles. La multitrayectoria es el resultado del desvanecimiento rápido o de Rayleigh cuando la antena receptora se mueve entre frentes de onda constructivos y destructivos como una función de la frecuencia de operación y el ancho de banda del receptor. De igual modo, cuando hay movimiento entre receptor y transmisor, se presenta corrimiento en frecuencia Doppler entre las frecuencias transmitida y recibida que puede tener un impacto positivo o negativo en el sistema.

Los ejemplos que planteamos para optimizar la red ante estos casos básicos y otros más específicos, si bien no son los únicos, pueden aplicarse en situaciones muy diversas y considerar problemas emergentes en redes inalámbricas que resultan inherentes a la interfase aérea.

### 3.- Proceso de Instalación en México

---

Entre las técnicas estudiadas y propuestas en la literatura se tienen las siguientes, sin que sean las únicas:

- Canceladores de Interferentes
- Arreglos de Antenas Adaptativas
- Cobertura en Interiores

Aún con el propósito de brindar una descripción básica de las tecnologías y establecer desde el punto de vista de un operador cuáles pueden ser los alcances y cuáles las limitaciones que afronta considerando las tecnologías a su disposición en la instalación de una red de tercera generación, en este caso presentaremos una serie de soluciones heterogéneas en ese sentido ya que mientras seguramente existirán soluciones de tercera generación para servicio en interiores, más aún debido a que en este mercado está destinada la tasa máxima de 2.048 Mbps para radiotecnologías de tercera generación, y es posible que existan desarrollos comerciales de antenas adaptativas hacia fases futuras de optimización de redes tipo IMT – 2000, al mismo tiempo depende de las características consideradas primordiales por los fabricantes de equipos (estaciones base, móviles) en cuanto a la disponibilidad de canceladores de interferentes como tales. Finalmente, la reservación de recursos para facilitar el *handover* y mejorar la calidad de llamada en la red puede ser un tema muy extenso que requeriría un trabajo posterior al presente, y el cual no consideramos que sea primordial para los fabricantes de equipos de comunicaciones al menos para las primeras etapas de desarrollo de redes de tercera generación, la introducción comercial de éstas características supone un cambio, en mayor o menor medida, en la lógica de los procesos de manejo de llamada y de recursos de la red.

De hecho un indicador muy general de la calidad de servicio en comunicaciones móviles es la potencia de la señal recibida así como el BER, aunque en un sistema de comunicaciones digitales el retraso en el tiempo de llegada de la señal recibida (o dispersión temporal) es más importante que el nivel de la señal recibida en sí, ya que incrementa la tasa de bit en error: las señales múltiples que llegan al receptor en el periodo de 1 bit provocan la distorsión de la representación de dicho bit, incluso al extremo de obtener una decodificación errónea en éste cuando la señal retrasada reflejada presenta un nivel más alto que la señal directa recibida.

La dispersión del retraso es más pronunciada a mayores tasas de transmisión de datos debido a que causan que los símbolos se traslapen, produciendo interferencia entre símbolos, ISI.

Existen pocas soluciones que pueden aplicarse para mitigar estos efectos causados por los distintos tipos de interferencias; en sistemas de segunda generación como TDMA se emplea un igualador adaptativo que se ajusta y enganche a la señal recibida con mayor intensidad, teniendo en cuenta una trama de ajuste enviada al inicio del establecimiento de la comunicación entre el móvil y la radiobase; CDMA en cambio emplea un receptor RAKE el cual es capaz de discriminar una señal de otra, eligiendo la señal adecuada.

Los dos primeros sistemas de optimización de la red hacen uso de esta característica de CDMA en combinación con otros métodos.

### 3.4.1 Canceladores de Interferentes

En todo ambiente de propagación por radiofrecuencia, incluyendo la telefonía celular convencional en las bandas de 850 MHz y los servicios de comunicaciones personales en las bandas de 1900 MHz, existen efectos de los cuerpos presentes en el ambiente sobre la señal transmitida, los cuales resultan más críticos a una frecuencia más alta debido a que cuerpos más pequeños representan un obstáculo significativo sobre la señal ante una frecuencia mayor; por lo tanto en una banda de frecuencia más alta, como 2100 MHz, este hecho es más importante. [22]

Lo anterior redundante en que, en general, a mayor frecuencia de la señal de transmisión es necesaria una mayor potencia para cubrir un área igual a una señal transmitida con una frecuencia más baja.

De las características anteriores hemos mencionado la *multitrayectoria*, misma que de manera somera podemos describir como la reflexión múltiple de la señal en los distintos obstáculos, lo cual es causa de recibir, de igual forma en el enlace de subida como en el de bajada, una señal compuesta de la suma de la señal transmitida original mas todas las señales producidas por estas reflexiones (frentes de onda constructivos y destructivos), que están relacionadas con la señal original ya que provienen de la misma información, pero están alteradas tanto en fase (y por lo tanto conllevan un retraso en su recepción) como en amplitud en comparación de ésta.

Como resultado, la intensidad de señal puede verse reducida o incrementada, de forma aleatoria, y si bien existen técnicas de recepción que se valen de estos fenómenos para recuperar la señal original (como la diversidad en frecuencia o la diversidad espacial) [22], también es posible que las señales transmitidas por otros móviles u otras estaciones base alcancen un receptor diferente al destino (ya sea en el enlace de subida o el enlace de bajada, respectivamente) causando interferencia, referida en algunos casos como "interferencia por multi – acceso" [15], MAI por sus siglas en inglés.

El empleo de técnicas como cancelación de interferencia o el uso de arreglo de antenas adaptativas puede reducir de modo significativo la interferencia por multi – acceso incrementando con ello la capacidad del enlace y la cobertura de una estación base. Las características presentes en las tecnologías de radiotransmisión para tercera generación, respecto a la introducción de señales piloto asociadas al canal de datos soportan el uso de estas técnicas.

Para el caso de una sola célula omnidireccional, la capacidad del enlace empleando DS – CDMA es menor en comparación con un acceso basado en TDMA debido a que CDMA es una técnica de acceso limitada por la interferencia para la cual un parámetro de calidad importante en la red es la relación señal a interferente (SIR); sin embargo, la sectorización de las células en sistemas DS – CDMA y el reuso de la frecuencia portadora puede superar esta desventaja. Adicionalmente, la reducción de MAI incrementa, como ya hemos mencionado, la capacidad del enlace de radiofrecuencia; para lograr lo anterior, una técnica candidata es emplear un cancelador de interferencia.

Los canceladores de interferencia pueden dividirse en tipo de un solo usuario o tipo multi – usuario; pero debido a la naturaleza variable con el tiempo de la secuencia del código de dispersión en los enlaces de bajada y de subida de las técnicas W – CDMA y cdma2000, un cancelador de interferencia enfocado a un solo usuario, que puede consistir por ejemplo en un filtro acoplado para la portadora del mismo, no es posible implantar aunque resulta más simple.

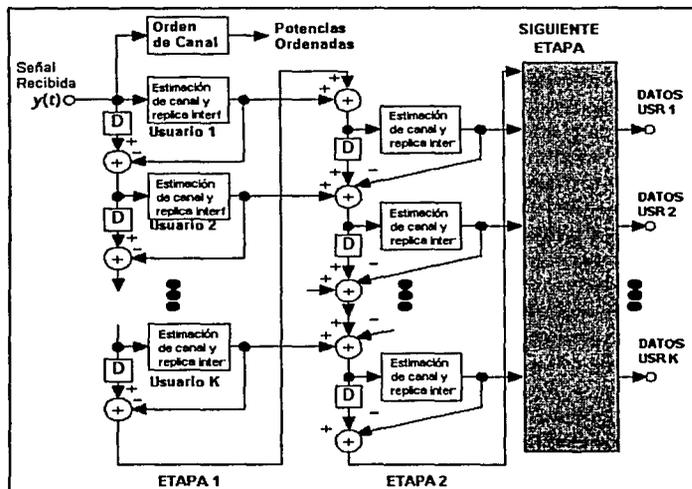
Para los canceladores de interferencia multi – usuario se requiere una señal de referencia que permita eliminar la correlación entre cada usuario diferenciando a cada uno a partir de la señal recibida en la estación base  $y(t)$ . Una opción es emplear inversión de matrices de correlación entre los diferentes códigos de dispersión de los usuarios, sin embargo el tiempo de procesamiento implícito en este proceso lo hace impráctico. Otra opción para canceladores de potencia es el uso de canceladores multi – etapa coherentes, cuya señal de referencia es la señal piloto del canal de datos.

Este último tipo de canceladores de interferencia es el propuesto para su uso en los sistemas de tercera generación [23]. Su operación consiste en estimar el canal de cada usuario, ordenando a los K abonados que usan simultáneamente los recursos de comunicación de acuerdo a la potencia recibida por cada uno, en forma decreciente, generando una réplica de la interferencia y asumiendo L trayectorias diferentes para cada usuario, donde L puede asumirse constante e igual para todos los usuarios. Cada una de tales trayectorias está sujeta a desvanecimiento de Rayleigh de forma independiente de las demás.

La sumatoria de las replicas de interferencia generadas para cada trayectoria y para cada usuario se restan a la señal recibida  $y(t)$  para definir la entrada a la siguiente etapa del cancelador, de esta manera se obtiene una estimación más precisa del canal de radiofrecuencia en etapas posteriores para cada usuario, y también se mejora dicha estimación para los usuarios cuyas potencias de transmisión son más bajas si se toma en cuenta una misma etapa.

Antes de pasar por una nueva etapa, cada señal obtenida para un móvil se hace pasar por un filtro acoplado y se realiza una detección tentativa de símbolo.

La salida de la última etapa P del cancelador de interferencia es la entrada del combinador coherente RAKE usado en CDMA y es objeto de decisión suave para deshacer el entremezclado y decodificación de Viterbi. [15] La operación fundamental de este tipo de canceladores se observa en la imagen de la figura 3.29.



**Figura 3.29.** Diagrama de Bloques del Cancelador de Interferencia Coherente Multi – Etapa para Tercera Generación.

El resultado del proceso de cancelación de interferencias es obtener una tasa de bit en error, BER, menos degradada en condiciones de desvanecimiento y multitrayectoria específicas, considerando la misma potencia de transmisión. Ante un incremento de potencia se observa mejora en el BER.

### 3.4.2 Arreglos de Antenas Adaptativas

Las llamadas antenas inteligentes se basan en un concepto de conmutación o cambio del patrón de radiación resultante de un arreglo de antenas de tal forma que pueda ser adaptable, de forma dinámica, por lo que se refieren a sistemas en los que las antenas de la estación base no tienen un patrón de radiación fijo definido sino que se adapta a las condiciones de propagación de radiofrecuencia para anular las fuentes de interferencia producida por usuarios que transmiten en la misma frecuencia y/o ranura de tiempo que la señal de información y, por consiguiente, maximiza el SIR para cada usuario. [24].

La idea del empleo de antenas adaptativas en comunicaciones móviles no es reciente, existen ejemplos en la literatura que fundamentan la teoría y proponen aplicaciones prácticas. [25], [26]

Esto es, como hemos mencionado, otra forma de combatir la interferencia por multi – acceso o MAI.

El fenómeno de MAI no es el único que un arreglo de antenas adaptativas pueden mitigar, el desvanecimiento plano y el desvanecimiento selectivo en frecuencia pueden también solventarse optimizando las posiciones de las antenas en el arreglo (incluso considerando un diseño de antenas espaciadas de forma no equidistante).

Un arreglo de antenas adaptativas se logra optimizando las posiciones y coeficientes de ponderación de los elementos del arreglo para mejorar, simultáneamente, la capacidad sujeta a la altura máxima de los lóbulos laterales y/o minimizar el ancho del lóbulo principal (ancho de haz). La configuración básica para el mismo se observa en la figura 3.30.

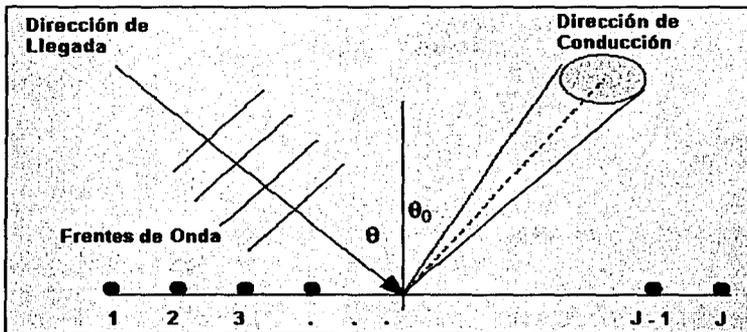


Figura 3.30. Geometría y Parámetros Básicos de un Arreglo de Antenas.

### 3.- Proceso de Instalación en México

---

Existe una razón clara por la cual los arreglos de antenas adaptativas no han sido introducidos completamente en las tecnologías de comunicación móvil de segunda generación (telefonía celular y PCS), y es debido a que para servicios de voz la aplicación de esta técnica es impráctica debido al número relativamente grande de antenas que se requiere instalar para el arreglo, comparado con la poca ganancia que se tiene en este caso.

Estos arreglos de antenas adaptativas son particularmente útiles en el caso de servicios de datos con tasas de transmisión específicas, especialmente en transmisión de servicios de multimedia o acceso a redes, en los cuales los diferentes usuarios transmiten a tasas diferentes.

La aplicación reside en el hecho de que los usuarios que transmiten/reciben a tasas más altas causan interferencia importante a los usuarios cuya comunicación se establece con tasas de transmisión más bajas, como los que ocupan servicios de voz. Los arreglos de antenas adaptativas incrementan la capacidad del enlace en términos de usuarios/célula/MHz.

Un arreglo de antenas adaptativas tiene tres ventajas principales en comparación con arreglos de antenas multi – haces fijos:

- En la dirección del haz, la cual puede ser cambiada en forma muy fina en el caso de antenas adaptativas en tanto que no puede ser cambiada en el caso de un arreglo con un haz múltiple fijo.
- En el patrón de radiación conformado por el arreglo; éste es formado de forma flexible partiendo desde un patrón omnidireccional hasta el patrón óptimo que se establece rápidamente mediante un algoritmo de adaptación. Por el contrario, al inicio de la comunicación en un arreglo fijo es necesario determinar el ángulo de llegada de recepción y posteriormente definir el patrón óptimo mediante conmutación de haces.
- En los ángulos de llegada, éstos pueden diferir de un modo muy grande debido a las multitrayectorias presentes, más aún en los casos de microcélulas [15] y [27], con lo cual es difícil determinar un ángulo óptimo por conmutación de haces. Sin embargo en arreglos adaptativos el receptor puede diseñarse para ser dirigido hacia cada trayectoria de cada usuario (si es empleada recepción coherente), con lo que el patrón es óptimo aunque los ángulos de las señales producidas por la multitrayectoria difieran mucho.

Para lograr un desempeño óptimo en la configuración del arreglo es necesario que sus elementos presenten baja o ninguna correlación entre ellos o de lo contrario se reduce significativamente la capacidad del arreglo para combatir el desvanecimiento. En estos términos, un canal de radiofrecuencia para comunicaciones móviles puede caracterizarse en función de tres parámetros que tienen que ver con la correlación [28], a saber:

- Dispersión en el retraso, es decir la dispersión en el tiempo del canal en el sentido de con qué rapidez la correlación de un canal con la frecuencia no es considerable (correlación de ancho de banda).
- Dispersión Doppler, describe la dispersión en la frecuencia de transmisión del canal por lo cual indica con qué rapidez la correlación de un canal con el tiempo no es considerable (correlación temporal).

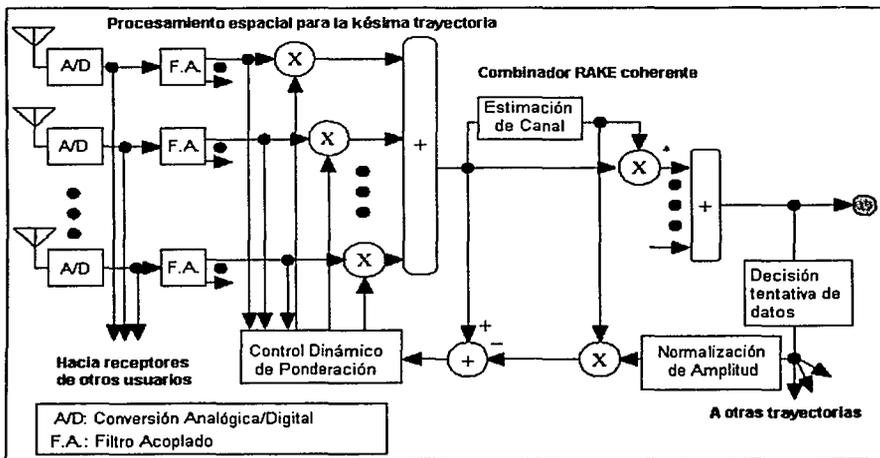
- **Dispersión Angular**, describe la holgura con que la señal recibida en un canal cambia de ángulo de llegada para un mismo elemento por lo cual tiene que ver con la rapidez con la cual la correlación del canal con la distancia no es considerable (correlación con la distancia).

Por lo tanto, para asegurar una baja correlación existen tres formas, equivalentes a ganancia por diversidad: por polarización, angular y por espaciamento (aunque un valor de  $\lambda/2$  puede reducir los efectos del desvanecimiento de Rayleigh, si los ángulos de llegada entre dos móviles son muy parecidos y se tiene un haz fijo se requiere entre  $10\lambda$  y  $20\lambda$  para asegurar la misma baja correlación).

También es posible combinar los arreglos de antenas con receptores RAKE coherentes para precisar el patrón de radiación adaptado para cada usuario, empleando como señal de referencia ya sea los símbolos de la señal piloto o los símbolos de datos.

El patrón de radiación de la antena para la  $I$ -ésima trayectoria del  $k$ -ésimo usuario maximiza el SIR promedio de la señal combinada, cuya expresión es la sumatoria del producto de la muestra de señal modulada  $r(m)$ , por el factor de ponderación asociado por la antena  $w(m)$ , siendo  $m$  la posición del símbolo como se distingue en la figura 3.31; por lo tanto la señal combinada y el patrón de radiación están en función del símbolo de lo que se actualizan cada vez que esta operación sumatoria es llevada a cabo, con lo que el ancho de haz y patrón de radiación se adaptan.

Con esta técnica el BER promedio recibido mejora, por ejemplo se ha demostrado que es similar al BER que se tiene con una señal interferente 10 dB inferior sin el uso de estos arreglos [15].



**Figura 3.31.** Diagrama a Bloques de un arreglo adaptativo de antenas con Combinador RAKE Coherente.

La mejora ofrecida por el arreglo depende del ángulo de llegada de la señal interferente debido al aspecto de la correlación de las señales recibidas en las antenas al que ya hemos hecho mención: cuando dos usuarios se ubican en el ancho de haz de 3 dB, cualquiera de ellos puede ser bloqueado, sin embargo la probabilidad de bloqueo es aún menor que aquella en una configuración sin antenas adaptativas.

### 3.- Proceso de Instalación en México

---

Para tercera generación, en particular referente a la aplicación para UMTS, grupos de empresas de telecomunicaciones, universidades y organismos de normalización establecieron el programa TSUNAMI (*Technology in Smart Antennas for Universal Advanced Infrastructure*) entre Septiembre de 1995 a Junio de 1998 como parte del programa ACTS que hemos mencionado con anterioridad<sup>16</sup>. Los resultados obtenidos con este programa fueron retomados posteriormente y dieron origen al programa SUNBEAM (*Smart Universal Beamforming*).

En las conclusiones de ambos programas se determinó un prototipo de arreglo de antenas basado en *cuatro elementos de muesca plana (planar notch)* con polarización lineal vertical que demostró mantener sus características constantes en las frecuencias de DCS1800 (1710 a 1880 MHz) y UMTS (1880 a 2170 MHz) en cuanto a ancho de haz extenso tanto en el plano de azimuth como en el plano de elevación, por lo que se considera independiente de la frecuencia, debido a su gran ancho de banda.

Ejemplos como el tipo de antenas anterior son los que tendrán que implantarse en caso de tener sitios colocados como los sugeridos en este trabajo, en donde la parte del sistema radiante sea común para los equipos de segunda y tercera generación en cada estación base, de forma análoga en la que en los proyectos antes mencionados se buscó una alternativa común para implantar en las bandas europeas de segunda y tercera generación.

La aplicación de este tipo de arreglos de antenas requiere flexibilidad de las arquitecturas de transreceptores y mejorar los modelos simplificados para las características de espacio – tiempo de los canales de radiocomunicación que por lo general dan lugar a predicciones de desempeño que son demasiado optimistas en la práctica. Se han propuesto diseños de transreceptores con capacidades más flexibles a partir de arquitecturas de radio por software; que si bien quedan fuera del alcance del presente trabajo, se ponen a consideración del lector que quiera profundizar en estos temas. [29]

Es un hecho que el empleo de antenas adaptativas mejora la relación de portadora a interferente C/I, en tanto que asigna de un modo más eficiente los recursos de una estación base para atender la demanda existente de tráfico. De cualquier modo, es necesario decir que la calidad de un sistema en términos de C/I y la capacidad del mismo tienen una relación inversa, lo cual se sigue cumpliendo aún con la introducción de antenas adaptativas, aún cuando en tal caso la degradación de la calidad de servicio se dé en forma menos abrupta.

Compartir el sistema radiante de una red de segunda generación y una red de tercera generación es posible y eficiente sólo si se cuenta con antenas adaptativas aún cuando el sistema de adaptación del haz sea a través de dispositivos de *hardware* independientes de la estación base, los cuales midan y analicen la demanda de tráfico y tasas de transmisión, la interferencia detectada y las potencias de transmisión con base en lo que pueda determinarse el mejor patrón compuesto para el arreglo de antenas. Esta idea no es extraña ya que en la actualidad existen desarrollos de antenas inteligentes tanto para redes CDMA como GSM, TDMA e incluso AMPS; más aún, los operadores de servicios celulares y de comunicaciones personales han instalado dicho tipo de antenas en México.

---

<sup>16</sup> *Vid infra*. Capítulo 1 Sección 1.1

### 3.4.3 Cobertura en Interiores

Hemos mencionado que ante señales transmitidas a una frecuencia más alta los obstáculos para esa señal son más significativos: cualquier objeto puede ser un obstáculo para la señal, reflejarla o absorber parte de su energía con lo que la señal se atenúa.

Este hecho, en las grandes ciudades en donde la topografía consta de edificios, casas, árboles y bloques de manzanas atestadas de construcciones es relevante si se considera que, aún cuando no se requiere línea de vista entre la estación base y el móvil, la multitrayectoria, el desvanecimiento, las atenuaciones y sombras de la señal causan una degradación que, en condiciones severas, puede resultar en daño a la calidad de servicio de la red en estos puntos debido a que la señal recibida está por debajo de los umbrales para ser tomada en cuenta como la señal de información.

Estas condiciones son extremas cuando los abonados de terminales móviles se ubican en una localidad cerrada, siendo que el servicio de las redes está orientado, en primera instancia, a ambientes peatonales y vehiculares. En edificios, centros comerciales; bodegas u oficinas corporativas, si bien puede haber una gran demanda por el servicio debido a la concentración de usuarios presentes en el lugar o a los requerimientos específicos del mismo (en el rango que va desde servicios básicos de voz, mensajes cortos, envío y recepción de correo electrónico hasta acceso inalámbrico a redes remotas incluyendo Internet, o servicios de multimedia que requieren de tasas de transmisión más altas como video por demanda o videoconferencia en tiempo real). Al mismo tiempo hemos mencionado que para servicios de altas tasas de transmisión, HMM, los usuarios que los requieren deberían encontrarse cercanos a una estación base de tal forma que puedan garantizar las más altas tasas de transmisión posible y en consecuencia una menor degradación en el servicio.

Sin embargo, cuando estos requerimientos provienen de localidades cerradas como la que hemos mencionado es difícil que el nivel de potencia de la señal en el canal de subida sea el suficiente para que el móvil tenga acceso a la red con las tasas de transmisión deseadas.

Una situación especial a tomar en cuenta son los edificios altos que se destacan de la topografía circundante, a los cuales, debido a estar por encima del promedio de altura de la arquitectura, es común que más de una célula de servicio con la misma calidad de señal (por ejemplo, señales piloto en el canal de control de un sistema CDMA con un nivel de intensidad muy semejante recibido por un móvil). Esto constituye accesos lejanos y puede dar lugar a *handovers* no deseados en virtud de la falta de presencia de un mejor servidor.

Por tales motivos, en la actualidad existen algunas aplicaciones exprofesas para cobertura en interiores, de tal modo que el nivel de señal en estos sitios sea suficiente para captar el tráfico en el caso de los servicios de voz, e incluso pueda mantenerse constante de tal forma que a pesar del cambio dinámico en las áreas de más tráfico, éste pueda ser atendido con la misma capacidad por un solo servidor predefinido que puede ser exclusivo para la localidad cerrada o edificio alto, compartido con el exterior de éste o bien extraído de una macrocélula que debiera servir el área de ésta localidad con base en su ubicación; la decisión de estos casos depende de los requerimientos de tráfico que presente la localidad en cuestión.

Los sistemas para cobertura en interiores deben diseñarse teniendo en cuenta su estrecha relación con los sitios macro ubicados en el exterior, ya que con ellos efectuarán *handover*.

Una posibilidad aplicable en este caso es la regeneración de la señal transmitida de radiofrecuencia por medio de un sistema de antenas distribuidas, ya sea modulando esta señal a una frecuencia intermedia  $f_i$ , tal que típicamente  $f_i < 200$  MHz de tal forma que pueda ser procesada como una señal eléctrica u óptica por medio de par trenzado UTP categoría 5 o por fibra óptica mono-modo, o bien retransmitiendo esta señal en radiofrecuencia en la propia fibra óptica mono-modo o por propagación empleando regeneradores también conocidos como repetidores de señal, sin tener que efectuar ninguna modulación/demodulación para el cambio de la frecuencia de la onda transmitida desde la estación base.

Una alternativa también implantada es una combinación por etapas de los anteriores conformando un sistema híbrido, es decir, emplear tanto regeneradores de señal en la banda de radiofrecuencia, como un sistema de distribución cableado hacia antenas remotas distribuidas por el área de la localidad cerrada a cubrir.

Una ventaja que presenta el uso de modulación y la transmisión en una frecuencia  $f_i$  es la posibilidad de mezclar datos de control y de alimentación a los elementos del sistema, para monitoreo o control de potencia de salida, por ejemplo, lo cual añade inteligencia y funcionalidad a la red distribuida.

Una ventaja que se tiene al tener el sistema de distribución de antenas por medio de radiofrecuencia es el bajo costo y el menor número de elementos requeridos. Este tipo de sistemas de varias antenas puede incluso diseñarse a partir de un divisor de potencia, resultando un modo económico y de fácil diseño.

En cuanto a las características de radiofrecuencia de algunos elementos de estos sistemas, se considera que, dado que la estética y funcionalidad de las localidades donde se instale el sistema impiden el uso de elementos de dimensiones grandes, las antenas colocadas para cobertura en interiores son pequeñas y de baja ganancia.

Pueden ser empleadas antenas Yagui – Uda con ganancias de 5 a 10 [dB] direccionales, para los regeneradores de señal que emplean la interfase aérea, dipolos  $\lambda/2$  omnidireccionales o bien antenas distribuidas tipo logoperiódicas, *broadside* o *endfire* sectoriales con ganancias de alrededor de 3 a 7 [dB] para la interfase con los móviles de los abonados. [30]

Si bien estas aplicaciones pueden ser transparentes a la tecnología, no así para la frecuencia de operación, y en general tampoco lo son para el ancho de banda, aunque no existe una restricción para ello, salvo la de las frecuencias características de operación de los componentes que constituyen el sistema de distribución, es decir las antenas remotas, los regeneradores y los moduladores/demoduladores. Teniendo en cuenta lo anterior, podemos considerar que las aplicaciones instaladas en la actualidad no están listas para ser empleadas en redes de tercera generación.

En este sentido la instalación de una red de tercera generación puede implicar un retroceso en las localidades en las que se tiene disponibilidad del servicio de dicha red, máxime cuando los abonados provienen de redes de segunda generación optimizadas para cobertura en interiores por medio de este tipo de distribución de señal.

Cabe señalar, sin embargo, que en México la incidencia de casos de este tipo es baja, debido al costo implícito de instalar un sistema de distribución, por ejemplo por fibra óptica.

Esto siendo que la demanda esperada de tráfico en el área cubierta por el sistema de distribución es suficiente para justificar el costo de diseño e instalación de ese sistema, por lo que en general deben destinarse recursos suficientes a tal área para cubrir dicha demanda. En consecuencia, un equipo de microcélula o picocélula puede ser destinado para distribuir su capacidad completa en esta área.

Por tal motivo, puede ser objeto de un análisis de fases posteriores de instalación de una red de tercera generación incluir cobertura en interiores, destinando recursos a la instalación de sitios con menores áreas de cobertura como las microcélulas o picocélulas ya mencionadas cuando el análisis de tráfico y capacidad así lo ameriten.

## 4. Simulación de Implantación

### 4.1 Definición de Objetivos

Por medio de la simulación presentada en este capítulo pretendemos establecer una predicción del desempeño de una red con arquitectura de tercera generación así como un estimado de la infraestructura requerida para la provisión de servicios de comunicaciones móviles de tercera generación, y en consecuencia la viabilidad de la inversión en tal infraestructura así como los parámetros que rigen el diseño.

### 4.2 Desarrollo

En el entendido de que las dos tecnologías de radiotransmisión que hemos considerando preponderantes hacia un futuro cercano o más a largo plazo están basadas en CDMA, es decir cdma2000 y W – CDMA, nos hemos limitado a presentar la simulación para sólo una de estas tecnologías ya que, pese a las variantes técnicas que hacen incompatibles ambas tecnologías, el comportamiento de las coberturas y el desempeño del sistema a observar en la simulación serán aplicables a ambas.

Por lo tanto, a continuación se presentan una serie de predicciones de cobertura compuesta para un sistema móvil de Tercera Generación que utiliza W-CDMA como método de acceso. Aunque se muestran los parámetros y la información indispensables para la realización de predicciones, el único fin de las mismas, es demostrar el impacto en la cobertura de un sistema basado en el estándar IMT-2000, que presenta el número de usuarios y la tasa de transmisión que demandan sus servicios requeridos.

Hemos seleccionado la Ciudad de Saltillo, Coahuila, en virtud de la extensión y densidad de población de la misma, lo cual nos permite clasificarla como un mercado de demanda media, pero en el cual la morfología presenta condiciones propicias para un crecimiento importante debido a que cuenta con zonas residenciales, industriales y comerciales en partes significativas de su mancha urbana.

Esto no quiere decir, sin embargo, que se proponga a Saltillo como punto de lanzamiento de un sistema de tercera generación, ni para un operador con infraestructura presente en dicha área ni para un nuevo operador.

Para la realización de las predicciones de cobertura, se requiere contar con una herramienta de predicción, conocidas como herramientas de planeación celular (software) y bases de datos con la morfología, la topografía y una última con la información concerniente a las BTSs. En la herramienta de predicción se debe tener calibrada la base de datos con la morfología, de tal forma que cada tipo de morfología tenga asociado un valor de pérdidas para la señal de radiofrecuencia.

En la imagen de la figura 4.1 presentada enseguida mostramos la morfología, es decir el asentamiento y los usos del mismo, presentes en el área, en cuya leyenda se especifica cada uno.

Asimismo, en la imagen correspondiente a la figura 4.2 presentamos la topografía del terreno en la misma área.

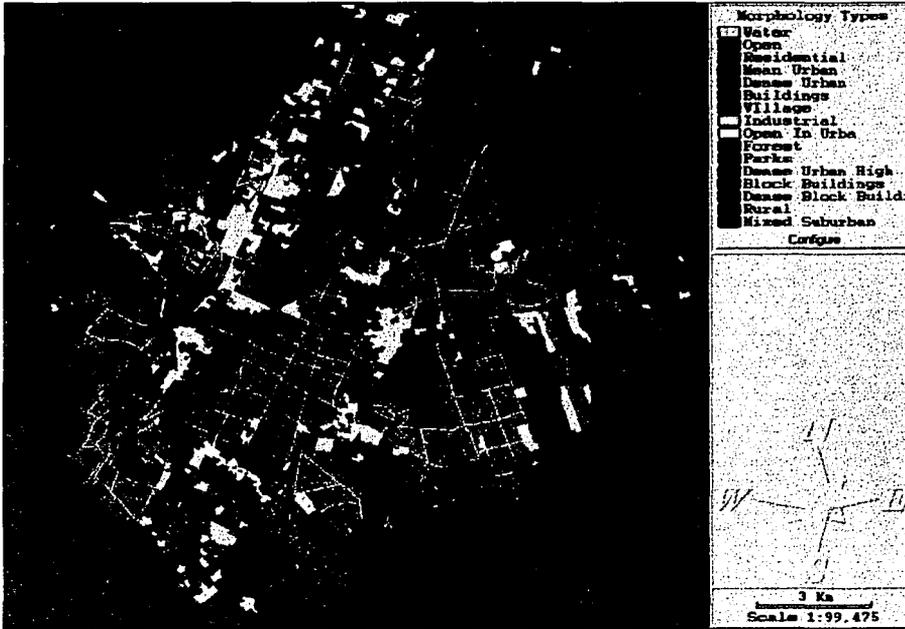


Figura 4.1. Morfología de la Ciudad de Saltillo.



Figura 4.2. Topografía de la Ciudad de Saltillo.

#### 4.- Simulación de Instalación

La base de datos que contiene las BTSs debe contener, para cada sector, información de coordenadas, altura, orientación e inclinación de la antena, tipo de antena, potencia de transmisión del radio, potencia de transmisión asignada a los canales de tráfico, longitud de feeder, pérdida por el tipo feeder utilizado, pérdida por conectores, número de conexiones, ganancia por diversidad, ganancia por amplificadores, la razón de Eb/Io requerida y el número de canales de tráfico del sector.

Adicionalmente la herramienta de predicción debe tener ciertos parámetros ajustados, como son tipo de acceso, ancho de banda del sistema, tasa de transmisión, factor de reuso, figura de ruido del transmisor y del receptor.

Tomando en cuenta que el área objetivo de cobertura es la zona urbana de la ciudad de Saltillo de acuerdo a la figura 4.1 anteriormente presentada, la tabla 4.3 a continuación muestra la base de datos que se utilizó para las predicciones:

# BTS	Latitud	Longitud	Sec	FC	Alt	Or	Inc	Antena	NPS	PF	LF	PC	NC
Cs01	25° 26' 22.52''N	100° 59' 34.04''W	A1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			A2	2.1	25	140	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			A3	2.1	25	260	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs02	25° 26' 4.36''N	100° 59' 42.23''W	B1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			B2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			B3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs03	25° 25' 46.23''N	100° 59' 50.26''W	C1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			C2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			C3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs04	25° 25' 49.01''N	100° 59' 28.85''W	D1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			D2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			D3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs05	25° 25' 28.23''N	100° 59' 58.15''W	E1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			E2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			E3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs06	25° 25' 43.7''N	101° 0' 11.4''W	F1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			F2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			F3	2.1	28	260	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs07	25° 25' 25.94''N	101° 0' 19.69''W	G1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			G2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			G3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs08	25° 26' 6.86''N	100° 59' 20.81''W	H1	2.1	25	20	1	65°ah 5°av 2°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			H2	2.1	25	140	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			H3	2.1	25	260	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs09	25° 26' 40.54''N	100° 59' 25.62''W	I1	2.1	25	20	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			I2	2.1	25	140	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			I3	2.1	25	260	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs10	25° 26' 43.26''N	100° 59' 4.37''W	J1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			J2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			J3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs11	25° 26' 58.83''N	100° 59' 17.8''W	K1	2.1	25	20	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			K2	2.1	25	140	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			K3	2.1	25	260	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs12	25° 26' 19.9''N	100° 59' 55.3''W	L1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			L2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			L3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs13	25° 27' 16.76''N	100° 59' 9.58''W	M1	2.1	25	20	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			M2	2.1	25	140	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			M3	2.1	25	260	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs14	25° 26' 24.95''N	100° 59' 12.88''W	N1	2.1	25	20	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			N2	2.1	28	140	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			N3	2.1	25	260	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs15	25° 27' 35.02''N	100° 59' 1.5''W	O1	2.1	28	20	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			O2	2.1	28	140	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			O3	2.1	28	260	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs16	25° 26' 1.59''N	101° 0' 3.58''W	P1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			P2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			P3	2.1	28	260	1	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4

**Tabla 4.3.** Base de Datos de BTS consideradas

Tercera generación de comunicaciones inalámbricas en México

Cs17	25° 26' 38.34''N	100° 59' 47.02''W	Q1	2.1	25	20	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Q2	2.1	25	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Q3	2.1	25	260	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs18	25° 28' 11.77''N	100° 58' 48.4''W	R1	2.1	28	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			R2	2.1	28	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			R3	2.1	28	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs19	25° 28' 5.85''N	100° 59' 28.75''W	S1	2.1	28	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			S2	2.1	28	140	0	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			S3	2.1	28	260	1	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs20	25° 27' 40''N	100° 58' 19.43''W	T1	2.1	28	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			T2	2.1	28	140	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			T3	2.1	28	260	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs21	25° 28' 14.88''N	100° 58' 8.05''W	U1	2.1	28	355	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			U2	2.1	28	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			U3	2.1	28	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs22	25° 27' 3.99''N	100° 58' 35.32''W	V1	2.1	28	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			V2	2.1	28	140	0	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			V3	2.1	28	260	0	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs23	25° 25' 54.87''N	100° 58' 47.88''W	W1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			W2	2.1	25	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			W3	2.1	28	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs24	25° 26' 28.19''N	100° 58' 51.41''W	X1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			X2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			X3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs25	25° 26' 16.85''N	101° 0' 17.39''W	Y1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Y2	2.1	25	140	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Y3	2.1	25	260	3	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs26	25° 26' 32.82''N	100° 58' 8.89''W	Z1	2.1	28	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Z2	2.1	28	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Z3	2.1	28	260	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs27	25° 25' 57.24''N	100° 58' 25.66''W	Aa1	2.1	28	20	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Aa2	2.1	28	140	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Aa3	2.1	24	260	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs28	25° 25' 15.6''N	100° 59' 23.93''W	Ab1	2.1	28	20	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ab2	2.1	28	140	1	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ab3	2.1	28	260	1	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs29	25° 25' 21.75''N	100° 58' 41.11''W	Ac1	2.1	28	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ac2	2.1	28	140	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ac3	2.1	28	260	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs30	25° 26' 11.99''N	101° 0' 59.27''W	Ad1	2.1	32	20	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ad2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ad3	2.1	32	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs31	25° 26' 42.78''N	100° 56' 43.57''W	Ae1	2.1	32	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ae2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ae3	2.1	32	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs32	25° 25' 9.6''N	101° 0' 8.13''W	Af1	2.1	25	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Af2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Af3	2.1	32	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs33	25° 23' 58.3''N	101° 0' 39.54''W	Ag1	2.1	32	20	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ag2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ag3	2.1	32	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs34	25° 25' 0.69''N	101° 1' 32.47''W	Ah1	2.1	32	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ah2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ah3	2.1	32	260	1	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs35	25° 24' 7.22''N	100° 59' 14.3''W	Ai1	2.1	32	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ai2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ai3	2.1	32	260	0	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs36	25° 27' 0.56''N	101° 1' 17.12''W	Aj1	2.1	32	20	0	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Aj2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Aj3	2.1	32	280	0	65°ah 5°av 2* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs37	25° 23' 47.77''N	101° 2' 2.08''W	Al1	2.1	32	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Al2	2.1	32	140	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Al3	2.1	28	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs38	25° 24' 39.86''N	100° 59' 40.5''W	Am1	2.1	28	20	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Am2	2.1	28	140	2	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Am3	2.1	28	260	0	65°ah 5°av 4* 15dBd	1	5	30	0.5	4

Tabla 4.3. (Continuación)

#### 4.- Simulación de Instalación

Cs39	25° 25' 31.25''N	100° 57' 17.11''W	Am1	2.1	32	20	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Am2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Am3	2.1	32	260	1	65°ah 5°av 2°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs40	25° 24' 26.9''N	100° 56' 45.12''W	An1	2.1	32	0	2	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			An2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			An3	2.1	32	250	1	65°ah 5°av 2°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs41	25° 23' 19.88''N	100° 58' 54.59''W	Ao1	2.1	32	20	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ao2	2.1	32	140	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ao3	2.1	32	260	0	65°ah 5°av 2°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
Cs42	25° 24' 2.55''N	100° 57' 34.77''W	Ap1	2.1	32	30	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ap2	2.1	32	180	0	65°ah 5°av 4°t 15dBd	1	5	30	0.5	4
			Ap3	2.1	32	290	0	65°ah 5°av 2°t 15dBd	1	5	30	0.5	4

**Tabla 4.3.** (Continuación)

Donde:

Sec – Número del sector.

FC – Frecuencia central de la portadora [GHz].

Alt – Altura del centro de radiación (antena) [m].

Or – Orientación de la antena [°].

Inc – Inclinación mecánica de la antena [°].

Antena – Tipo de antena utilizado. Se utilizaron antenas de 65° de apertura horizontal, 5° de apertura vertical, 15 dBd de ganancia y 2° ó 4° de inclinación magnética.

NPS – Número de portadoras por sector.

PF – Pérdidas por tipo de feeder [dB/100m].

LF – Longitud del feeder [m].

PC – Pérdidas por conexión [dB].

NC – Número de conexiones por sector.

Debido a que pertenece a la optimización de la red, aún cuando no está exento de considerarse en el diseño inicial para aumentar la cobertura de las células y la sensibilidad de las BTSs, no se consideró el uso de amplificadores adicionales en el uplink. Las coordenadas de referencia están en el sistema de referencia geográfica NAD27 (*North American Datum, 1927*). Sobre decir que dichas coordenadas deben ser consistentes con las coordenadas en las que se encuentra la base de datos de topografía y morfología del lugar en cuestión.

En lo que respecta a los parámetros del sistema se consideraron los valores contenidos en la tabla 4.4

Parámetro	Valor
Ancho de Banda de la Portadora	5 MHz
Atenuación Estándar del Medio	35 dB/Dec
Desviación Estándar de la Atenuación del Medio	8 dB
Potencia Máxima de Salida para el Radio en Cada Sector	20 Watts
Figura de Ruido de la BTS	5 dB
Potencia Máxima de Salida considerada para el MS	1 Watt
Figura de Ruido de la MS	8 dB
Resolución de las Predicciones Individuales y Compuestas	1" (equivalente a 27 m <sup>2</sup> )

**Tabla 4.4.** Parámetros de la Simulación

Adicionalmente se consideró que los abonados no presentaban movimiento alguno, es decir, sin movilidad (cabe mencionar que la calidad del enlace se ve afectada al aumentar la velocidad de las MSS).

Se consideraron los fenómenos de desvanecimiento corto o lognormal y largo o de Rayleigh en el medio de transmisión.

La herramienta de predicción se basa en el modelo de "Lee y Picquenard" (Este modelo considera un parámetro para atenuación de la señal en 1 milla y una pendiente por decada para cada morfología).

La relación de energía de bit requerida ante interferencia promedio ( $E_b/I_o$ ) está evidentemente en función de la tasa de transmisión, toda vez que ante una potencia efectivamente radiada invariable y un incremento en la tasa de bits transmitidos por periodo de tiempo, la energía individual de cada uno baja, en tanto que la interferencia no se afecta por este cambio en la tasa de transmisión. Esta relación se aprecia en la figura 4.5.

Tasa de Transmisión [kbps]	$E_b/I_o$
8	4.1
16	3.1
32	2.7
64	2.4
128	2.3
256	2.2
384	2.15
512	2.12
1024	2.1
2048	2.08

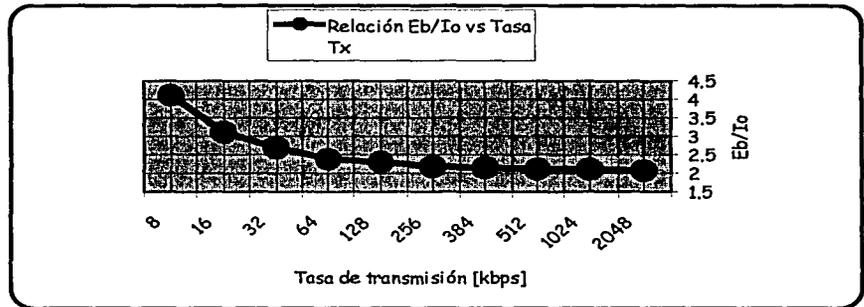
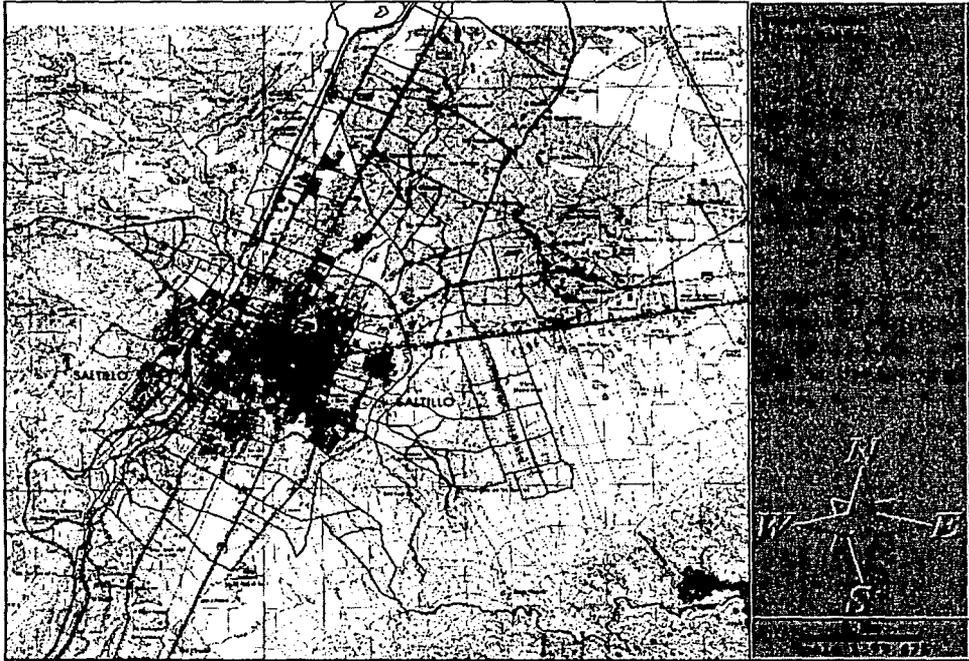


Figura 4.5. Relación de  $E_b/I_o$  contra la Tasa de Transmisión

En realidad, la imagen y las trazas urbanas, presentadas en la figura 4.6, no son de utilidad para la realización de las predicciones, aunque sirven como referencia para ubicar las zonas con mayor importancia. Las zonas mas importantes en un diseño, son las zonas densamente urbanas, las zonas industriales y las principales avenidas, pues estas zonas son las que aportarán el mayor tráfico al sistema y por tanto van a generar mayores ingresos económicos. Estas zonas con mayor importancia definitivamente deben considerarse para la realización del diseño; se deben asegurar: cobertura, calidad y recursos suficientes para satisfacer la demanda. Además, es indispensable conocer las zonas menos importantes, como son las zonas abiertas, áreas verdes, lagos y las zonas suburbanas, a fin de evitar la inversión innecesaria de BTSs y demás recursos asociados, puesto que la reducción en la calidad del servicio en estas zonas, no es crítica.

#### 4.- Simulación de Instalación



**Imagen 4.6.** Imagen y Traza Urbana de la Ciudad de Saltillo

El Grid de la figura 4.7 es solamente un idealización de la ubicación de las BTSS, así como de la orientación de los sectores. En la realidad, el grid puede utilizarse para tener una idea de a que área debe brindar cobertura una BTS, independientemente de la coordenada que tenga y de la orientación de los sectores; también sirve como un esquema de crecimiento ordenado, a medida que se requiere de nuevos sitios para satisfacer la demanda.

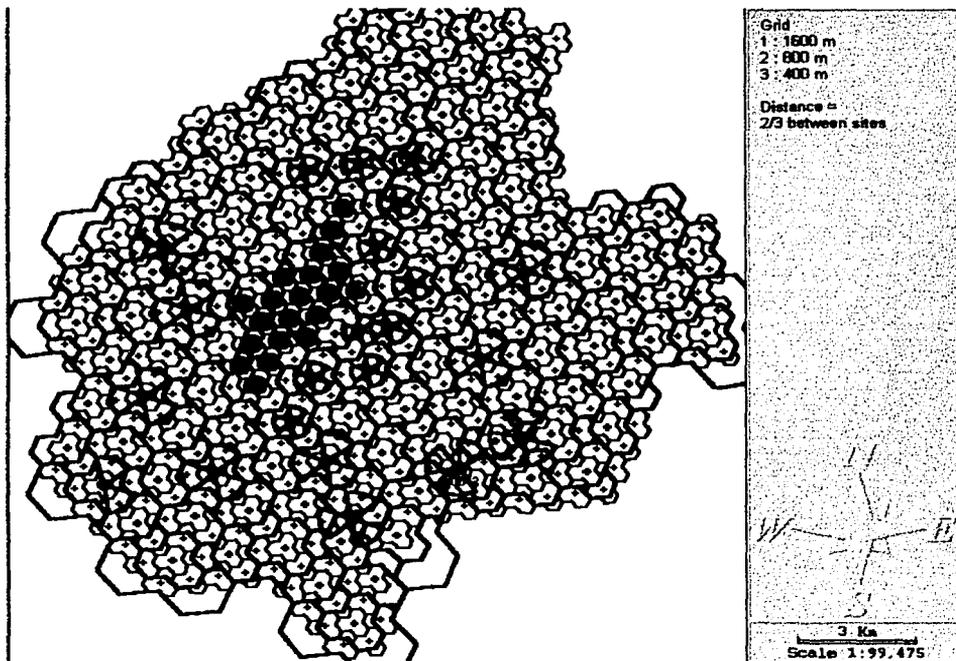


Figura 4.7. Grid de colocación de BTSs para la Simulación.

Una vez recabados los datos y ajustados los parámetros en la herramienta de predicción, se pueden generar las predicciones.

Se realizaron las predicciones correspondientes a 4 casos distintos, a fin de mostrar la variaciones en la cobertura, como función del número de canales de tráfico y de la tasa de transmisión del servicio requerido.

En el primer caso se considera emplear 20 canales con un servicio que requiere de una tasa de transmisión de 256 kbps. Cabe destacar que este caso fue el que se consideró para la realización del diseño, a fin de mostrar con mayor claridad la variación en las coberturas.

La cobertura correspondiente es la de las figuras 4.8 y 4.9.

#### 4.- Simulación de Instalación



Figura 4.8. 256 kbps – 20 canales (Predicción Compuesta del área de Servicio)

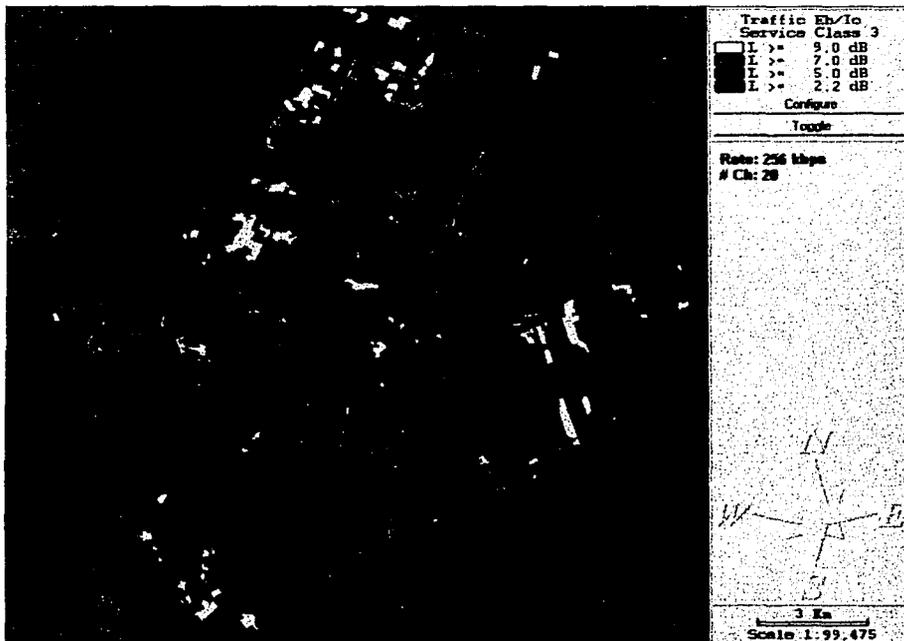


Figura 4.9. 256 kbps – 20 canales (Predicción Compuesta de los canales de tráfico)

### Tercera generación de comunicaciones inalámbricas en México

---

En el segundo caso se considera una utilización de solamente 2 canales con un servicio que requiere de una tasa de transmisión de 256 kbps; la disminución de los canales tiene como objetivo observar el incremento en la cobertura con respecto al primer caso, aún manteniendo constante la tasa de transmisión requerida.

En este caso las predicciones de cobertura correspondientes se aprecian en las imágenes 4.10 y 4.11 a continuación.

#### 4.- Simulación de Instalación

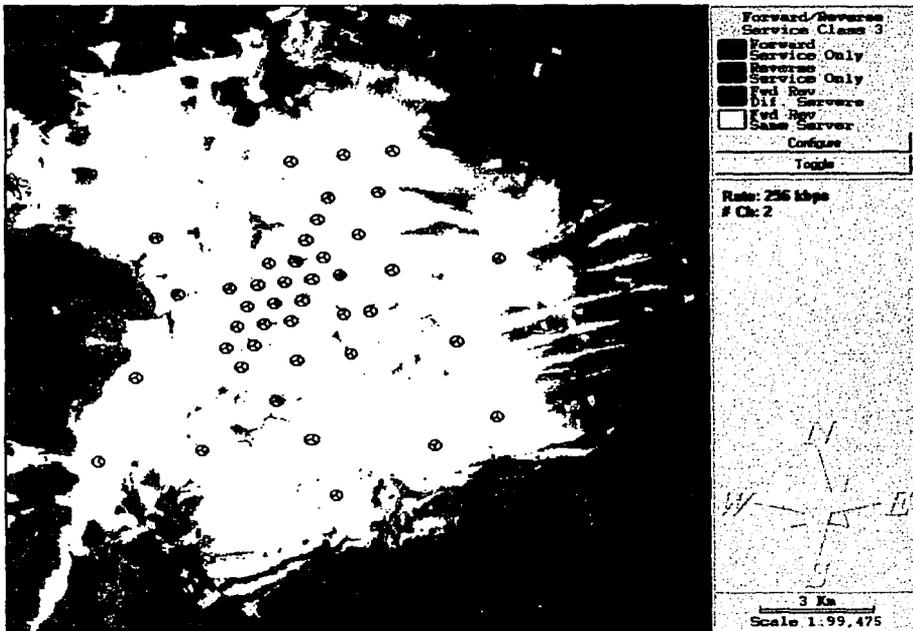


Figura 4.10. 256 kbps – 2 canales (Predicción Compuesta del área de Servicio)

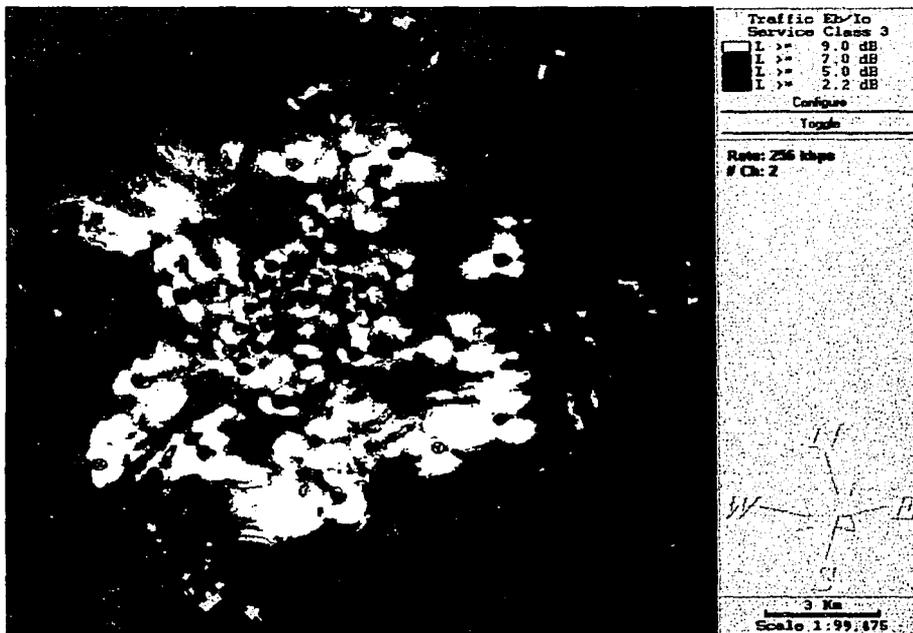


Figura 4.11. 256 kbps – 2 canales (Predicción Compuesta de los canales de tráfico)

En el tercer caso se considera una utilización de 4 canales con un servicio que requiere de una tasa de 2048 kbps; el aumento en la tasa de transmisión tiene como objetivo observar la disminución de la cobertura con respecto al segundo caso, aún manteniendo un número mínimo de canales.

Estas coberturas son las presentadas en las figuras 4.12 y 4.13 enseguida.

4.- Simulación de Instalación

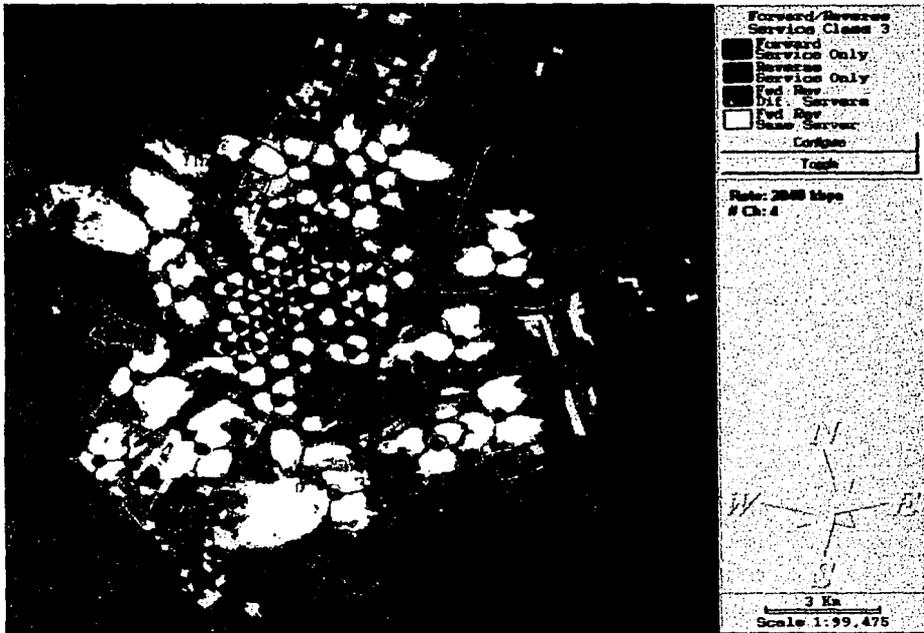


Figura 4.12. 2048 kbps – 4 canales (Predicción Compuesta del área de Servicio)

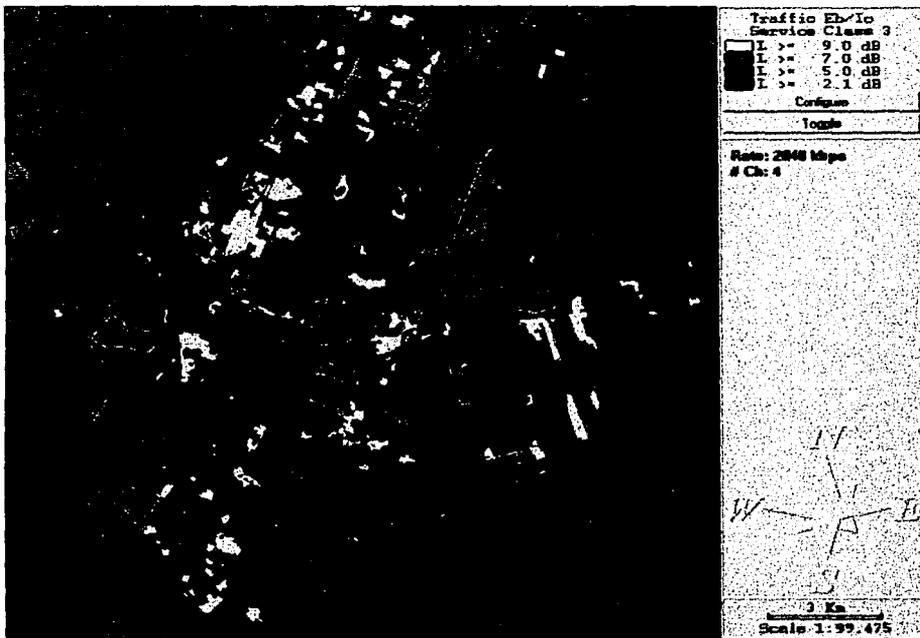


Figura 4.13. 2048 kbps – 4 canales (Predicción Compuesta de los canales de tráfico)

Finalmente, en el cuarto caso se considera una utilización de 80 canales con un servicio que requiere de una tasa de transmisión de 14.4 kbps; la disminución en la tasa de transmisión tiene como objetivo observar el aumento en la cobertura con respecto al primer caso, aún cuando el número de canales aumento 4 veces.

Este caso es el correspondiente al presentado por las coberturas de las figuras 4.14 y 4.15 de la siguiente página.

4.- Simulación de Instalación

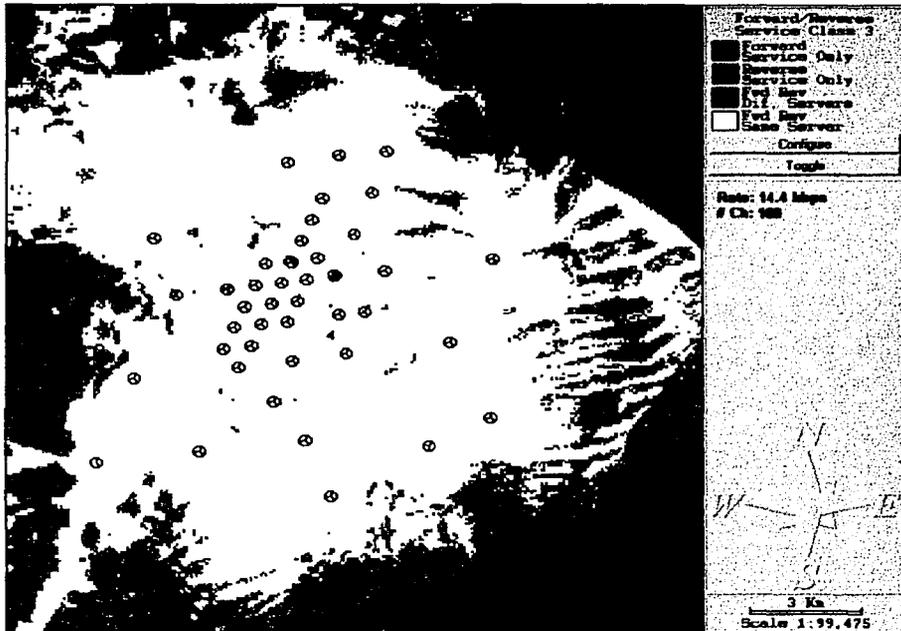


Figura 4.14. 14.4 kbps – 100 canales (Predicción Compuesta del área de Servicio)

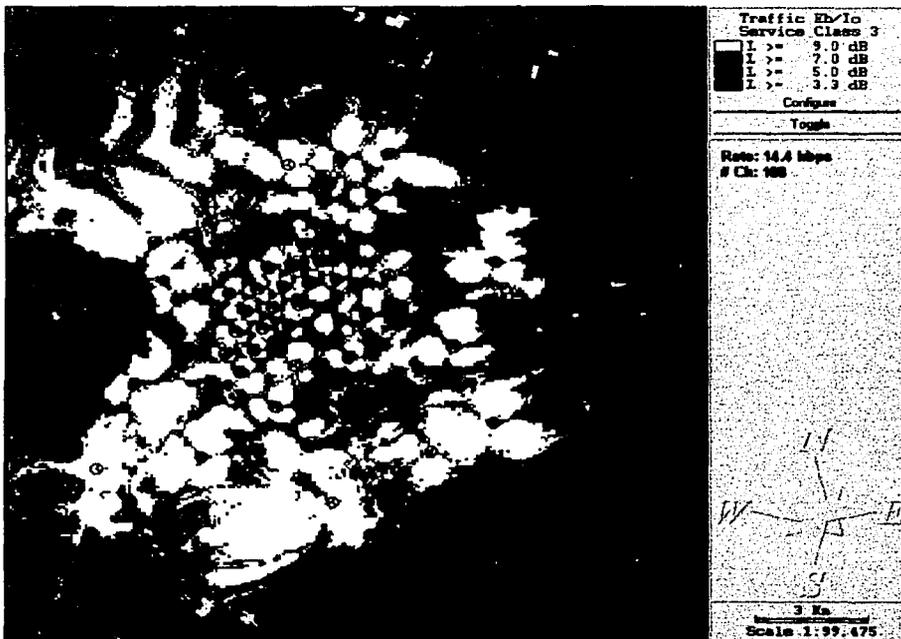


Figura 4.15. 14.4 kbps – 100 canales (Predicción Compuesta de los canales de tráfico)

### 4.3. Resultados

Lo mas importante que se puede concluir de las predicciones es:

- La cobertura aumenta a medida que la tasa de transmisión del servicio requerido disminuye.
- La cobertura disminuye a medida que el número de canales aumenta.

Por ende, es indispensable definir la tasa de transmisión y la demanda de servicios, antes de comenzar el diseño, a fin de asegurar cobertura, calidad y servicio, pero considerando la parte económica del proyecto, que se refleja como recuperación de la inversión y ganancias para la empresa. Cabe mencionar que la capacidad brindada por la parte de RF, debe complementarse con los recursos considerados para la parte de transmisión. En el caso de tener una interface de RF sobrada, se estarían desperdiciando recursos de transmisión, que representan pérdidas para la empresa, dados los costos para cada enlace E1 rentado. En el caso contrario, no se podrían asignar canales a ciertos usuarios, por lo que se estarían limitando las ganancias, dejando de cursar cierta proporción de tráfico demandado.

## CONCLUSIONES

La instalación a redes de CDMA2000 será la alternativa más barata y rápida para operadores que trabajen actualmente con IS-95B. Esto no quiere decir, sin embargo, que CDMA2000 sea la mejor opción para tercera generación.

En otros casos, incluso teniendo en cuenta W – CDMA como tecnología de radiotransmisión de tercera generación, se requerirá un esquema de convivencia entre las redes actuales y futuras, que puede ser en la misma banda o fuera de la banda de operación actual para comunicaciones personales inalámbricas.

En lo que respecta a las consideraciones previas al diseño, es necesario considerar una tasa de transmisión máxima con la que se garantice calidad y acceso a los usuarios, y para ello definir los servicios que la red inalámbrica de tercera generación será capaz de proporcionar en los diferentes ambientes de movilidad y morfología. En este sentido se plantea como posibilidad viable el acceso a Internet, mas no algunos servicios como: videoconferencia en tiempo real o servicios de multimedia de alta velocidad en un medio inalámbrico móvil. Esto permite dimensionar la cantidad de sitios celulares requeridos para garantizar, desde el punto de vista de radiofrecuencia, tal tasa de transmisión en un área objetivo de cobertura con una demanda de tráfico determinada y, por lo tanto, la infraestructura de la red inalámbrica necesaria para la interconexión y operación de los sitios celulares.

En el caso de la tercera generación, la tasa de transmisión garantizada es un parámetro fundamental ya que, considerando que prevalece el modo de acceso basado en CDMA para estas redes inalámbricas, el efecto de "cell breathing" está presente para cada tasa de transmisión, por lo que en consecuencia se tienen diferentes huellas de cobertura para diferentes horas del día, constituyendo una red muy dinámica en cuanto a capacidad y relación de Eb/No, de acuerdo a la demanda de los servicios y para distintas zonas del área objetivo de la cobertura.

De tal manera, para una potencia fija asignada a los sectores de la red, a fin de disponer de un área de cobertura establecida, la capacidad, es decir, el número de canales disponibles se reduce a manera que se incrementa la tasa de transmisión; recíprocamente, en caso de requerirse conservar la capacidad de una celda en cuanto al número de canales de tráfico, esto implica una disminución en el área de cobertura de la celda ante una mayor densidad de móviles en el área.

En cuanto al área de cobertura de los sitios, podemos establecer que, debido a la frecuencia en la que se propone operar el sistema, entre 1900 a 2100 MHz, la atenuación debida a la propagación por el medio es mayor que en el caso de un sistema celular operando en la banda de 800 MHz y aproximadamente igual a la que presentan los sistemas de comunicaciones personales operando en la banda de 1900 MHz en México; por consiguiente la relación entre el número de BTSs a emplearse para los sistemas de 3G es de 1 a 1 con respecto al número de BTSs empleadas en la banda de 1900 MHz, y de 2 a 1 con respecto al número de BTSs empleadas en la banda de 800 MHz (para las ciudades).

Considerando lo anterior, es de esperarse la instalación de sistemas de tercera generación en ciudades, con un número de sitios relativamente alto, en tanto que para zonas rurales es conveniente considerar alternativas de instalación, tales como sistemas satelitales de comunicaciones inalámbricas basados en LEO's, MEO's o GEO's para la provisión de servicios de datos inalámbricos.

Existen ya desarrollos importantes en relación a la instalación de las redes, incluyendo la licitación de las bandas en países europeos, que confirman el ingreso de W-CDMA como tecnología por instalarse. Debemos tener en cuenta, sin embargo, que en el caso de México aún cuando el desarrollo de acceso a las redes de datos alámbricas tales como Internet ha sido sostenido y, de algún modo, ha observado un crecimiento exponencial importante en los últimos años, esto no implica de por sí que el mercado inalámbrico esté preparado para entrar a dicho ritmo de evolución debido tanto a la oferta como a la demanda. En el primer caso podemos decir que las alternativas tecnológicas actuales, tanto de CDMA como de TDMA existentes en México no han inducido a los usuarios de teléfonos celulares a adoptar esquemas de acceso a datos como el servicio de mensajes cortos (SMS), es por ello que la instalación de los sistemas de tercera generación de comunicaciones móviles no será inmediata en México.

## **A. TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES: EGPRS.**

### **A.1 EGPRS**

EGPRS en la línea evolutiva escogida por la UWCC (Universal Wireless Communications Consortium), que además busca una convergencia de los estándares GSM e IS-136 para los servicios celulares de 3G.

El concepto de EGPRS es una evolución de GSM: utiliza tecnología de paquetes conmutados basándose en TDMA con canales de 200 kHz, una estructura de frames similar a GSM y un núcleo de red GPRS evolucionada, basado en paquetes conmutados. Las especificaciones de EGPRS necesitan desarrollarse en fases.

La primer fase es GPRS, que especifica un núcleo de red de paquetes conmutados y una interface de aire basada en la modulación GMSK. GPRS está diseñado para servicios de paquetes de datos tipo best-effort. Se tienen dos ventajas con respecto a GSM:

Un núcleo de red con paquetes conmutados, que permite ofrecer servicios basados en IP, como el acceso a Internet, de una forma eficiente. Dicha red consta de dos tipos de ruteadores: el SGSN y el GGSN. Los subsistemas de las estaciones base (BSSs) se conectan a su SGSN. El SGSN sirve como el ruteador de acceso a la red GPRS, y el GGSN sirve como el ruteador gateway que conecta la red GPRS con otras redes de paquetes de datos.

Un diseño con un protocolo data-friendly: Por data-friendly, se entiende que el conjunto de protocolos tienen mecanismos que soportan el tráfico en forma de ráfagas (*bursty*) de forma eficiente.

La fase actual de especificaciones EGPRS, que está cerca de terminar, continua con el uso de la red GPRS e introduce una nueva interface de aire llamada Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM (Enhanced Data Rate for GSM Evolution – EDGE), para soportar mayores tasas de datos. Esto esta acompañado principalmente por el uso de una modulación de mayor nivel (8-PSK). Con esta mejora el sistema puede alcanzar tasas sobre los 384 kb/s.

Anticipando la demanda de servicios de paquetes de datos, varios operadores planean sobreponer esta red EGPRS en los sistemas de voz celulares actuales. La voz o datos de circuitos conmutados fluye con una trayectoria desde la BSS hacia la MSC, y continua hacia la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN). Por otro lado, el tráfico de datos por paquetes conmutados continua la ruta de la BSS hacia la SGSN, luego sobre la red GPRS hacia la GGSN, y continua hacia una red de paquetes de datos. Por razones de integración de la red, de utilización de la red y de costos de operación, es deseable mover eventualmente todo el tráfico a la red GPRS basada en IP y eliminar la necesidad de una red separada basada en circuitos conmutados. Esta es la meta de la siguiente fase de especificaciones EGPRS. Para lograr dicha meta deben realizarse mejoras a la interface de aire y a la red EGPRS. En particular, debe mejorar el funcionamiento del SGSN y del GGSN, que serán nombrados E-SGSN y E-GGSN. De forma similar, para la interface de aire se desean multiplexar diferentes servicios por el mismo canal de radio.

En particular, se asume que las clases de servicio establecidas en la siguiente tabla necesitan ser soportadas por EGPRS, las cuales son las clases de servicio definidas actualmente por UMTS.

Clases de Tráfico	Clase para conversación	Clase para flujos	Clase interactiva	Clase para background
Características fundamentales	-Preservar una relación de tiempo entre entidades de información del stream -Patrón de conversación (retraso estricto y pequeño)	-Preservar una relación de tiempo entre entidades de información del stream.	-Patrón petición respuesta. -Mantener el contenido de la carga útil.	-El destino no está esperando los datos dentro de cierto tiempo. -Preservar el contenido de la carga útil.
Aplicaciones	Voz	Video de tipo streaming	Navegación en Internet	Descarga de e-mails

**Clases de Tráfico Soportadas por EGPRS**

Varían desde la clase para conversación (voz), que impone un requerimiento de retraso muy estricto, hasta la clase de background (datos transmitidos en forma best-effort), que impone un requerimiento de retraso relativamente holgado. El requerimiento para soportar un servicio de voz también implica requerimientos en la tasa de errores muy estrictos, que resultan de la inhabilidad para depender de retransmisiones para mejorar el desempeño.

En contraste, las especificaciones actuales de EGPRS están diseñadas principalmente para servicios de datos de tipo background con algunas clases de calidad del servicio (QoS) definidas, para las cuales se tienen consideraciones de retraso holgadas. Para soportar de forma eficiente el rango de servicios definidos, se necesitan diversas capacidades nuevas o mejoradas, de las cuales algunas se muestran a continuación:

- Multiplexado de diversos servicios sobre la interface de aire: Para multiplexar servicios en tiempo real e interactivos, se necesita una alta capacidad de acceso en el uplink y una alta asignación de recursos tanto para uplink como para downlink.
- Diferenciación de servicios en la BSS: En las especificaciones actuales, solamente el SGSN tiene acceso al perfil de QoS de cada conexión. Dado que el segmento de radio es el punto de congestión más probable de la conexión, se desea que la BSS participe en la administración de QoS.
- Garantías de QoS punto a punto: Para garantizar QoS punto a punto, tanto la red EGPRS como la red externa deben ser consideradas en la estación de negociación del servicio.
- Reselección de celdas y handoff rápidos: Esto identifica una debilidad en las especificaciones corrientes EGPRS, donde una transferencia de datos activa se suspende mientras la terminal se mueve a una nueva RBS.
- Diseños optimizados para un grupo de aplicaciones selectos: Aunque el diseño de mecanismos enfocados hacia cada posible aplicación va en contra del propósito de una solución integral, es, sin embargo, útil diseñar soluciones específicas enfocadas para un grupo selecto de aplicaciones (voz o datos en streams).

En la parte del diseño de un protocolo de RLC/MAC que facilite los servicios integrados basados en paquetes, se tiene propuesto:

**Un nuevo grupo de canales de control:** Estos canales rápidos de control de datos habilitan el acceso rápido en uplink y la asignación de recursos para llamadas en curso. Los canales de control consisten de 2 canales para el downlink:

- 1 Canal de Permiso de Acceso Rápido de Paquetes (F-PAGCH : Fast Packet Access Grant Channel)
- 1 Canal de Censo Rápido de Paquetes (F-PPCH : Fast Packet Polling Channel)

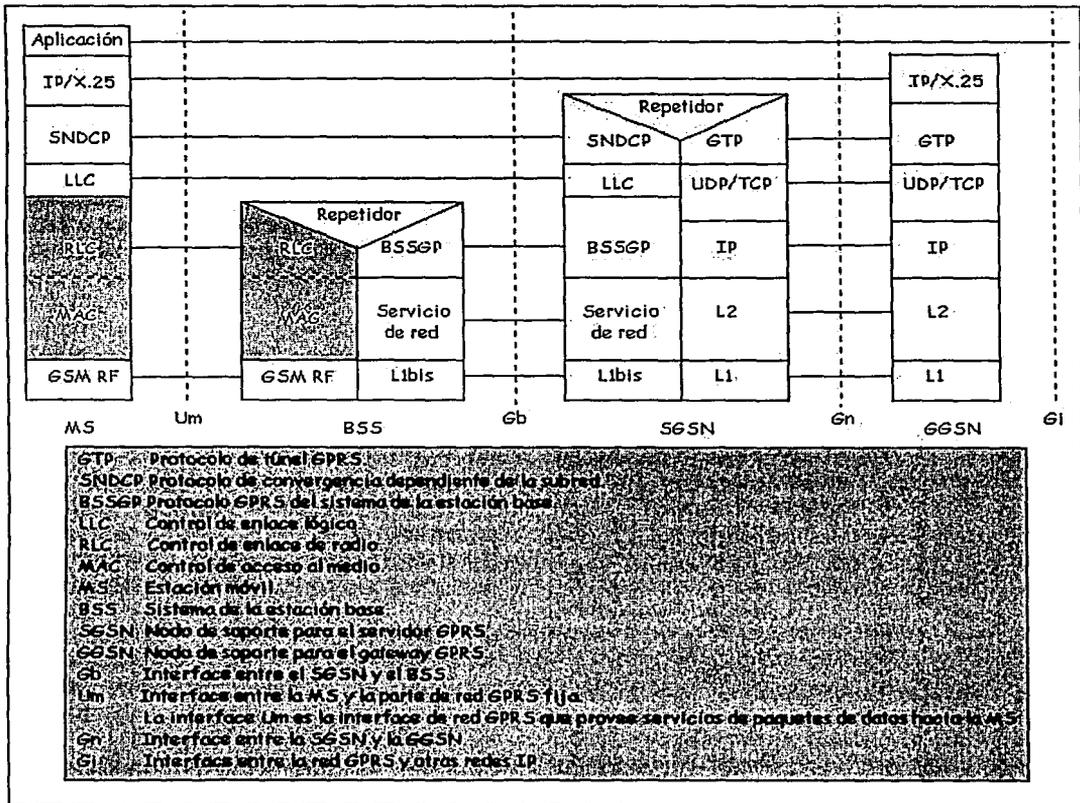
y 1 canal para el uplink:

- 1 Canal de Acceso Rápido de Paquetes (F-PACH : Fast Packet Access Channel).

**Un protocolo de acceso rápido en el uplink:** Este protocolo se habilita por los canales de control recién definidos.

**Un nuevo mensaje de acceso:** La carga útil del mensaje de acceso rápido en el uplink debe contener el identificador usuario/servicio para facilitar el acceso rápido en el uplink y la diferenciación en el servicio.

**A.1.1. Capacidad RLC/MAC en EGPRS**



Conjunto de protocolos E-GPRS

EGPRS soporta aplicaciones basadas en IP y X.25, y potencialmente otros protocolos de datos (aún no especificados). Los protocolos específicos de EGPRS se emplean dentro de la red EGPRS. Para transferencias entre los nodos de soporte (GGSN, SGSN ,etc) dentro de la red GPRS, el paquete IP ó X.25 primero se encapsula usando el protocolo de túnel de GPRS (GTP). La Unidad del Paquete de Datos (PDU) del GTP se rutea después usando ya sea TCP (para una aplicación basada en X.25) ó UDP (para una aplicación IP) sobre el backbone de la red GPRS basada en IP.

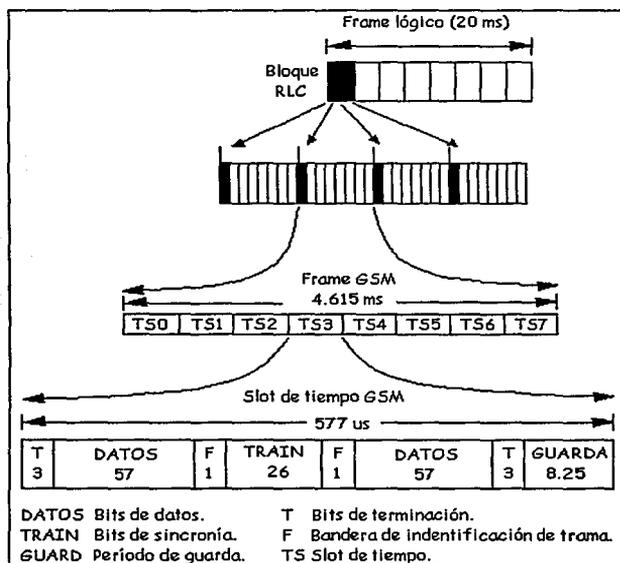
Para la transferencia de paquetes IP ó X.25 entre el SGSN y la MS, EGPRS usa un diferente grupo de protocolos. El protocolo SNDCP mapea las características de la capa de red en características específicas de la red original. El LLC provee un canal lógico seguro entre el SGSN y cada MS. Las PDUs del LLC se transmiten sobre en enlace de radio usando los servicios de la capa RLC/MAC. La capa RLC/MAC provee un canal para bits que es el responsable de la transferencia de PDUs del LLC entre la BSS y la MS. En particular, esta capa es responsable por:

- Mapeo de los frames LLC hacia los canales físicos.
- Los procedimientos de señalización para acceso y resolución.
- Una opción de Requisición Automática (ARQ) a nivel de enlace que provee un canal redituable hacia la capa del LLC para transmisión de datos y señalización entre el SGSN y la MS.

El desempeño de la capa RLC/MAC determina, en gran parte, la eficiencia del multiplexaje y el retraso en el acceso a las aplicaciones EGPRS sobre la interface de aire.

### A.1.3. Frame EGPRS y Estructura de Datos

EGPRS emplea el mismo slot de tiempo y estructura de frame que GSM.



Slot de tiempo y Estructura del frame EGPRS

Cada frame GSM tiene una duración de 4.614 ms y consiste de 8 slots de tiempo. Una PDU del LLC se divide en un número apropiado de bloques RLC, y cada bloque RLC se codifica para luego ser intercalado en 4 slots de tiempo GSM, en 4 frames GSM consecutivos. Por lo tanto, la unidad lógica de asignación de recursos es 1 bloque RLC, y la unidad de transmisión en la capa física, son 4 slots de tiempo GSM. Existen discusiones actuales acerca de habilitar la asignación de recursos a nivel de 1 slot de tiempo GSM para obtener mejor asignación individual y mayor flexibilidad. Mientras tanto, se define a un grupo de 4 frames GSM como 1 frame lógico (20ms). La longitud de cada frame es de 18.5 ms. Sin embargo en una estructura multiframe consistente de 52 frames, se define de tal forma que cada frame número 13 se usa con propósitos distintos a la transmisión de datos. Incluyendo este encabezado, la longitud de cada frame lógico puede ser considerado igual a 20 ms.

#### **A.1.4 Capacidad de Multiplexaje**

La capa RLC/MAC de EGPRS está diseñada para soportar de manera eficiente múltiples flujos (streams) de datos en el mismo PDTCH, y para soportar 1 flujo de datos en múltiples canales. Por lo tanto, esto facilita el servicio al tráfico de tipo burst de forma espectralmente eficiente.

Cualquier transmisión de datos en EGPRS se completa usando una entidad llamada Flujo Temporal de Bloques (TBF). Un TBF es una conexión virtual que soporta una transferencia unidireccional de PDUs del LLC sobre canales físicos de paquetes de datos entre una MS y una BSS. Se mantiene por la duración de la transferencia de datos y comprende varios bloques RLC/MAC. Un TBF puede ser "open-ended" ó "close-ended". Un TBF close-ended limita a la MS a enviar cierta cantidad de datos que fueron negociados entre la MS y su base servidora durante el acceso inicial. Un TBF open-ended se usa para transferir una cantidad arbitraria de datos. Cada TBF está identificado por un identificador de flujo temporal (TFI). Un TFI consta de 7 bits de longitud para el uplink y de 5 bits de longitud para el downlink. El TFI es asignado por la BSS y es único en cada dirección. Los bloques RLC destinados a diferentes MSs se diferencian por sus TFIs agregados. Después de la terminación de la transferencia de datos, el TBF se termina y el TFI se libera.

El multiplexaje en el downlink de múltiples flujos de datos en el mismo PDTCH se completa mediante la asignación de un TFI único a cada transferencia de datos. Cada MS escucha a su grupo de canales asignados para el downlink y solamente acepta bloques RLC con sus respectivos TFI. Por lo tanto, la BSS puede comunicarse con una MS a través de cualquiera de los canales asignados a ésta, e incluso puede multiplexar diversos TBFs destinados a diferentes MSs, en el mismo canal físico.

El multiplexaje en el uplink se completa mediante la asignación a cada transferencia de datos un grupo de canales y una Bandera de Estado del Uplink (USF) para cada uno de estos canales. Varios móviles pueden ser asignados al mismo canal de tráfico en el uplink pero con diferentes USFs. La USF es de 3 bits de longitud, lo que implica que pueden multiplexarse hasta 8 distintas transferencias de datos en un canal. Debido a que el valor 111 para la USF está reservado, actualmente solo pueden multiplexarse 7 transferencias de datos en cada canal. La BSS usa un esquema de censo centralizado dentro de la banda de trabajo, para censar la MS deseada. Esto se completa mediante la asignación del valor de la bandera USF del canal de downlink correspondiente en el valor apropiado. Por lo tanto, una MS escucha todos los canales de tráfico de downlink que forman pareja con los canales de uplink asignados a ésta. Si su USF aparece en el canal de downlink, la MS utiliza el canal de uplink correspondiente en el siguiente frame lógico.

### A.1.5. Procedimientos para el Acceso Múltiple

EGPRS permite 2 tipos de procedimientos para transferencia de datos: acceso de 1 fase y acceso de 2 fases. En ambos casos, el procedimiento de acceso comienza cuando una MS envía una petición de acceso a una BSS sobre el PRACH. Esta petición de acceso se llama *Petición del Canal de Paquetes*, el cual ocupa un slot de tiempo GSM (esto es distinto al canal de tráfico de paquetes de datos, donde cada bloque de datos generalmente ocupa 4 slots de tiempo GSM).

Por lo tanto, si al PRACH se asigna 1 slot de tiempo por trama GSM, existen 4 oportunidades para acceder en cada frame lógico (20 ms). EGPRS usa un procedimiento de acceso aleatorio basado en slotted-Aloha para una resolución satisfactoria sobre el PRACH.

Número de bit	Longitud del campo	Contenido del campo
0 – 7	8	Bits extendidos de terminación
8 – 48	41	Secuencia de bits extendidos de sincronía
49 – 84	36	Bits encriptados
85 – 87	3	Bits de terminación
88 - 156	68.25	Período extendido de guarda (bits)

En la tabla se muestra el formato de un burst de acceso. Dado que la MS puede no tener información alguna del tiempo en el momento del acceso inicial, se usan 41 bits de secuencia de sincronía y un período de guarda extendido de 68.25 bits para el burst de acceso (un burst normal tienen 26 bits para la secuencia de sincronía y 8.25 bits para el período de guarda). El contenido de la información del burst de acceso es de 8 u 11 bits, que tiene un alto grado de codificación y encriptación en un bloque de 36 bits. Este campo de información indica la razón del acceso, que incluye la petición de acceso de 1 fase, la petición de acceso de 2 fases, respuesta al paging, etc. Además, también indica la clase del móvil y la prioridad de radio requerida. En algunos casos especiales (estas excepciones son si el acceso es una respuesta a un paging, o la razón del acceso es para transmitir un reporte de mediciones). En el segundo caso, la BSS distribuye un bloque (4 bursts) a la terminal para el reporte sin dar de alta un TBF, éste debe indicar el número de bloques a transmitir. En las especificaciones actuales, la petición de acceso no indica la identidad del móvil o de la conexión; y considerando las excepciones mencionadas, tampoco indica la cantidad de datos a ser transmitidos por el móvil. Esta es una de las debilidades del procedimiento de acceso actual de EGPRS, especialmente con relación a soportar servicios sensibles a los retrasos.

Después de recibir la petición de canal de paquetes, la BSS contesta con un mensaje *de Asignación de Uplink de Paquetes* sobre el PAGCH. En el procedimiento de 1 fase, el mensaje contiene la asignación de recursos para la MS (ejemplo: la portadora, slot de tiempo, USF y TFI). Sin embargo, nótese que hasta este momento la red no tiene conocimiento de la identidad de la MS ni del servicio requerido. Esta información la comunica la MS a la BSS usando un encabezado RLC extendido en los primeros bloques, para incluir por ejemplo, su Identificador de Enlace Lógico Temporal (TLLI). Cuando la red decodifica correctamente el TLLI, envía una confirmación a la MS en el mensaje *ACK/NACK de Uplink de Paquetes*. La fase de resolución para el acceso ahora ya se considera completa en el lado de la red, y después de la recepción exitosa del mensaje *ACK/NACK de Uplink de Paquetes*, también se considera completa en el lado de la MS.

En el procedimiento de acceso de 2 fases, después de recibir la petición de canal de paquetes, la BSS primero asigna a la MS un canal de señalización – un PACCH. La MS entonces envía una petición detallada de recursos usando dicho canal de señalización, en forma de mensaje de *petición de recursos de paquetes*.

Este mensaje contiene el TLLI de la MS y los detalles del servicio requerido. En respuesta a esta petición, la BSS asigna los recursos que se le pidieron usando otro mensaje de asignación de uplink de paquetes. La MS puede comenzar la transmisión de datos, solamente después de recibir esta asignación.

La opción de cual de estos 2 procedimientos se usará en una situación dada, se deja al operador del sistema celular. La diferencia esencial entre ambos procedimientos es que en el procedimiento de 1 fase, la transferencia de datos en el uplink comienza al mismo tiempo que se hace la negociación de los servicios y la verificación del móvil, mientras que en el procedimiento de 2 fases, la transferencia de datos en el uplink comienza hasta después de que la verificación del móvil y la negociación de los servicios hayan concluido. Dado esto, el procedimiento de 1 fase puede ser mas rápido que el procedimiento de 2 fases en situaciones en las que una negociación de servicio en trámite sea aceptable desde el punto de vista del sistema y de las aplicaciones. Por otra parte, el procedimiento de acceso de 2 fases se usa en los sistemas GSM de 2G; por esto, se prefiere en EGPRS por razones de compatibilidad.

#### **A.1.6 Capacidades Adicionales Requeridas Para Soportar Servicios Integrados**

Para ser espectralmente eficiente, se necesita multiplexar varias sesiones o servicios en el mismo grupo de canales. Para muchas aplicaciones de datos, esto implica que se necesita acceso para una sesión en proceso. Sin embargo, los procedimientos de acceso vistos anteriormente son innecesariamente lentos para una sesión en proceso. Esto es porque:

- La MS no está identificada en la petición inicial de acceso.
- Existe un elaborado proceso de señalización, que no es necesario para una sesión en proceso.

Para lograr lo anterior, se necesita mejorar el diseño del RLC/MAC actual para soportar eficientemente el acceso para una sesión en proceso. Se necesitan las siguientes capacidades:

- Acceso rápido en el uplink durante una sesión en proceso.
- Asignación rápida de recursos tanto para el uplink, como para el downlink.

#### **A.1.7. Canales Rápidos de Control de Datos**

Están propuestos un nuevo grupo de canales de control comunes para proveer las capacidades adicionales anteriormente vistas. Estos canales son similares a los canales de control comunes requeridos para iniciar una llamada con una diferencia: están diseñados para sesiones en proceso. Mientras que el control en proceso tiene un requerimiento de retraso mas estricto que el control para inicio de sesión, también tiene un encabezado de señalización mas pequeño, que hace posible cumplir con los requerimientos de retraso. Los canales de control propuestos son los siguientes:

- Canal de Acceso Rápido de Paquetes (F-PACH) para el uplink.
- Canal de Permiso de Acceso Rápido de Paquetes (F-PAGCH) para el uplink.
- Canal de Censo Rápido de Paquetes (F-PPCH) para el downlink.

Estos canales podrían ubicarse en slots de tiempo específicos de ciertas portadoras escogidas. Cada par de F-PACH y F-PAGCH / F-PPCH puede transportar la petición de acceso rápido en el uplink, permiso de acceso, censo, y mensajes de respuesta al censo para un grupo de frecuencias portadoras.

## **F-PACH**

La estructura del F-PACH es similar a la del PRACH (GPRS), en el sentido de que los mensajes son transmitidos en bursts individuales, no intercalados durante los bursts. La diferencia entre éstos, es que debido a que el F-PACH se usa exclusivamente para llamadas en proceso, el mensaje de *petición del canal rápido de paquetes*, enviado en el F-PACH, contiene información del TBF específico al que se está haciendo referencia. (ejemplo: el TFI del uplink asignado a la MS y otra información relevante). Basándose en esta información, la base puede identificar a la MS en particular y su aplicación específica, y por lo tanto, asignar rápidamente los recursos necesarios para el uplink.

La F-PACH puede ser usada tanto para acceso aleatorio, igual a un *canal de acceso aleatorio rápido de paquetes* (F-PRACH), como para acceso dedicado, igual a un *canal de acceso dedicado rápido de paquetes* (F-PDACH). El F-PRACH y el F-PDACH pueden multiplexarse en el tiempo en el mismo canal físico. El uso de estos canales puede especificarse por base y tiempo, y estar determinado por el tráfico que esté siendo cursado en la base. Las características de los canales son las siguientes:

- F-PRACH : Se usa para acceso aleatorio rápido. La información transportada en el F-PRACH incluye el TFI y otra información de identificación de la aplicación requerida. Para una TFI dada, la BSS ya tiene la información necesaria para determinar sus requerimientos, como son los recursos necesarios y la prioridad de asignación.
- F-PDACH : Se usa para acceso dedicado rápido. Permite al móvil tener acceso libre (sin disputa) y puede ser útil para aplicaciones que no permitan variación alguna en el retraso. En algunos casos, el canal puede ser usado también para transmitir información de tasas bajas, por ejemplo:
  - Una señal de búsqueda para la implementación de antenas inteligentes.
  - Reportes de mediciones del móvil.
  - Señal de ruido o de permanencia (keep-alive).Debido a que el F-DACH es un canal dedicado, la información puede ser enviada sobre múltiples bursts en varios frames (de ser necesario).

## **F-PAGCH/F-PPCH**

El canal de downlink correspondiente al F-PACH opera como un canal de control rápido (F-PCCH) para el downlink. Se utiliza:

- Como canal de control común donde los móviles en proceso puede acampar cuando no tienen una transferencia de datos en el downlink llevándose a cabo.
- Para transmitir mensajes de control en proceso como las condiciones de acceso a estos móviles.

Si la MS tiene una transferencia de datos en proceso, es posible y puede ser preferible usar el PACCH para transmitir mensajes de control a la MS. De otra forma, la BSS puede usar el F-PCCH en el downlink para comunicarse con la MS. Dado el medio hostil para comunicaciones inalámbricas, se puede mejorar la confiabilidad del protocolo, con la existencia de un canal de control de respaldo predeterminado, donde una MS pueda acampar.

El F-PCCH tiene 2 funciones principales: transmitir mensajes de permiso y de censo a móviles específicos. Para esta función, el F-PPCH se divide en 2 canales lógicos: un F-PAGCH y un F-PPCH. El F-PAGCH se usa para responder a peticiones de acceso recibidas en el F-PACH. Esta respuesta es típicamente un mensaje de asignación, que especifica los canales, USFs, y otros parámetros para un grupo de MSs. El F-PPCH se usa para censar diferentes móviles (ejemplo: solicitud de acceso o reportes de mediciones). Estos 2 canales pueden multiplexarse en el mismo canal físico. Al igual que para el uplink, el uso de estos canales puede especificarse por base y tiempo, y estar determinado por los requerimientos de tráfico de la base.

## **A.2. GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE)<sup>1</sup>**

### **A.2.1 Introducción**

GPRS es la extensión de la red GSM; está basado en conmutación por paquetes y fue desarrollado para facilitar el acceso a los servicios basados en IP, comparado con los servicios de conmutación por circuitos, provistos por GSM.

En años recientes, la tecnología de Internet ha emergido como la mayor fuerza detrás de los nuevos desarrollos en el área de las redes de telecomunicaciones. El volumen del tráfico de datos empaquetados se ha incrementado hasta rangos extremos. Con el fin de adaptarse a estos cambios en el patrón del tráfico, cada vez mas operadores adaptan sus estrategias y planean migrar a redes cuyo backbone esté basado en IP.

Por otra parte, las redes móviles han incrementado igualmente su tráfico de forma exponencial, al igual que su importancia para los usuarios.

La combinación de ambos, el crecimiento de la Internet y el éxito de las redes móviles, sugiere que el próxima paso será una creciente demanda de acceso móvil a servicios con aplicaciones de Internet. Por esto es importante que las redes de telefonía móvil soporten estas aplicaciones de forma eficiente. Debido a esto, los sistemas de telefonía móvil que actualmente están en desarrollo, incluyen el soporte para servicios de paquetes de datos. Las redes basadas en el estándar GSM, serán extendidas en un futuro con GPRS (Servicio General de Radio Paquetes), el cuál provee una tasa de transmisión máxima de 160 kb/s.

En breve, GPRS puede describirse como un servicio que provee de acceso optimizado a Internet, mientras se reusa en un gran porcentaje la infraestructura GSM. El concepto GPRS permite cargos según el volumen, lo cual permite a los usuarios que las conexiones permanentes a Internet sean económicas.

### **A.2.2. Arquitectura y Protocolos**

#### **A.2.2.1 General**

El incremento en la demanda de transmisión de datos ha afectado incluso a las redes móviles. Como consecuencia, dos incrementos para GSM se estandarizaron: (HSCSD y GPRS). El objetivo principal de ambos servicios es proveer un servicio soportado con tasas de transmisión de datos mas altas.

HSCSD y GPRS usan nuevos esquemas de codificación y tienen la capacidad de usar mas de un slot de tiempo por usuario. Mientras que HSCSD es un servicio de conmutación por circuitos (al igual que el servicio de datos en GSM a 9.6 kb/s), GPRS es un servicio basado en conmutación por paquetes.

#### **A.2.2.2 Conmutacion De Paquetes En Redes GSM**

La idea básica de GSM es la de proveer un soporte de conmutación de paquetes en una red GSM. Como se ha demostrado con Internet, las redes con conmutación de paquetes hacen un uso mas eficiente de los recursos para ráfagas de datos y proveen de mayor flexibilidad en general.

---

<sup>1</sup> *Cfr.* IEEE Personal Communications Abril 2000 Wireless Internet Access Based on GPRS  
Roger Kalden, Ingo Meirick, y Michael Meyer, Ericsson Research, Ericsson Eurolab Deutschland

El principio de conmutación por paquetes es usado a través de la red GPRS. El "backbone" GPRS que conecta los nodos dedicados GPRS en la red telefónica pública móvil (PLMN) está basado en el protocolo de Internet (IP). En la interface de aire, los recursos se asignan a las estaciones móviles solo temporalmente, con una base "por paquete".

En contraste con GSM soportada por circuitos conmutados, donde los slots son asignados a un usuario durante el total de la duración de la llamada, en GPRS, los recursos de radio son asignados a un usuario solamente durante la transmisión de uno o unos pocos paquetes IP.

La introducción de GPRS hace posible lo siguiente:

- Servicios basados en conmutación de circuitos y de paquetes, en una red de telefonía móvil.
- Uso eficiente de los escasos recursos de radio.
- Tiempos de registro/acceso breves.
- Conectividad a redes externas de datos con conmutación por paquetes, basadas en IP o X.25.
- Diferenciación del tipo de usuario con base en convenios sobre la calidad del servicio (QoS).
- Cobro basado en el volumen de datos.

### A.2.3 Aplicaciones

GPRS puede actuar como una red móvil con acceso a Internet. Debido a su eficiente soporte de tráfico en ráfagas, GPRS puede usarse para: navegar en la WWW, e-mail, sistemas de tráfico de telemetría, puntos de venta y otras aplicaciones verticales. El servicio de mensajes cortos (SMS) de GSM estará soportado por GPRS para mejorar la flexibilidad y la capacidad. Para habilitar una amplia gama de aplicaciones, GPRS provee conexiones punto a punto y punto a multipunto.

Para usar de forma mas eficiente los escasos recursos de radio y para dar soporte a ciertas aplicaciones con distintos requerimientos, GPRS provee de diversos perfiles de QoS, permitiendo a los operadores crear esquemas para diferenciar el cobro.

Los perfiles de QoS para la fase I de GPRS, están caracterizados por cinco distintos parámetros listados en la siguiente tabla:

Pérfiles de QoS					
PARAMETROS	VALORES				
Prioridad	Alta, normal, baja				
Confiabilidad	Probabilidad de pérdida de paquetes: ejemplo, $10^{-9}$ , $10^{-4}$ , $10^{-2}$				
Retraso de paquetes de 128 octetos	Clase	1	2	3	4
	Media [segundos]	<0.5	<5	<50	Mejor esfuerzo
	95% [segundos]	<1.5	<25	<250	Mejor esfuerzo
Tasa máxima	8 kb/s – 2Mb/s (1)				
Tasa promedio	0.22 b/s – 111 kb/s				
GPRS actual limitado a 160 kb/s					

En la fase II de GPRS, la meta es alinear los perfiles de QoS de GPRS, con los perfiles de QoS de las redes inalámbricas de tercera generación. Dado que el perfil de QoS puede ser visto como la interface lógica entre el sistema GPRS y la aplicación, este alineamiento habilita el roaming entre el sistema GPRS y UMTS (Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles) de forma transparente. Actualmente se está dando esta segunda fase.

### A.2.4. Integración en GSM

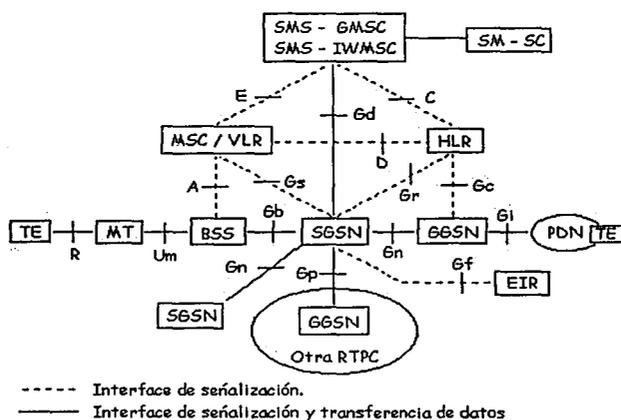
Dado que GPRS se puede ver como una extensión de GSM, GPRS está integrado en la estructura del canal físico GSM – FDMA/TDMA -, pero emplea protocolos dedicados.

GPRS puede implementarse en sistemas GSM operando, usando la misma estructura celular. Dependiendo del esquema de codificación, ni siquiera se requiere de un nuevo plan de frecuencias. Como consecuencia, solo se requieren de cambios menores en la red existente.

### A.2.5. Arquitectura De La Red GSM

Para la introducción de GPRS, se necesita modificar la red GSM. Algunos de los nodos implementados en los sistemas GSM, pueden compartirse entre GPRS y GSM. Solamente se introducen dos tipos de nodos nuevos: el Nodo Servidor de Soporte de GPRS (SGSN) y el Nodo Ruteador de Soporte de GPRS (GGSN). Esta nueva tecnología requiere del desarrollo de nuevas terminales móviles.

El GGSN es el nodo gateway entre una red externa de datos con conmutación de paquetes (IP) ó una red de datos con conmutación de circuitos (X.25/X.75) y el backbone de la red GPRS. En el caso de una red IP externa, el GGSN es visto como un ruteador IP cualquiera, sirviendo a todas las direcciones IP de las estaciones móviles (MSs). Este nodo puede incluir un firewall y mecanismos de filtrado de paquetes. Adicionalmente, su tarea es asignar el SGSN correcto para una estación móvil, dependiendo de la ubicación de esta última.



Las SGSN es la interface entre el backbone GPRS y la red de acceso por radio, y se encarga de conmutar los paquetes al subsistema de la estación base correspondiente (BSS). Sus funciones incluyen encriptación y autenticación, administración de la sesión, administración de la movilidad y administración del enlace lógico hacia la estación móvil. También provee una conexión hacia las bases de datos, como lo es el servidor de registro local (HLR), en la central de conmutación móvil (MSC).

El BSS consiste de dos nodos. Primero, el controlador de la estación base (BSC) – lógicamente, el PCU pertenece al BSC, pero físicamente puede ubicarse en el SGSN, BSC o BTS – incluyendo la unidad de control de paquetes (PCU), soporta todos los protocolos relevantes de GPRS para la comunicación sobre la interface de aire.

La función de la PCU es dar de alta, supervisar y desconectar las llamadas de paquetes conmutados, incluyendo soporte para cambio de celda, configuración de los parámetros del radio y asignación de canales. Segundo, la estación transductora base (BTS) es solo una estación de relevo sin funciones de protocolo. Esta realiza la modulación de las frecuencias portadoras y la demodulación de las señales.

El servidor de registro de visitantes (VLR), el HLR y centro de SMS de la MSC, son entidades funcionales de la red GSM de circuitos conmutados original. Estos nodos tienen mejoras mediante interfaces adicionales para trabajar conjuntamente con GPRS. La MS está equipada con el conjunto de protocolos GPRS, y es el medio para conectar al usuario con la red GPRS. El estándar GPRS permite a la MS conectarse a servicios de paquetes conmutados, de circuitos conmutados o a ambos servicios simultáneamente.

### **A.2.6 Protocolos**

A nivel de red, GPRS soporta los protocolos IP y X.25 para ser usados por aplicaciones punto a punto. Los paquetes IP ó X.25 son enviados a través de la PLMN - GPRS usando protocolos dedicados. Aunque la red GPRS consiste de diversos nodos, representa un solo salto IP.

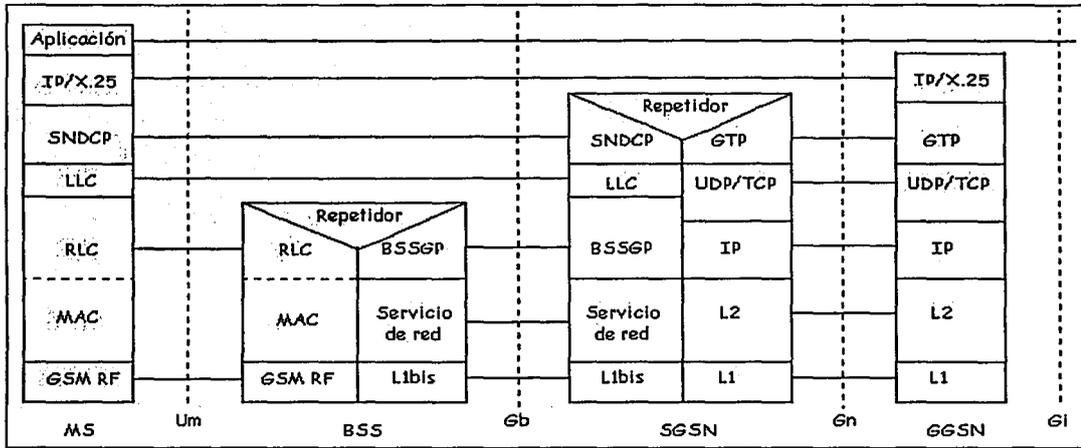
Una particularidad de GPRS es que, independientemente de los paquetes transportados, se usa IP como el protocolo de capa de red para el backbone GPRS (ejemplo: para conectar el SGSN y el GGSN). El protocolo de túnel GPRS (GTP) habilita la creación de túneles para paquetes de datos multiprotocolo a través del backbone GPRS entre nodos de soporte GPRS. El GTP utiliza TCP (Transmission Control Protocol) ó UDP (User Datagram Protocol) dependiendo de cuando se necesita una conexión confiable (ejemplo: paquetes X.25) y cuando no (ejemplo: paquetes IP).

La función principal del Protocolo de Convergencia Dependiente de la Subred (SNDP – Subnetwork-Dependent Convergence Protocol) es la de transportar unidades de datos de protocolo de capa de red (IP/X.25) de forma transparente. La introducción de nuevos protocolos de capa de red no requiere del cambio de todas las capas de protocolos GPRS; solo se afecta al SNDP. Además, SNDP provee de compresión de datos (ejemplo: V.42 bis) y compresión de encabezado (ejemplo: Compresión de encabezado TCP/IP) de tal forma que se mejore la eficiencia del canal.

El protocolo del control del enlace lógico (LLC) opera a lo largo de las interfaces Gb y Um, provyendo de un enlace lógico entre la MS y su SGSN. Típicamente las funciones del LLC comprenden encriptación, control de flujo y control de secuencia. En suma, si el protocolo LLC se usa en modo "confirmado" (acknowledged), provee detección y corrección de errores en la transmisión; en modo "no confirmado" (unacknowledged), indica cuales son los errores no corregibles. El protocolo LLC es usado por el SNDP para la transmisión de paquetes de unidades de datos en la capa de red (PDUs), por el protocolo SMS para transmitir mensajes SMS, y por la administración de movilidad de GPRS para transferir datos de control.

El protocolo de Control del Enlace de Radio/Control de Acceso al Medio (RLC/MAC), localizado en el PCU, provee servicios para la transferencia de PDUs del LLC, usando un medio compartido entre múltiples MSs y la red. Las funciones del protocolo RLC incluyen segmentación y reensamble de PDUs del LLC. Puede ser operado en modo confirmado ó no confirmado, de acuerdo con la QoS requerida. En modo confirmado, se ejecuta la detección de PDUs del LLS erróneos basada en "checksum" y la retransmisión de éstos.

El protocolo MAC ubica los diferentes canales lógicos necesarios para compartir el medio de transmisión común por las distintas MSs. Permite a una MS usar distintos canales físicos (slots de tiempo) en paralelo, pero también el multiplexado de distintas MSs sobre un canal físico.

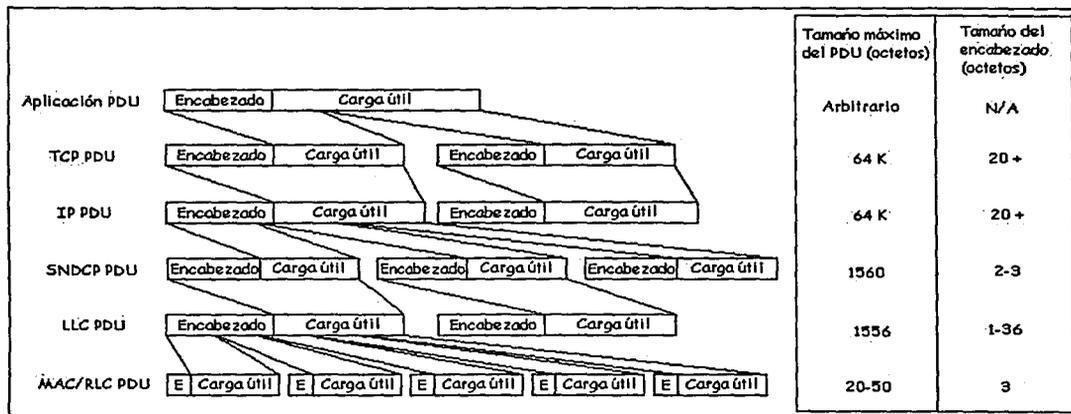


Plano de Transmisión del GPRS.

La capa de enlace físico provee un número de canales físicos a la capa RLC/MAC. Sus funciones incluyen forward error correction, entrelazado (interleaving), monitoreo de calidad de señal en el enlace de radio y procedimientos para el control de la potencia.

La capa mas baja en la interface Um, la capa física de radio frecuencia (RF), desarrolla la transmisión y recepción de ondas moduladas en la frecuencia portadora y es idéntica a la capa tradicional de RF de GSM.

La imagen muestra la segmentación correspondiente a las diferentes capas de protocolos. La imagen muestra como una PDU de una aplicación, transmitida a través de la inteface de aire GPRS, es segmentada y encapsulada en diversas PDUs de subprotocolos, resultando en un encabezado considerable. El encabezado adicional resulta de la señalización en cada capa de protocolos. En total, aproximadamente del 20% al 30% de la capacidad de la interface de aire del GPRS se gasta en encabezados de protocolos y no está disponible para transmitir carga útil.



Segmentación del PDU

### A.2.7. Interfase De Aire

La interface Um se considera como uno de los aspectos centrales del GPRS, porque determina el desempeño del GPRS.

### A.2.8. Canales Logicos

GPRS usa la misma estructura TDMA/FDMA que GSM para formar canales físicos. Para el uplink y el downlink, varios canales, con un ancho de banda de 200 kHz, se definen a través de FDMA. Los canales son posteriormente subdivididos en frames TDMA con una longitud de 4.615 ms. Cada frame TDMA. Cada frame TDMA esta dividido en 8 slots de tiempo de igual tamaño.

Como una extensión de GSM, GPRS usa las mismas bandas de frecuencia que GSM y sus derivados (ejemplo: GSM1800, PCS1900), y ambos comparten los mismos canales físicos (ejemplo: slots de tiempo). Cada slot de tiempo puede ser asignado tanto para GPRS, transmitiendo datos por paquetes conmutados, o pasa GSM, llevando llamadas por circuitos conmutados. Los slots de tiempo usados por GPRS se llaman canales de paquetes de datos (PDCH).

La unidad básica de transmisión de un PDCH se llama bloque de radio (Radio Block). Para transmitir un bloque de radio, se utilizan 4 slots de tiempo en 4 frames TDMA consecutivos. Un PDCH se estructura en multiframe comprendiendo 52 frames TDMA, lo que corresponde a una duración de 240 ms. Cada burst número 13, llamado burst ocioso (idle), no se usa para transmitir datos, dejando 12 bloques de radio en 1 multiframe. Dado esto, el tiempo promedio de transmisión por bloque de radio es de 20 ms. Un bloque de radio contiene 456 bits, pero debido al proceso de forward error correction, menos bits de carga útil (payload) son transmitidos. La estructura y el número de bits de carga útil de un bloque de radio, dependen del tipo de mensaje y del esquema de codificación. GPRS prevé 4 esquemas de codificación basados en códigos convolucionales.

Como consecuencia, el nivel de protección y la tasa real (throughput), cambian según se indica en la siguiente tabla.

Esquemas de codificación GPRS			
Esquema	Razón de codificación (códigos convolucionales)	Bloque de datos RLC sin encabezado RLC	Tasa real resultante del LLC
		(octetos)	(kb/s)
CS - 1	1 / 2	20	8
CS - 2	2 / 3	30	12
CS - 3	3 / 4	36	14.4
CS - 4	1	50	20

Un bloque de radio comienza con encabezados MAC y RLC, mientras que la cola (tail) siempre forma una secuencia de chequeo del bloque (BCS-Block Check Sequence), que es usada para detectar errores que no pueden ser corregidos mediante el proceso de forward error correction.

Dependiendo del tipo de mensaje transmitido en un bloque de radio, una secuencia de bloques de radio forma un canal lógico (ejemplo: cada PDCH puede llevar varios canales lógicos). Un ejemplo es un canal de tráfico de paquetes de datos (PDTCH) transportando datos del usuario. Consiste de un encabezado MAC, un encabezado RLC y de la carga útil de datos RLC.

Canales lógicos realizados por el protocolo MAC (algunos):

- Packet random access channel (PRACH), uplink – Canal común usado por las MSs para iniciar una transferencia en el uplink.
- Packet paging channel (PPCH), downlink – El BSC usa este canal para vocear a las MSs antes de iniciar una transmisión de datos en el downlink.
- Packet access grant channel (PAGCH), downlink – En este canal se envían asignación de recursos para transferencias en el uplink y downlink.
- Packet broadcast control channel (PBCCH), downlink – En este canal se envía información específica del sistema GPRS en forma de broadcast en el downlink.
- Packet data transfer channel (PDTCH), uplink/downlink – En este canal se envían paquetes de datos. Una MS puede usar uno a varios PDTCHs.
- Packet Associated Control Channel (PACCH), uplink/downlink – Este canal transporta información de señalización relacionada a una MS específica y sus correspondiente PDTCHs (ejemplo: confirmaciones del RLC).

### **A.2.9. Control De Acceso Al Medio**

Para soportar el principio de conmutación por paquetes de GPRS, los recursos de un PDCH se asignan solo temporalmente a una MS. La BSC controla los recursos en ambas direcciones, tanto en uplink como en downlink. Los receptores de los bloques de radio enviados en el downlink a una MS, son identificados por la dirección de la MS en el encabezado del bloque MAC. Dado que todos los bloques de radio en el downlink, se originan en la BSC, no pueden ocurrir accesos simultáneos en un PDCH.

En contraste, los PDCHs en el uplink se comparten entre varias MSs. Para evitar conflictos en el acceso en esta dirección la BSC transmite en el encabezado de cada bloque de radio en el downlink una Bandera de Estado en el Uplink (USF) indicando a la MS que tiene permitido transmitir en el PDCH de uplink correspondiente. Aunque este concepto prevé colisiones en las transferencias de datos, aún existe una opción de colisión entre requisición de canal de las MSs que quieren iniciar una transferencia de datos. Para este problema se usa el PRACH, que resuelve los accesos simultáneos en los recursos de radio en el uplink. El PRACH es un canal de control común que emplea un mecanismo similar al "slotted Aloha" para acceso arbitrario de las MSs.

Una vez que la MS tuvo éxito con su requisición de canal y que los recursos de acuerdo con la petición están disponibles, se establece un flujo temporal de bloques (TBF). Cuando un TBF se establece, se asignan recursos (PDTCH, buffers, etc.) a una MS, y la transmisión de datos puede comenzar. Tan pronto como el total de datos dirigidos a una MS son transmitidos exitosamente, se libera el TBF. Usando este esquema tan flexible de distribución de recursos orientado a paquetes, permite que la duración de un TBF tenga un rango de algunos milisegundos hasta varios minutos, dependiendo de la cantidad de datos a transmitir.

Un PDCH puede transmitir varios PDTCHs para distintas MSs, resultando esto en una mejor utilización del enlace. También, una MS puede usar varios PDTCHs en distintos PDCHs con el fin de obtener tasas de transmisión mas altas. El número de slots de tiempo que una MS puede usar, está determinado por su clase de multislots.

#### **A.2.10. Control Del Enlace De Radio**

La transmisión sobre el enlace de radio está asegurada por el protocolo RLC. Puede usarse en modo confirmado ó en modo no confirmado. El modo confirmado emplea el mecanismo de "repetición selectiva – requisición de repetición automática" (SR-ARQ) para una retransmisión eficiente de bloques erróneos. Frecuentemente, los mensajes de confirmación enviados transportan un mapa de bits, indicando que bloques requieren ser retrasmitidos.

**ANEXO B.**

IS-95

**1. Arquitectura básica del sistema IS-95**

- a. **Introducción**
- b. **Estación Móvil**
- c. **Estación Base**

**2. Interface de radio de IS-95**

- a. **Banda de operación**
- b. **Empleo del acceso múltiple por división de frecuencias**
- c. **Empleo del acceso múltiple por división de tiempo**
- d. **Canales lógicos**
- e. **Salto de frecuencia**

**3. Procesamiento del canal**

- a. **Introducción**
- b. **Codificación de la voz**
- c. **Codificación del canal**
- d. **Interleaving**
- e. **Criptografía**
- f. **Burst formatting and multiplex**
- g. **Modulación**

## 1. Arquitectura básica del sistema IS-95

### Introducción

IS-95 es un estándar de telefonía celular, que consta con los componentes normales de una red celular. Se implementa a través de una red de células de radio, que juntos forman la cobertura para un área de servicio. La diferencia principal consiste en la forma de acceso a la red, que se llama "Acceso Múltiple por División de Código".

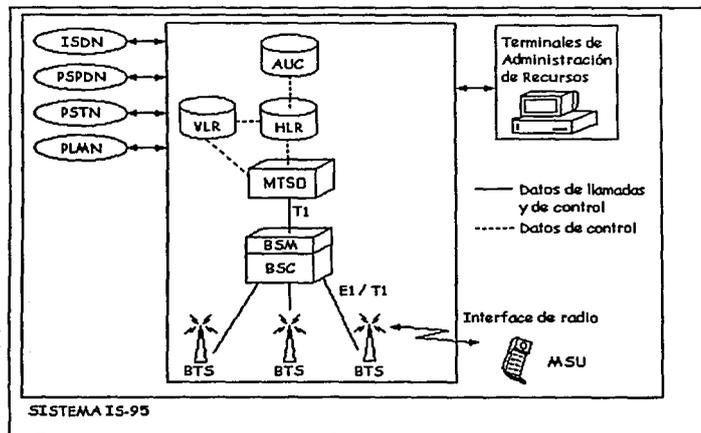
La arquitectura de la red IS-95 se divide en cuatro subsistemas básicos:

- a. Unidad de Abonado Móvil – Mobile Subscriber Unit (MSU)
- b. Subsistema Transductor de la Estación Base – Base Station Transceiver Subsystem (BSTS)
- c. Controlador de la Estación Base - Base Station Controller (BSC)
- d. Administrador de la Estación Base – Base Station Manager (BSM)
- e. Central Telefónica Móvil - (MTSO)

### a. Estación móvil – Mobile Station (MS)

La estación móvil es el equipo usado por el usuario para acceder a los servicios de la red IS-95. Sus principales funciones son:

- Transmisión y recepción de voz codificada y datos por la interface MSU – BTS.



BTS – Base transceiver station

BSC – Base station controller

MTSO- Central Telefónica Móvil (conformada por DMS-MTX : Digital Multiplex Exchange-Mobile Telephone Exchange)

HLR – home location register

VLR – visitor location register  
AUC – Authentication center  
PSTN – Public switched telephone network  
ISDN – Integrated services digital network  
PSPDN – packed switched public data network  
PLMN – Public land mobile network  
MSU – Mobil Station Unit

**b. Estación Transductora Base - Base Transceiver Station (BTS)**

La BTS es el equipo encargado de enlazar al abonado mediante la MSU, con la central. Provee la interface de aire, según los estándares para CDMA IS-95A (800 MHz) y ANSI J-STD-008 (1900 MHz). Incorpora las antenas, los transmisores, receptores, amplificadores, etc.

Sus funciones son:

- Codificar, criptografiar y multiplexar la señal, modular la portadora de RF, amplificar y elevar la señal resultante a la antena transmisora.
- Comunicación de voz codificada con diferentes tasas de datos.
- Recepción, equalización, demodulación, decodificación y descryptación de las señales recibidas provenientes de las MSUs.

**c. Controlador de la Estación Base – Base Station Controller (BSC)**

Este elemento de la red se encarga de:

- Controlar el ruteo de señalización y mensajes entre sí misma, con la MTX y la BTS.
- También provee de codificación y decodificación de voz entre la MSU (a través de la BTS) y el enlace del MTX. Se encarga de codificar la información del PCM de 64 kbps, que recibe de la MTX, en paquetes con tasa variable, dependiendo del vocoder utilizado (8Kb ó 13 Kb) (también realiza el proceso inverso). CDMA utiliza QCELP (Qualcomm Code Excited Linear encoding) que codifica con una tasa variable, promediando 4 kbps (máx-13 kbps a mín-1 kbps). Con lo anterior se tiene ventaja sobre las pausas que existen durante la conversación.
- Realiza la cancelación de eco en el canal que recibe de la MTX.
- Maneja el hand-off intra-system (soft) y el control de potencia tanto de la MSU, como de la BTS. Procesa toda la información de hand-offs, recibida de la MSU (por toda la duración de la llamada) y se encarga de la toma de decisiones de cuando realizar un hand-off.

Maneja las siguientes conexiones:

- Intercambio de conexiones de voz PCM con la MTX.
- Intercambio de mensajes de control y señalización con la MTX y las BTSs.
- Intercambio de paquetes de control, señalización y voz codificada con tasa variable, con la BTS.

**d. Administrador de la Estación Base – Base Station Manager (BSM)**

Provee de las funciones de administración para la configuración, fallas y desempeño para la BSC y la BTS. Sus funciones son:

Monitoreo, prueba y diagnóstico de las fallas del sistema.  
Análisis de desempeño.  
Administración del sistema (privilegios, usuarios, passwords, etc).  
Inicializar y habilitar los elementos de la red en la BSC y la BTS.

**e. Sistema de Multiplexaje Digital / Intercambio Telefónico Móvil – Digital Multiplex System / Mobile Telephone Exchange (DMS/MTX)**

Provee al sistema con las siguientes funciones:

- Procesamiento de la llamada
- Administración de movilidad
- Tarifación
- Almacenar la información del abonado
  - Registro de localización local - HLR
  - Registro de localización como visitante – VLR
- Obtener datos del desempeño del sistema
- Soporte de servicios y características
  - Redireccionamiento de la llamada (Call Forwarding)
  - Llamada en espera (Call Waiting)
  - Código de cuenta para tarificación (Account Code Billing) : Se ingresa un número de 3 dígitos (Registro de detalle de llamadas – Call Detail Record CDR) en la realización de cada llamada, de forma que se puedan llevar un registro de quien hizo que llamada.

Servicio de Mensajes Cortos (SMS) : Este opera cuando el teléfono está en modo libre, en llamada , en timbrado o después de un hand-off. Puede enviarse a través de un canal de tráfico, o de un canal de paging. Se tienen distintos tipos de aplicaciones, dependiendo del protocolo que se utilice.

- Centro de verificación (Authentication Center - AC)

Proceso de Verificación:

La verificación es el proceso mediante el cual se intercambia información entre la MS y el AC con el propósito de habilitar al AC para confirmar la identidad de una MS y prohibir cualquier acceso ilegal al sistema. Este proceso comienza con cualquier acceso de una MS. La verificación de la MS es exitosa, cuando tanto la MS como el AC generan una copia idéntica de la llave de verificación.

En el acceso al sistema, la MS ejecuta el algoritmo de encriptación para generar un parámetro de verificación, El parámetro de verificación resultante se transmite por la interface de radio y los enlaces de red hacia el AC. Entonces el AC ejecuta el algoritmo de encriptación en la misma forma. Si ambos parámetros concuerdan, la MS tiene permitido el acceso a los servicios del sistema.

El Algoritmo de encriptación de voz y de verificación celular (CAVE- Cellular Authentication and Voice Encryption) es usado para generar la información de verificación necesaria para la MS y el AC (o MSC/VLR si se comparte SSD).

La LLAVE-A es una clave de 20 dígitos almacenado solamente en cada MS y su AC asociado. Por razones de seguridad esta clave nunca se transmite por la interface de aire, ni es mostrada en el display de la MS o en el AC. Para mayor seguridad, la LLAVE-A se usa para generar una forma encriptada llamada Información Secreta Compartida (SSD-Shared Secret Data), usando el algoritmo CAVE. El valor de esta LLAVE-A encriptado se cambia solamente mediante una petición del AC y se usa como entrada variable al algoritmo CAVE. Esta es la única vez en que se utiliza la LLAVE-A.

La SSD se almacena tanto en la MS como en la AC. La SSD se genera al ingresar un número aleatorio llamado RANDSSD. Al igual que la LLAVE-A, la SSD nunca se transmite por la interface de aire. La SSD sirve como entrada variable al algoritmo CAVE, dificultando el uso de ingeniería inversa para encontrar la LLAVE-A, además de ocultar a ésta última. Además se puede compartir la SSD con VLRs cuando la MS se registre en otro sistema.

El RAND es un número aleatorio de 32 bits, usado para generar la respuesta de verificación (AUTHR). El RAND se envía por Canal de Paging (en forma de Broadcast). Finalmente el AUTHR es enviado por la MS y se compara con la salida generada en el AC.

## **2 INTERFAZ DE RADIO DE IS-95**

### **a. Empleo de acceso múltiple por espectro disperso**

IS-95 utiliza canales de 1.23 MHz de espectro de frecuencias para las comunicaciones entre las estaciones móviles y el sistema (1.23 MHz para el up-link y 1.23 MHz para el down-link).

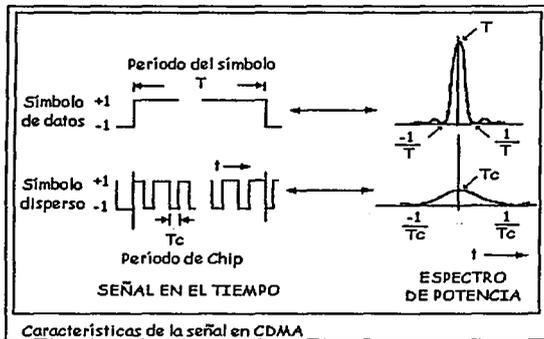
Considerando una cierta banda base, ésta es dividida en bandas menores de 1.23 MHz, donde cada par de 1.23 MHz, separado por 45 MHz (banda de 800 MHz) o por 80 MHz (banda de 1900 MHz), se denomina canal de comunicación.

El Acceso Múltiple por Espectro Disperso (SSMA – Spread Spectrum Múltiple Access) es un método que permite a varios usuarios, acceder a la red de comunicación móvil por radio. Cada usuario tiene permitido usar todo el ancho de banda, en toda la duración de la llamada. Aunque que cada usuario genera una señal interferente, hacia los demás y viceversa, esto no afecta al desempeño del sistema, dado que fue desarrollado con el fin de crear un sistema robusto contra la interferencia "jamming" generada por el enemigo durante una guerra.

Existen 2 tipos básicos de SSMA. Uno es el SSMA de secuencia directa (Direct Sequence-DS/SSMA) también conocido como Acceso Múltiple por División de Código (CDMA), y el otro se llama SSMA con salto de frecuencia (Frequency Hopped-FH/SSMA). El segundo tipo fue propuesto como una alternativa a FDMA, en los sistemas de radio celular de primera generación. CDMA es un esquema celular digital de segunda generación.

Acceso Múltiple por Espectro Disperso – Secuencia Directa (DS/SSMA = CDMA)

Considerando que una MSU genera datos con una tasa de  $R$  bits/s, cada bit se dispersa, haciendo que su representación sea una secuencia de  $N_c$  pulsos, conocidos como chips, durante un período  $T$ . Cada chip tiene una duración de  $T_c$ , y  $T=1/R = N_c \cdot T_c$ . El ancho de banda de la señal dispersa es mucho mayor que el ancho de banda de la señal de datos.



Considerando  $M$  usuarios, para cada bit lógico 1 generado, cada MSU transmite su código PN único con  $N_c$  chips y para cada bit lógico 0 generado, se transmite el código PN único inverso. Todos los  $M$  usuarios transmiten a la BTS usando la misma banda de frecuencia (canal físico) mediante la modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying). Esta modulación implica que la polaridad de los chips controlan la fase de la señal transmitida. Para el  $k$ -ésimo usuario, la señal transmitida es:

$$s_k(t) = \sqrt{2P_s} \cdot a_k(t) \cdot b_k(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_k)$$

donde:

$P_s$  es la potencia transmitida

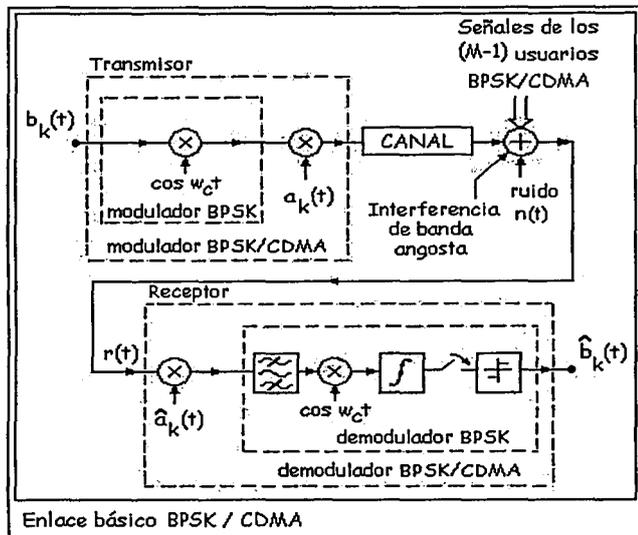
$a_k(t)$  es la señal con el código de dispersión para el  $k$ -ésimo usuario

$b_k(t)$  es la señal de datos del  $k$ -ésimo usuario

$f_c$  es la frecuencia de la portadora usada por todas las MSUs.

$\theta_k$  es la fase del  $k$ -ésimo usuario

La señal de CDMA  $s_k(t)$ , se obtiene de la multiplicación de la señal BPSK  $b_k(t) \cos w_c t$  por la señal de dispersión  $a_k(t)$ . La recuperación de la señal BPSK se logra mediante la multiplicación de la señal recibida  $r(t)$  por  $\hat{a}_k(t)$ , donde  $\hat{a}_k(t)$  es igual a  $a_k(t)$  con un retraso tal que la señal  $a_k(t)$  que llega al receptor, se sincroniza con  $\hat{a}_k(t)$ . La señal BPSK se dispersa en el modulador al ser multiplicada por  $a_k(t)$ . Consecuentemente, todos los componentes de la señal  $r(t)$ , exceptuando a la componente requerida, sufrirá del mismo proceso de dispersión debido a su multiplicación por  $\hat{a}_k(t)$ . Para la componentes no deseadas, el demodulador BPSK/CDMA, actúa como un modulador de CDMA y solamente la componente deseada sufre el proceso inverso de la dispersión para transformarse en una señal BPSK de banda angosta, puesto que el producto de  $\hat{a}_k(t)$  por  $a_k(t)$  es unitario.



Enlace básico BPSK / CDMA

Las componentes de la PSD de la señal recibida  $r(t)$ , son la PSD del  $k$ -ésimo usuario BPSK/CDMA, la PSD de los  $M-1$  usuarios adicionales BPSK/CDMA, la PSD del ruido en el receptor, además de incluir una señal interferente de banda angosta cuya frecuencia central es  $f_i$ . Después de multiplicar  $r(t)$  por  $\hat{a}_k(t)$ , se obtiene la señal BPSK. La PSD de la señal que se requiere, es una señal que ocupa un ancho de banda de  $2/T$  de la portadora. La señal interferente de banda angosta se dispersa mediante su multiplicación por  $\hat{a}_k(t)$ , en una señal de banda ancha, y las otras señales ( $M-1$ ) de CDMA, así como el ruido, permanecen como señales de banda ancha.

La señal  $\hat{a}_k(t)r(t)$ , pasa por un filtro paso banda, con un ancho de banda que va desde " $f_c - (1/2T)$ " hasta " $f_c + (1/2T)$ ", permitiendo solamente la componente deseada.

La PSD de  $r(t)\hat{a}_k(t)$  esta compuesta por funciones  $\text{sinc}^2(\ )$ , por lo que si el filtro tiene una banda de paso suficientemente grande para que pase la señal deseada, las componentes de ruido e interferencia se reducen por  $(T/T_c)$ . Este cociente se llama Ganancia de Procesamiento  $G=(T/T_c)$ .

La señal a la salida del filtro, se multiplica por una portadora coherente y la señal resultante se integra sobre un período de bit  $T$ . La salida del integrador, se muestrea al final de cada período de integración, y la polaridad de la muestra especifica el estado lógico del bit recuperado.

La señal transmitida en un instante dado, es recibida (en parte) como un conjunto de trayectorias (efecto multitrayectoria), que llegan al receptor en instantes distintos, debido al retraso de cada

una. La BTS tiene la capacidad para integrar los segmentos que llegan con retraso, para después combinar estas señales coherentemente y hacer la toma de decisión en el umbral mediante el muestreo (con duración un período de símbolo) de la combinación, para generar un 1 lógico si la muestra es positiva, o bien un 0 lógico en caso contrario. Este proceso se conoce como Diversidad por Correlación, Diversidad de Trayectoria o Proceso RAKE.

La habilidad para sincronizar la versión generada localmente del código del usuario anterior a la cross-correlación, es esencial para un desempeño óptimo. CDMA asincrónico, tiene un desempeño pobre y se hace necesario agregar diferentes forma de diversidad en la recepción.

La razón que existe entre el ancho de banda  $W \cong 1/T_c$  de la señal dispersa, y la tasa de bits de datos  $R=(1/T)$ , es la ganancia de procesamiento  $G$ . Entre mas chips tenga el código, éste se vuelve mas único, además de incrementarse el valor de la  $G$ . Para maximizar el número de usuarios, es importante que todas las MSUs transmitan con niveles de potencia, tales que la BTS servidora reciba todas las señales con una buena aproximación al mismo nivel de potencia.

Cálculo del Número de usuarios permitidos por Sector.

El nivel de la señal es el producto de  $R$  (bits/s) y  $E_b$  (energía/bit), mientras que la interferencia de las otras MSUs es el producto de  $W$  [Hz] y  $(J_o + N_o)$  [W/Hz], donde  $J_o$  y  $N_o$  son las PSDs de la interferencia y del ruido. La razón de señal a interferencia es:

$$SIR = \frac{R \cdot E_b}{W \cdot J_o}$$

Si la potencia recibida del móvil requerido es  $P_R$ , y la potencia recibida de los demás MSUs es  $P_R(M-1)$ , también se tiene que:

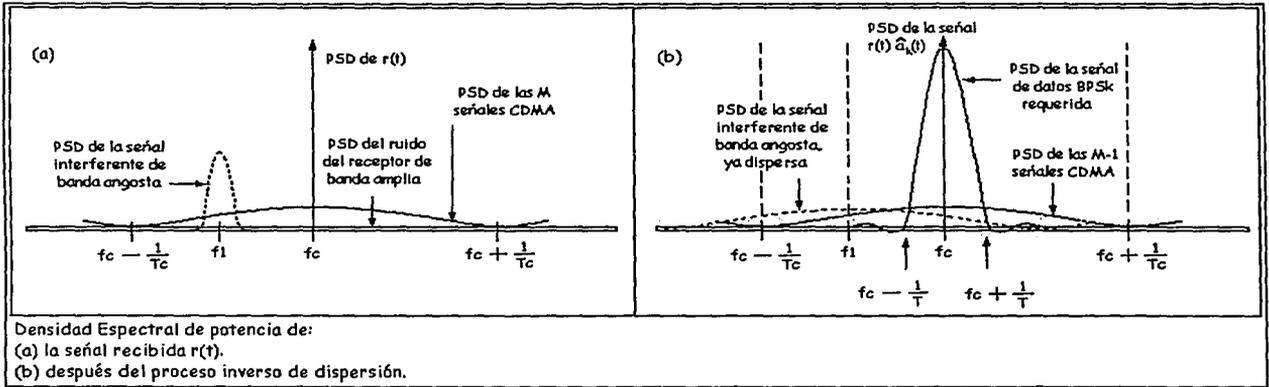
$$SIR = \frac{P_R}{P_R(M-1)}$$

por lo que:

$$M \cong \frac{W/R}{E_b/J_o} = \frac{G}{(E_b/J_o)}$$

$M$  se incrementa con la Ganancia por procesamiento. De lo anterior también se deduce que es necesario controlar el nivel de potencia de la señal generada por cada MSU, para que llegue con igual nivel que las demás a la BTS servidora. Esto es un problema en CDMA debido a la presencia del desvanecimiento corto (Rayleigh).

Las transmisiones en las celdas vecinas usando la misma frecuencia portadora, causan interferencia que puede ser permitida, al considerar un factor F. Este factor reduce el número de usuarios en la BTS, en proporción a la suma de interferencia producida por las MSUs de otras BTSs, a la interferencia producida por las demás MSUs dentro de la BTS servidora.



Cuando uno de los usuarios dentro de la conversación está escuchando, su tasa de bits puede reducirse de forma significativa, para permitir que solamente se transmita el ruido de fondo. En promedio, la gente habla un 40% del tiempo durante una conversación. Esto se considera mediante un factor  $d$ . Esta inactividad beneficia a todos los usuarios interferentes, además de aumentar la duración de la batería de las MSUs

También se debe considerar el número de sectores que se utilizan por BTS, denominado por  $S$ , con lo cual se tiene una cobertura por antena de  $360^\circ/S$

De lo anterior se deduce que el número de usuarios se obtiene mediante:

$$M \cong \frac{W/R}{E_b/J_o} \cdot \frac{1}{d} \cdot F \cdot S$$

Se puede anticipar que para sistemas con buen control de potencia, se tendrán los siguientes valores:

- D=0.4
- F=0.6
- S=3,4,5,6

**Estructura del Enlace**

**Funciones Walsh**

Son un grupo de 64 secuencias binarias (códigos) ortogonales entre si. Las condiciones que tienen que cumplirse para que un grupo de secuencias sea ortogonal, son:

1. La correlación cruzada debe ser cero o muy pequeña. Dos señales X y Y son ortogonales si su correlación cruzada  $R_{XY}(0)$  sobre T es cero, donde:

$$R_{XY}(0) = \int_0^T x(t)y(t)dt$$

En tiempo discreto, las dos secuencias X y Y son ortogonales si su producto cruzado  $R_{XY}(0)$  es cero. Este está definido por:

$$R_{XY}(0) = x^T y = \sum_{i=1}^L x_i y_i$$

donde:

$$x^T = [x_1, x_2, \dots, x_L]$$

$$y^T = [y_1, y_2, \dots, y_L]$$

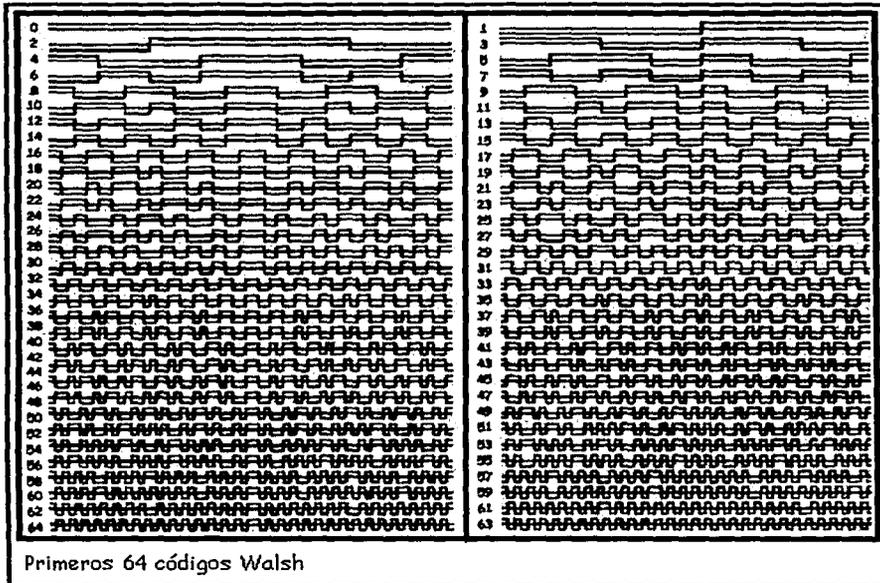
2. Cada secuencia en el grupo debe tener un número igual de 1s y -1s, o la diferencia debe ser como máximo de uno. Esta propiedad da a cada código una naturaleza pseudoaleatoria.
3. El producto punto de cada código, dividido entre el número de elementos del código, debe ser igual a 1. Debe considerarse que los 0s lógicos se convierten en -1s para hacer los cálculos. La ecuación que define el producto punto es:

$$R_{XX}(0) = x^T x = \sum_{i=1}^L x_i x_i$$

de lo anterior, se tiene que la tercer condición se cumple si:

$$\frac{\sum_{i=1}^L x_i x_i}{L} = 1$$

La sincronía es esencial en el uso de códigos Walsh, puesto que el retraso en 1 bit, implica que dos señales dejen de ser ortogonales, por tanto la señal no recuperable. En la práctica, IS-95 utiliza una canal piloto y una canal de sincronía; ambos para sincronizar el down-link y asegurar que el enlace sea coherente. Existen 64 funciones Walsh, donde cada una mide 64 chips.



### Códigos PN

Estos códigos se utilizan tanto en el up-link, como en el down-link.

En el up-link, no se maneja coherencia, es decir, las MSUs no manejan sincronía alguna para hacer sus transmisiones; y es por esto que los códigos PN se utilizan para dispersar la señal.

En el down-link, ayudan como identificador de sector, puesto que todos los sectores utilizan los mismos 64 códigos Walsh para dispersar la señal.

Un código PN corto tiene  $2^{15} - 1$  chips y existen 512.

Un código PN largo tiene  $2^{42} - 1$  chips.

### Enlaces asimétricos

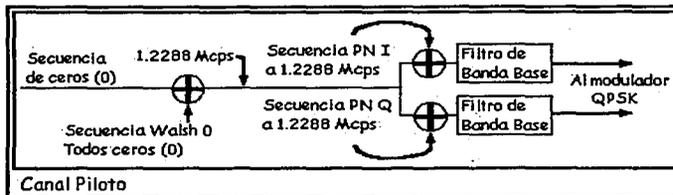
El sistema CDMA IS-95, es único, en el sentido de que el up-link (reverse) y el down-link (forward) tienen diferentes estructuras de enlace.

### Down-link

El down-link consta de 4 tipos de canales lógicos. Existe 1 canal piloto, 1 canal de sincronía, hasta 7 canales de paging y varios canales de tráfico. Cada uno de estos canales primero se dispersa de forma ortogonal por su función Walsh, y luego se dispersa por un par de secuencias PN cortas con cuadratura (En realidad ambas secuencias son la misma, que es la asignada a cada sector y se utiliza para todos los canales, solamente que una del par se modifica  $90^\circ$  de tal forma que aporte el cambio de fase en el modulador QPSK). Todos los canales se unen para formar la señal compuesta a ser transmitida por el down-link. Cada uno de los canales lógicos en el down-link se identifica por su función Walsh asignada.

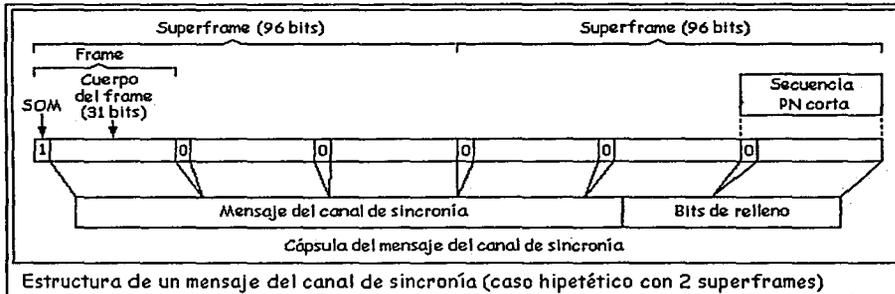
- Canal Piloto

Este se identifica por la función Walsh 0. Este canal no contiene información en banda base. La secuencia en banda base es una trama de 0s, que se dispersan por la función Walsh 0, lo que resulta en una secuencia igual de 0s, para luego multiplicarse por un par de secuencias PN cortas en cuadratura (1 secuencia de las 512 que existen). Además se agrega un cierto offset en cada sector, para diferenciarlo de los demás sectores en la red. El offset típico es de 4 chips, aunque es variable. Se pueden asignar igual número de offsets, que secuencias PN cortas, a los sectores de la red.



- Canal de Sincronía

Por este canal se envía información al MSU de sincronización y ciertos parámetros (Offset de la secuencia piloto PN, El tiempo futuro y el estado de inicio para que la MSU comience la secuencia PN larga). Los bits que se envían, primero se protegen de errores, se duplican y luego se entrelazan. Después se dispersan con la función Walsh 32 y después se multiplican por un par de secuencias PN cortas en cuadratura.

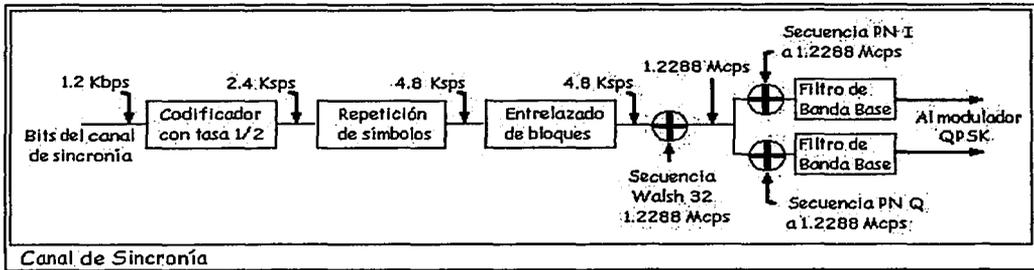


Este canal transmite bits en superframes, cada superframe contiene 96 bits y transmitidos en 90 ms, dando una tasa de 1.2 Kbps. Cada superframe contiene 3 frames de igual longitud y duración.

Cada frame se sincroniza con la secuencia PN corta (que se repite cada 26.67 ms) asignada al sector. Es por esto que una vez que la MSU entra en sincronía con el canal piloto, ya puede sincronizar también el canal de sincronización.

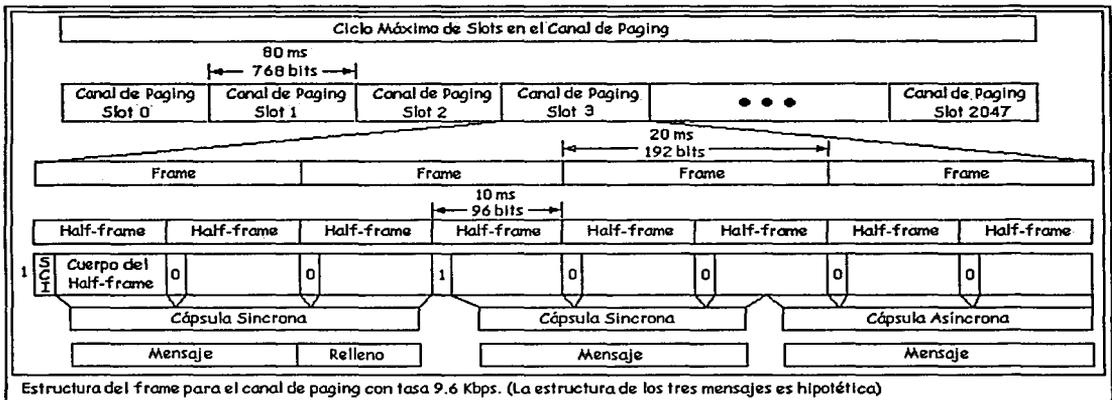
El mensaje del canal de sincronía puede ocupar más de un frame o incluso más de un superframe. En el primer caso, el mensaje llamado cápsula, estaría formado por un superframe, que en la primera sección tendría información y en la segunda, bits de relleno hasta que comenzara el siguiente superframe, si no se ocuparan todos los espacios.

Al comienzo del frame se transmite el bit SOM (Start of Message), con 1 para inicio del mensaje y 0 para los frames que le siguen.



• Canales de Paging

Transmiten información en banda base, con tasas de 4.8 o 9.6 Kbps. La tasa está indicada por el canal de sincronía. Una vez que las MSUs obtienen temporización y sincronía, comienzan el monitoreo del canal de Paging (cada MSU solo monitorea 1 canal de paging, aunque se pueden definir 7 por sector).



Estructura del frame para el canal de paging con tasa 9.6 Kbps. (La estructura de los tres mensajes es hipotética)

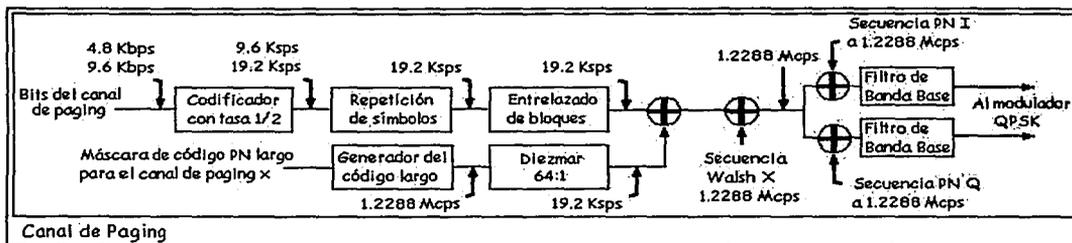
Los bits de información que se envían, primero se protegen contra errores, se duplican dependiendo de la tasa, se entrelazan, se multiplican 1 a 1 por la secuencia PN larga (el generador del código PN largo tiene una máscara particular para diferenciar cada canal de paging) diezmada previamente 64:1, el resultado se dispersa con el código Walsh asignado para dicho canal de Paging y posteriormente se multiplican por un par de secuencias PN cortas en cuadratura.

El canal de paging se divide en slots de 80 ms. Un grupo de 2048 slots se llama "Ciclo Máximo de slots". Cada slot de 80 ms se divide en 4 frames y cada frame se divide en 2 Half-frames. El primer bit de cada Half-frame se llama "Indicador de Cápsula Sincronizada - SCI". Se pueden transmitir un mensaje en canal de paging, mediante una cápsula sincronizada, o bien, mediante una cápsula no sincronizada.

Un mensaje en el canal de paging puede ocupar mas de 1 half-frame, y el mensaje terminar a la mitad del siguiente half-frame. Si al terminar el mensaje, quedan menos de 8 bits libres en el

half-frame, estos se rellenan hasta la siguiente SCI. Si la siguiente SCI es una cápsula sincronizada (0), también se rellena completamente, hasta que encuentra una SCI sin cápsula sincronizada (1). Si al terminar el mensaje, quedan mas de 8 bits libres en el half-frame, se puede ocupar dicho espacio para transmitir otro mensaje, utilizando una cápsula no sincronizada.

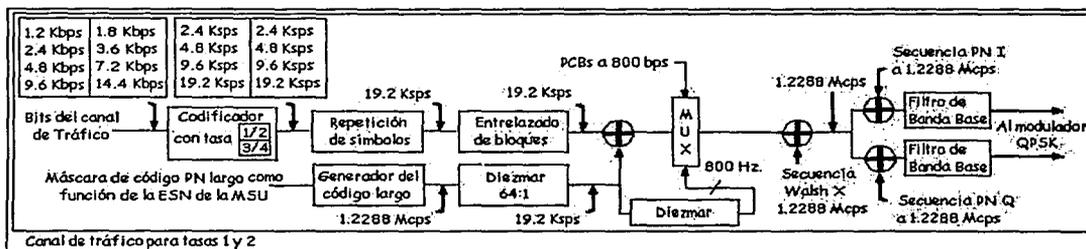
Mediante este canal la MSU obtiene la siguiente información: Parámetros de hand-off para la MSU, parámetros de control de potencia en el down-link y en el up-link, parámetros de acceso para la MSU y la lista de sectores vecinos, incluyendo los offsets de las secuencias PN.



- Canales de Tráfico

Mediante este canal se envían datos y voz, pudiendo enviarse también mensajes de señalización. La estructura es similar a la del canal de paging, con excepción de que se multiplexan PCBs (Bits de Control de Potencia). Se tienen 2 tipos de vocoder de acuerdo a la tasa base de bits que generan, donde cada uno puede manejar 4 tasas (múltiplos), con lo que se hacen necesarios 2 tipos de codificadores convolucionales, uno con tasa  $\frac{1}{2}$  y otro con tasa  $\frac{3}{4}$ . El vocoder con tasa mínima de 1.8 Kbps, tiene mejor calidad que el vocoder con tasa mínima 1.2 Kbps.

La repetición de símbolos se utiliza para reducir la potencia de transmisión, con lo que se reduce la interferencia en el espectro. Al aprovechar los espacios de silencio en las conversaciones, el vocoder disminuye la tasa de datos. Así, al duplicar un bit, la energía total que requiere el integrador, es la misma que necesitaría para integrar un bit con una tasa del doble.



- Modulador

La salida de los canales lógicos, alimenta la entrada del modulador. La ganancia de todos los canales de tráfico, paging, sincronía y piloto, primero se ajusta mediante la función de control de ganancia. La ganancia de cada canal (que cambia dinámicamente) determina con que potencia se hará la transmisión de dicho canal. Después del ajuste de ganancias, las señales (en las trayectorias I y Q por separado, de acuerdo con su fase) se suman coherentemente para formar una señal de espectro disperso, para después modular a su respectiva portadora. Ambas portadoras se suman con lo que se obtiene la señal QPSK a transmitirse.

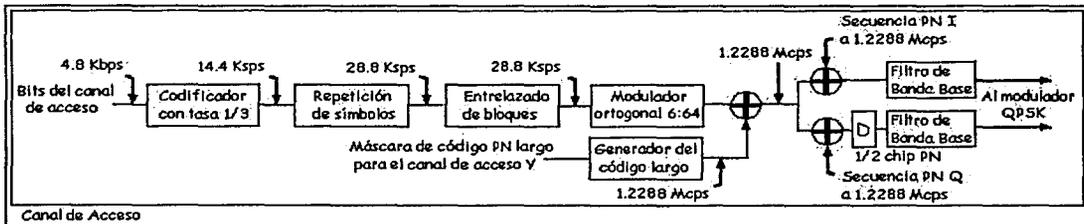
Up-link

El up-link consta de 2 tipos de canales lógicos: canal de acceso y canales de tráfico. Cada canal en el up-link se dispersa de forma ortogonal mediante una secuencia PN larga única, puesto que canal se identifica usando el código PN largo distintivo. Lo anterior se debe a la naturaleza no-coherente del up-link, por lo que las funciones Walsh no se utilizan para la canalización, pero si para distinguir entre distintos grupos de 6 símbolos transmitidos

- Canales de Acceso

Este canal lo utiliza la MSU para comunicarse con con la BTS cuando la MSU no tiene un canal de tráfico asignado. La MSU utiliza este canal cuando se necesita hacer una llamada y para responder a mensajes de paging y órdenes. Como la tasa de datos es de 4.8 Kbps, se emplea un codificador convolucional con tasa 1/3, con lo que se tiene una protección contra errores mas robusta en el up-link. Tiene repetición de símbolos, entrelazado y una codificación mediante la sustitución de bloques de 6 bits por códigos Walsh, dependiendo de la secuencia. Con lo anterior se hace mas sencillo para la BTS, conocer que 6 bits se transmitieron, pues puede conocer que código Walsh se transmitió al realizar la correlación de la secuencia recibida, con las 64 funciones Walsh conocidas.

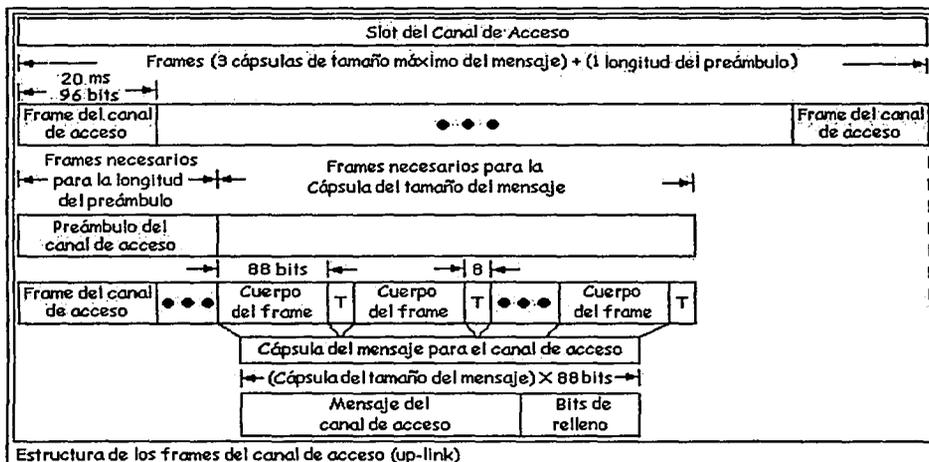
La información salida del modulador ortogonal a 4.8 Ksps (mdulación de símbolos) ó a 307.2 Ksps (codificación de símbolos) luego se dispersa por la secuencia PN larga a 1.2288 Mcps. La secuencia PN larga se utiliza para distinguir el canal de acceso de los demás canales en el up-link. Posteriormente la información se mezcla en las trayectorias I y Q, con las secuencias PN cortas, también a 1.2288 Mcps. Puesto que se utiliza modulación OQPSK en el up-link, la información en la trayectoria Q sufre un retraso de 1/2 chip PN.



El canal de acceso está conformado por slots, los cuales están a su vez formados por frames. Cada slot contiene el número de frames necesarios para formar:

- 3 "cápsulas de tamaño máximo del mensaje del canal de acceso".
- 1 "Longitud del preámbulo".

La "cápsula de tamaño del mensaje de acceso", es variable dependiendo de la longitud del mensaje actual por lo que no son necesarios tantos frames como los necesarios para completar las 3 "cápsulas de tamaño máximo del mensaje del canal de control" y siempre debe indicar una longitud menor al de las 3 "cápsulas de tamaño máximo del mensaje del canal de acceso".



Cada frame consta de 88 bits de información y 8 bits de cola. Los frames que no se encuentran en el preámbulo, los bits de información en el cuerpo del frame se combinan para formar la cápsula del mensaje, que contiene (88 X "cápsulas de tamaño del mensaje") bits. La cápsula del mensaje contiene el mensaje y bits de relleno. Existen 2 tipos de mensajes enviados mediante el canal de acceso: el mensaje de respuesta y el mensaje de petición.

Cada frame contiene 96 bits con una duración de 20 ms, lo que corresponde a la tasa de información en banda base de 4.8 Kbps.

- Canales de Tráfico

El canal de tráfico en el up-link, se utiliza para transmitir datos y voz de usuario, así como mensajes de señalización. La estructura de este canal es similar a la del canal de acceso. La mayor diferencia con respecto al canal de tráfico en el down-link, es el uso del dispositivo de "Burst de Datos Aleatorio" (Data Burst Randomizer). Este módulo se beneficia de los momentos de silencio en la conversación (considera la tasa del vocoder), reduciendo la potencia transmitida y por tanto, la interferencia.

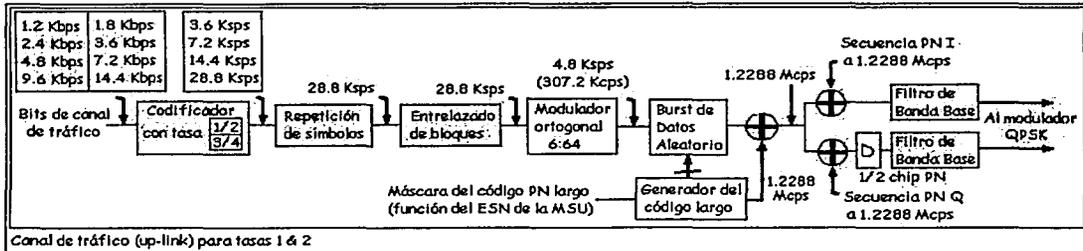
En el down-link, cuando la tasa del vocoder baja, la energía por símbolo a la salida del repetidor de símbolos también baja, con lo que se reduce la potencia transmitida y por tanto la interferencia. Esto implica que el integrador en el receptor (MSU) tardará un poco más en integrar cada símbolo pues necesita acumular cierto nivel de energía. Aquí no hay una importancia muy grande por el tiempo de respuesta del control de potencia, dado que la MSU mide el FER por un período de tiempo relativamente largo, para luego enviarlo de regreso a la BTS y que ésta ajuste la potencia en el down-link.

En el up-link, si existe una importancia por la velocidad del ajuste del control de potencia, dado que la BTS toma mediciones rápidas del  $E_b / N_0$  (Relación entre la Energía por bit y la Densidad de potencia del ruido), la BTS toma decisiones sobre el control de potencia y envía PCB a la MSU. La MSU necesita detectar de forma rápida cada símbolo y es por esto que no se puede perder tiempo en esperar a que el integrador acumule la cantidad de energía necesaria durante un período mayor a un período de símbolo.

Para el up-link, se debe considerar que cada frame del canal de tráfico, se divide en 16 Grupos de Control de Potencia (PCGs), cada uno con una duración de 1.25 ms. El bloque de "Burst de Datos Aleatorio" genera un patrón de 0s y 1s con lo que enmascara aleatoriamente los símbolos redundantes producidos por el repetidor de símbolos. Así, dependiendo de la tasa del vocoder, será la información que sea enmascarada:

Tasa 1 del Vocoder [Kbps]	Tasa 2 del Vocoder [Kbps]	Grupos de símbolos enmascarados [Kbps]
9.6	14.4	0
4.8	7.2	8
2.4	3.6	12
1.2	1.8	14

Aunque las salidas de los 2 tipos de vocoders sean distintas, a la salida del codificador convolucional tienen una misma tasa, por lo que el repetidor de símbolos opera a la misma tasa, y es por esto que el número de símbolos enmascarados por el bloque de "Burst de Datos Aleatorio" es el mismo.



- Formato del canal de tráfico (up-link y down-link)

Ambos enlaces tienen frames con duración de 20 ms, y un número de bits según la siguiente tabla:

Tasa del vocoder	Full rate (9.6 Kbps)	Half rate (4.8 Kbps)	¼ rate (2.4 Kbps)	1/8 rate (1.2 Kbps)
Número de bits	192 bits	96 bits	48 bits	24 bits

Todos los frames tienen bits de cola codificados (8 bits codificados al final de cada frame) y los frames con tasas full-rate y half-rate contienen bits de indicación de la calidad del frame (CRC - Check Redundancy Cyclic), los cuales van antes de los bits de cola (12 bits y 8 bits respectivamente). IS-95 también tiene la capacidad para multiplexar entre la información primaria (voz) y la secundaria (señalización y datos).

### 3 PROCESAMIENTO DEL CANAL

#### a. Introducción

El procesamiento del canal, comprende la parte del procesamiento de la voz de los usuarios, de tal forma que esta se envíe por medio de ondas electromagnéticas.

- Codificación / decodificación de voz (source coding)
- Codificación /decodificación del canal (channel coding: CRC, códigos convolucionales y entrelazado)
- Acceso múltiple (multiple access)
- Modulación /demodulación (modulate)
- Transmisión /recepción (transmission)

### **b. Codificación de voz**

Aunque la voz humana varía con el tiempo, su espectro es típicamente estacionario sobre un período de 20 a 40 ms. Esta es la razón por la que la mayoría de los vocoders producen frames con duración de este orden. IS-95 utiliza un vocoder que da una salida de 9.6 Kbps para la tasa 1 y genera frames con duración de 20 ms. Tiene la ventaja de ser variable y de sustituir el muestreo PCM (64 Kbps) que se utiliza para líneas fijas con mayor ancho de banda.

### **c. Codificación del canal**

#### CRC

Para minimizar los efectos del desvanecimiento rápido sobre la interface de radio, son utilizadas técnicas de introducción de bits de paridad y codificación convolucional, seguida de entrelazado de bits. Estas técnicas son implementadas sobre el burst de datos salidos del vocoder.

Primero se generan los bits de paridad mediante la utilización del CRC. Estos bits de paridad se obtienen a partir de la división de los siguientes 2 polinomios:

- El dividendo se obtiene a partir de los h bits que entran al generador de bits de paridad, donde cada bit de izquierda a derecha, representa un término del polinomio, para formar  $m(x)$ , que luego se multiplica por  $x^{(n-k)}$ , donde n es el número bits de entrada mas los de paridad, y k es el número de bits de información a la entrada. Esto es:  $x^{(n-k)}m(x)$ .
- Los divisores son los polinomios:  
Para full-rate  $g_{full-rate}(x) = x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^9 + x^8 + x^4 + x + 1$ , donde cada frame de 20 ms contiene 192 bits, de los cuales 172 son de información, 12 de calidad (redundancia) y 8 de fin de frame (ceros). De lo anterior se deduce que se toman los 12 bits mas importantes de cada grupo de 172 bits por frame, con los cuales se generan los 12 bits de calidad.  
Para half-rate  $g_{half-rate}(x) = x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + x + 1$ , donde cada frame de 20 ms contiene 96 bits, de los cuales 80 son de información, 8 de calidad (redundancia) y 8 de fin de frame (ceros). De lo anterior se deduce que se toman los 8 bits mas importantes de cada grupo de 80 bits por frame, con los cuales se generan los 8 bits de calidad.
- El residuo de la división es el polinomio:  $q(x)$ , de donde se obtienen los bits de paridad. Para los términos que se generan, se toma un 1 como el bit de paridad, y un 0 para los que no se generan.

#### Códigos Convolucionales

IS-95 utiliza distintos polinomios generadores en up-link y en el down-link, y estos son:

- uplink:  $g'(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$  y  $g''(x) = x^8 + x^5 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ . Se confirma que se tiene una tasa de  $\frac{1}{2}$  al obtener 2 bits a la salida por cada bit a la entrada.

- down-link:  $g'(x) = x^8 + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + 1$ ,  $g''(x) = x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + x + 1$  y  $g'''(x) = x^8 + x^5 + x^2 + x + 1$ . Se confirma que se tiene una tasa de 1/3 al obtener 3 bits a la salida por cada bit a la entrada.

### Entrelazado

IS-95 utiliza una matriz de 32 renglones por 18 columnas (full-rate) y una de 24 renglones y 16 columnas (half-rate), para cargar el mensaje. Se trunca el mensaje en el número de columnas (según la tasa) para posteriormente cargarse en la matriz renglón por renglón. Posteriormente se toma la información columna por columna, de arriba abajo, para ser enviada por el canal de radiofrecuencia.

### **d. Modulación**

El sistema utiliza modulación QPSK tanto para el up-link como para el down-link. QPSK es un tipo de modulación mediante la cual se pueden transmitir 2 bits de información por período de símbolo, para lo cuál se necesitan 4 símbolos. Las componentes (la trayectoria I en fase y la trayectoria Q en cuadratura) pueden combinarse que se interfieran mutuamente debido a que ambas son ortogonales entre sí. El up-link utiliza una variante de QPSK denominada OQPSK (QPSK con Offset). La diferencia radica en que después de agregar las secuencias PN cortas, la información en la trayectoria Q sufre un retraso de  $\frac{1}{2}$  chip. Posteriormente entran ambas señales al modulador QPSK (aunque ya se produjo la variante). Esto se hace para evitar una transición de 180 grados en la fase, como ocurre en la modulación QPSK convencional. Cuando la transición de 180 grados ocurre, en el dominio del tiempo, la envolvente de la señal colapsa y momentáneamente alcanza el cero. Este cruce por cero demanda un rango dinámico muy alto del amplificador de potencia. Con OQPSK, el retraso extra de  $\frac{1}{2}$  chip en la trayectoria Q, asegura que no haya dichas transiciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] **91CLNE** Clark, Martin P. *Networks and Telecommunications. Design and Operation*. Wiley and Sons. EUA, 1991
- [2] **89BLDN** Black, Uyless. *Data Networks. Concepts, Theory and Practice*. Ed. Prentice – Hall. EUA, 1989. Pp. 877
- [3] **83SPDN** Spohn, Darren L. *Data Network Design*. Ed. Mc. Graw – Hill. EUA, 1983. Pp.778
- [4] **91SCTI** *Información sobre Telecomunicaciones. Cronología de la Telefonía en México*. Comisión Federal de Telecomunicaciones, SCT. México, 1991.
- [5] **99SCTC** *Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. Uso del Espectro Radioeléctrico para los Servicios de Radiocomunicación*. Área General de Ingeniería y Tecnología, Comisión Federal de Telecomunicaciones, SCT. México, 1999.
- [6] **00INSI** *Síntesis de Información sobre Datos Generales de Distribución de la Población 1990 - 2000*. Área de Difusión. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, 2001.  
<http://www.ineg1.gob.mx/difusion/espanol/poblacion/definitivos/nal/sintesis/poblacion.pdf>
- [7] **01SCTE** *Estadísticas de Telecomunicaciones*. Área Económica, Comisión Federal de Telecomunicaciones, SCT. México, 2001.  
[http://www.cofetel.gob.mx/frame\\_economico\\_estadisticas.html](http://www.cofetel.gob.mx/frame_economico_estadisticas.html)
- [8] **97DEFU** Delli Priscoli, Francesco. "Functional Areas for Advanced Mobile Satellite Systems". Personal Communications Interactive, IEEE, 1997.
- [9] **ITUS53** Recomendación Número S5.388 de la Parte de Radio de la Norma IMT-2000. Bandas Básicas (*core – band*). Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, WARC/92. 1992
- [10] **99YOAW** Young Ki Yoon, *et al.* *A Wireless Local Loop System Based on Wideband CDMA Technology*. Topics in Personal Communications. IEEE Communications Magazine, IEEE. Octubre, 1999.
- [11] **97YULO** Yu, Christopher C. *et. al.* *Low-Tier Wireless Local Loop Radio Systems – Part 1: Introduction*. IEEE Communications Magazine, IEEE. Marzo, 1997.
- [12] **98NOWI** Noerpel, Anthony R., *et. al.* *Wireless Local Loop: Architecture, Technologies and Services*. IEEE Personal Communications, IEEE. Junio, 1998.
- [13] **82ROPA** Rosner, Roy D. *Packet Switching*. Van Nostrand Reinhold Company. New York, EUA, 1982.
- [14] **00LEAM** Lei, Zhu, *et. al.* *A Multicarrier Allocation Scheme for Variable-Rate 3Gwireless Systems*. IEEE Communications Magazine, IEEE. Octubre, 2000.
- [15] **98ADWC** Adachi, Fumiuyki, *et. al.* *Wideband DS-CDMA for Next-Generation Mobile Communication Systems*. IEEE Communications Magazine, IEEE. Septiembre, 1998.

## Bibliografía

---

- [16] **96RAWI** Rappaport, Theodore S. *Wireless Communications. Principles and Practice*. Prentice – Hall. EUA, 1996
- [17] **00NAAD** Nanda Sanjiv, *et. al.* *Adaptation Techniques in Wireless Packet Data Services*. IEEE Communications Magazine, IEEE. Enero, 2000.
- [18] **99SAPD** Salkintzis, Apostolis K. *Packet Data over Cellular Networks: The CDPD Approach*. IEEE Communications Magazine, IEEE. Junio, 1999
- [19] **01GTDI** CCP. III/REC. 61 (XVII – 01) [1] Disposiciones de Frecuencia para Sistemas Móviles 3G. Comité Consultivo Permanente III: Radiocomunicaciones. Grupo de Trabajo GTM – 8F (IMT – 2000). CITELE. 8 de Marzo, 2001.
- [20] **01SAUM** Santos Pinto, Hugo. "UMTS Radio Interface Roll Out Aspects". IEEE Vehicular Technology Society News Magazine, IEEE. Agosto, 2001.
- [21] **01FCSS** Federal Communications Commission, "Spectrum Study of the 2500 – 2690 MHz Band: Final Report". Office of Engineering and Technology, Wireless Telecommunications Bureau, FCC, EUA. Marzo 30, 2001.
- [22] **97SKRA** Sklar, Bernard. "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communications Systems II, Mitigation". IEEE Communications Magazine. IEEE, Julio, 1997.
- [23] **93YOAS** Young, Ki Yoo. *et. al.* "A Spread – Spectrum multiaccess system with co – channel interference cancellation for multipath fading channels". IEEE JSAC, vol. JSAC-11. No. 7, IEEE. Septiembre, 1993.
- [24] **97TSWI** Tsoulos, G. *et. al.* "Wireless Personal Communication for the 21<sup>st</sup> Century: European Technological Advances for Adaptive Antennas". IEEE Communications Magazine, IEEE. Septiembre, 1997.
- [25] **98WISM** Winters, J. H. *Smart Antennas for Wireless Systems*. IEEE Personal Communications, Vol. 5. No. 1, IEEE. Febrero, 1998.
- [26] **94WITH** Winters, J. H. *et. al.* *The Impact of Antenna Diversity on the Capacity of Wireless Communications Systems*. Transactions on Communications, IEEE. Febrero a Abril, 1994.
- [27] **00JA3G** Jana, Rittwik. Dey, Subhrakanti. *3G Wireless Capacity Optimization for Widely Spaced Antenna Arrays*. IEEE Personal Communications, IEEE. Diciembre, 2000.
- [28] **99POAN** Ponnekanti, Seshaiiah. "An Overview of Smart Antenna Technology for Heterogeneous Networks". IEEE Communications Surveys vol. 2 No. 4, IEEE – University of Hertfordshire. Octubre – Diciembre, 1999.
- [29] **01NESM** Pérez-Neira, Anna. Rodríguez, Javier "Smart Antennas in Software Base Stations". IEEE Communications Magazine, IEEE – Universidad Politécnica de Cataluña. Febrero, 2001.
- [30] **98SMPR** Smith, Clint P.E. *Practical Cellular and PCS Design*. Ed. Mc. Graw – Hill. EUA, 1998.
- [31] **00STMO** Steele, Raymond; Hanzo, Lajos. *Mobile Radio Communications; Segunda Edición; Second and Third Generation Cellular and WATM Systems*. Editorial Wiley. EUA, 2000.

[32] **99YACD** Yang, Samuel C. CDMA RF System Engineering. Editorial Artech House. EUA, 1999.

## GLOSARIO

### A

ACTS	Advanced Communications Technologies and Services
AMPS	American Mobile Phone System
ARIB	Association of Radio Industry and Bussines (Japón)

### B

BER	Bit Error Rate
BHCA	Busy Hour Call Attempt
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station

### C

CDMA	Code Division Multiple Access
CDPD	Cellular Digital Packet Data
COFETEL	Comisión Federal de Telecomunicaciones
CSD	Cellular Switched Data

### D

DECT	Digital Enhanced Cordless Telephone
DSM	Direct Spread Modulation

### E

ERP	Efective Radiated Power
ESMR	Enhanced Specialized Mobile Radio
ETSI	European Telecommunications Standard Institute

### F

FDD	Frequency Division Duplex
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications System
FRAMES	Future Radio Wideband Multiple Access System

### G

GSM	Global System for Mobile Communication
-----	--

### H

HMM	High MultiMedia Asymmetrical Services
-----	---------------------------------------

### I

IMT – 2000	International Mobile Telecommunications – 2000
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
ISI	Inter Symbol Interference

### M

MAI	Multi – Access Interference
MCM	Multi – Carrier Modulation
MMM	Medium MultiMedia Asymmetrical Services
MSC	Mobile Switch Center
MSS	Mobile Satellite Service

## GLOSARIO

---

### **N**

NBPP Number of Bytes per Packet  
NPCPS Number of Packet Calls Per Session  
NPPPC Number of Packets per Packet Call

### **O**

### **P**

PACS  
PCIT Packet Call Inter-arriving Time  
PCS Personal Communications Services  
PIT Packet Inter-arriving Time  
PWT

### **Q**

QoS Quality of Service

### **R**

RTPC Red Telefónica Pública Conmutada

### **S**

SIR Signal to Interference Ratio  
SMS Short Message Service  
SUNMBEAM Smart Universal Beamforming

### **T**

TDD Time Division Duplex  
TDMA Time Division Multiple Acces  
TSUNAMI Technology in Smart Antennas for Universal Advanced Infrastructure

### **U**

UIT Unión Internacional de Telecomunicaciones  
UMTS Universal Mobile Telecommunications System  
UTRA Universal Mobile Telecommunications System, Terrestrial Access

### **V**

### **W**

WCDMA Wideband Code Division Multiple Access  
WLL Wireless Local Loop