



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

CONCEPTOS BÁSICOS DE TELEFONÍA CELULAR

M O N O G R A F Í A
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A
JUAN CARLOS LARA TAPIA

ASESOR DE MONOGRAFÍA
ING. MARIANO ARUMIR RIVAS

PACHUCA DE SOTO, HIDALGO. MARZO DE 2006

Objetivo.

El objetivo de la presente investigación es proporcionar información relacionada con la telefonía celular, presentando las características, limitaciones y ventajas de las diferentes tecnologías disponibles comercialmente en comunicaciones celulares. Las redes de telefonía celular tienen muchas variantes y su desarrollo está teniendo gran influencia en la capacidad de usuarios que soportan y los servicios que ofrecen. Por ello se abordan temas específicos de los componentes más comunes que conforman la red celular, además se explica el funcionamiento particular y conjunto de cada una de las partes y se pone a disposición de los estudiantes de ingeniería, de tal manera que sea una fuente de consulta útil entorno a este tema.

Justificacion.

El desarrollo desmedido de la tecnología está causando que cada día nuestra vida dependa más de diversas comodidades, una de ellas es la telefonía celular, este fenómeno es más común en zonas densamente urbanizadas, donde la comunicación inalámbrica es de vital importancia dado que la globalización así lo ha establecido. Lo que ha motivado este trabajo es la rapidez con que cambia esta rama de las telecomunicaciones y la cercanía que existe con ella, ya que en los últimos años ha tenido un crecimiento cercano al cien por ciento, respecto a años anteriores, y su uso en todos los sectores de la población es cada vez mas frecuente. Las comunicaciones inalámbricas en la actualidad están ofreciendo una serie de servicios adicionales a la comunicación de voz, lo que hace tan atractiva la adquisición de equipos de comunicación móvil. La telefonía celular hace posible la movilidad de las personas, es decir, una persona puede ser localizada con mayor facilidad que en años pasados. Incluso cuando es tan común esta tecnología entre nosotros, es de difícil comprensión la variedad de información acerca de este tema, así que nos damos a la tarea de investigar algunos de los parámetros importantes de una red de telefonía celular.

Introducción.

El presente trabajo está enfocado a todas aquellas personas interesadas en esta rama de las telecomunicaciones, es por ello que nuestro objeto de estudio lo abordamos desde su nacimiento y antecedentes, mostrando la cronología de eventos que fueron formando lo que ahora conocemos como telefonía celular, así como los parámetros y características que definen el concepto celular, este trabajo se desarrolla en cinco capítulos como sigue:

En el Capítulo I se lleva a cabo una semblanza de los acontecimientos que definieron de alguna manera el rumbo de la telefonía inalámbrica, desde la primer red de radiotelefonía móvil implementada por los Laboratorios Bell y la empresa de comunicaciones AT&T la cual planteaba un modelo diferente al que ahora conocemos. Así como una sección de lo que ha sido la introducción de los servicios de telefonía celular en nuestro país y los principales proveedores de servicio que en la actualidad operan esta tecnología.

En el Capítulo II se mencionan los conceptos que implican el concepto celular, haciendo referencia a las células, sus características y funcionalidades, tales como los tipos de células y el traspaso de llamadas entre células, es así como en este capítulo se define de manera simplificada la propuesta de los Laboratorios Bell de dividir el área de cobertura en copias de menor tamaño del sistema original, para incrementar las capacidades del sistema.

El Capítulo III se ha desarrollado entorno a la arquitectura celular, donde cada una de las partes que conforman el sistema tal como la unidad móvil, la estación base y la central de conmutación de telefonía móvil, se define su importancia y aplicación dentro de la red. Una vez que se han definido los parámetros más importantes que conforman la telefonía celular en el Capítulo IV se estudia la evolución de la telefonía celular por generaciones, haciendo mención de las tecnologías de acceso que utiliza y lo más destacado de cada una de estas, sirviendo como base al siguiente capítulo.

En el Capítulo V nos enfocamos en los estándares de telefonía celular más importantes que fueron implementados en diferentes partes del mundo y que por sus características muy particulares permitieron que la tecnología celular continuara su búsqueda de opciones que permita más y mejores servicios al usuario. En este trabajo también

se incluyen conceptos básicos de la telefonía celular. De tal manera que se abordan características técnicas de estas redes como: elementos de la red de telefonía, tecnologías de acceso y estándares de comunicación. Este trabajo queda a disposición de cualquier interesado que desee profundizar en los aspectos de la telefonía celular.

Agradecimientos.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres Marcelino y Minerva que me han conducido con amor y paciencia. Gracias por darme la libertad de elegir mi futuro, por brindarme con las manos abiertas su apoyo y su confianza en mi preparación.

También agradezco a Martha, mi compañera de toda la vida, por el apoyo que me ha brindado en todo momento, de cuya orientación y consejos se ha visto favorecida la elaboración de este trabajo.

A mi asesor Ing. Mariano Arumir, cuya experiencia y apoyo contribuyeron extraordinariamente a la redacción de este cúmulo de conocimientos.

Índice general

Objetivo	I
Justificación	III
Introducción	V
Agradecimientos	VII
1. ANTECEDENTES DE LA TELEFONÍA CELULAR.	1
1.1. Antecedentes de la telefonía celular en el mundo.	1
1.2. Antecedentes de la telefonía celular en México.	8
2. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA RED DE TELEFONÍA CELULAR.	13
2.1. La célula.	13
2.1.1. Propiedades de la Geometría Celular.	14
2.1.2. Célula omnidireccional.	15
2.1.3. Célula sectorial.	15
2.1.4. Clasificación de células.	19
2.1.5. Diseño de células.	20
2.1.6. Funcionalidades celulares.	30
3. ARQUITECTURA DE LA RED DE TELEFONÍA CELULAR.	35
3.1. Concepto básico de sistema de telefonía celular.	35
3.2. Estación Móvil (MS; Mobile Station)	36
3.2.1. Módulo de Radio Frecuencia.	36
3.2.2. Modulo de Antena	37
3.2.3. Unidad lógica.	37
3.2.4. Módulo de control.	39
3.2.5. Módulo de interfase de usuario.	39
3.2.6. Módulo Sintetizador.	39
3.2.7. Identificadores.	40
3.2.8. Tipos de MS.	42
3.3. Estación Base (BS, Base Station).	43

3.3.1. Controlador de Estación Base (BSC, Base Station Controller). . .	46
3.4. Central de conmutación de telefonía móvil (MTSO).	47
3.4.1. Características generales del MTSO.	48
4. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES.	53
4.1. PRIMERA GENERACIÓN.	53
4.1.1. Funcionamiento de la Primera Generación.	57
4.2. SEGUNDA GENERACIÓN.	59
4.2.1. Funcionamiento de la Segunda Generación.	62
4.2.2. GENERACIÓN 2.5.	67
4.3. TERCERA GENERACIÓN.	70
5. ESTÁNDARES DE TELEFONÍA CELULAR	77
5.1. SISTEMA AVANZADO DE TELEFONÍA MÓVIL (Advanced Mobile Phone System, AMPS)	77
5.1.1. Conceptos básicos AMPS.	77
5.1.2. Los canales AMPS.	78
5.1.3. TONO SUPERVISOR DE AUDIO (Supervisory Audio Tone, SAT)	80
5.1.4. Tono de señalización (Signaling Tone, ST)	81
5.1.5. Funcionamiento celular AMPS	81
5.1.6. Itinerancia(Roaming)	83
5.2. AMPS de Banda Estrecha (Narrow Band Advanced Mobile Phone Sys- tem, NAMPS)	84
5.3. Total Access Communications Systems (TACS)	86
5.3.1. Handoff	88
5.3.2. Servicios básicos que soporta el sistema	88
5.3.3. Operación y Mantenimiento	88
5.4. Nordic Mobile Telecommunications (NMT)	88
5.5. Global System for Mobile Communications (GSM)	89
5.5.1. Arquitectura GSM:	91
6. CONCLUSIONES	105
Glosario	106
Bibliografía	113

Índice de Tablas

1.1. Asignación de frecuencias de telefonía celular en México.	9
2.1. Distancia co-canal en función del número de células por grupo.	24
3.1. Niveles de potencia máxima en transmisores móviles.	37
5.1. Asignación de frecuencias AMPS.	78
5.2. Niveles de potencia de los terminales AMPS.	80
5.3. Modulación de señales en AMPS.	80
5.4. Clases de potencia para la MS GSM.	94

Índice de figuras

1.1.	Primer servicio radiotelefónico móvil en E.E.U.U. por Bell Labs y AT&T.	2
1.2.	CNETZ 54BIG de NOKIA para montaje en automóvil.	3
1.3.	Asignación de frecuencias de servicios de telefonía móvil.	3
1.4.	Operadora del servicio MTS.	4
1.5.	El Dr. Cooper realizó la primera llamada desde un teléfono portátil en 1973 en la ciudad de Nueva York.	5
1.6.	Espectro asignado al sistema de telefonía celular.	6
1.7.	Logo característico de GSM.	7
1.8.	Evolución de la telefonía celular desde sus inicios hasta nuestros días.	8
1.9.	Millones de usuarios de telefonía celular en México.	10
1.10.	Regiones en que se divide la República Mexicana y las compañías operadoras en las dos bandas asignadas.	11
1.11.	Principales operadores de servicios de telefonía móvil en México.	11
2.1.	El área dentro del círculo determina la cobertura de la célula.	13
2.2.	Cualquiera de estos polígonos puede ser utilizado para el diseño de células, pero el hexágono es el que tiene una mayor cobertura sobre los demás.	14
2.3.	Célula omnidireccional y su representación teórica.	15
2.4.	Estación Base cubriendo tres células.	16
2.5.	Formación de una célula sectorial a partir de tres BS.	17
2.6.	Traslape entre células sectoriales y su representación teórica.	18
2.7.	Torre con antenas sectoriales.	18
2.8.	Clasificación de células.	19
2.9.	La densidad de tráfico es mucho menor en el área rural que en el área urbana.	20
2.10.	Conjunto de células llamada cluster.	21
2.11.	Reutilización de frecuencias en un conjunto de células.	22
2.12.	Reutilización de frecuencias.	22
2.13.	Distancia de reutilización de frecuencias.	24
2.14.	Distancia de reutilización de frecuencias.	24

2.15. La célula puede tener cualquiera de estas formas, según el enfoque con que se esté trabajando.	26
2.16. División de un sistema celular en células más pequeñas.	27
2.17. El retraso de la señal puede alterar los datos y causar problemas de audio.	29
2.18. La comunicación entre la MS y la BS utiliza dos canales diferentes separados 45 MHz para evitar interferencias.	31
2.19. El proceso de paging se encarga de localizar la MS dentro de un conjunto de células.	32
2.20. Entre la BS y MS existe una comunicación previa a la recepción de una llamada.	33
2.21. El traspaso de llamadas entre células es coordinado por el MTSO.	34
3.1. Arquitectura de la red de telefonía celular)	36
3.2. Diagrama a bloques del módulo de radio frecuencia	38
3.3. Antena externa e interna utilizada en equipos de telefonía móvil.	38
3.4. Diagrama a bloques del Modulo de control.	39
3.5. Diagrama a bloques del módulo sintetizador.	40
3.6. Al solicitar algún servicio de telefonía a través del MS, este envía el MIN y ESN propios para ser validados y poder utilizar la red.	41
3.7. Al solicitar algún servicio de telefonía a través del MS, este envía el MIN y ESN propios para ser validados y poder utilizar la red.	42
3.8. Estación móvil (MS).	43
3.9. La estación base es la interfase entre la MS y red celular.	44
3.10. Una BS cuenta con un sistema de antena que puede ser a) Antena omnidireccional, b) y c) Antena sectorial.	44
3.11. El equipo que incluye la BS se encuentra alojado al interior de una caseta.	46
3.12. Las antenas de telefonía móvil se instalan en torres de dos tipos, a) Arriostrada, b) Auto soportada.	47
3.13. El enlace de la BS con el MTSO, se lleva a cabo mediante enlaces de microondas.	48
3.14. Centro de Conmutación de Telefonía Móvil.	49
3.15. Tanto la HLR y la VLR se alojan en gabinetes especiales debido a que son dispositivos de almacenamiento y su tamaño varia según la capacidad de la red celular.	50
3.16. La telefonía móvil proporciona servicios típicos de la telefonía fija, según las capacidades del MTSO.	51
4.1. Estructura de los sistemas de telefonía celular de primera generación.	53
4.2. AMPS de banda angosta.	54
4.3. Las células de primera generación se caracterizaron por que implementan el traspaso de llamadas entre células.	56
4.4. La voz se modula en FM y se coloca en un canal disponible del ancho de banda asignado.	57

4.5. Acceso Múltiple por División de Frecuencia..	58
4.6. Los fabricantes más destacados de equipos GSM.	60
4.7. QUALCOMM principal promotor y pionero de CDMA.	61
4.8. Apariencia de un equipo de segunda generación.	63
4.9. Tres usuarios utilizando un canal TDMA en intervalos de tiempo distinto.	64
4.10. Estructura de la trama TDMA.	64
4.11. Acceso Múltiple por División de Tiempo.	65
4.12. Los equipos 2.5G se caracterizan por su capacidad de transferencia de datos y acceso a redes..	68
4.13. La generación 3G destaca por su enfoque en servicios multimedia de alta velocidad.	71
4.14. CDMA se caracteriza por asignar códigos.	72
4.15. Canales CDMA en la Banda celular.	73
4.16. Acceso Múltiple por división de código.	74
5.1. Para evitar interferencias entre canales hay una separación de 45 MHz.	78
5.2. Separación entre frecuencias de transmisión y recepción.	79
5.3. Uso y numeración de canales.	79
5.4. El SAT es enviado a través del canal de voz para indicar la continuidad de la conversación.	81
5.5. La MS esta en comunicación constante con la BS por medio del canal de control.	82
5.6. Proceso de Registro de la MS AMPS.	83
5.7. Proceso de solicitud de llamada AMPS.	84
5.8. Canal de 30KHZ del sistema AMPS.	85
5.9. Tres canales del sistema NAMPS.	85
5.10. Asignación del espectro para TACS y ETACS.	86
5.11. Equipo de almacenamiento de información del sistema TACS.	87
5.12. Arquitectura GSM.	92
5.13. La tarjeta SIM contiene información específica del usuario en la red GSM.	93
5.14. Subsistema de Estación Base.	95
5.15. Estación Base Transceptora.	96
5.16. Subsistema de Red y Conmutación.	97
5.17. Subsistema de Estación Base.	99
5.18. Traspaso de llamada entre células adyacentes.	102

Capítulo 1

ANTECEDENTES DE LA TELEFONÍA CELULAR.

1.1. Antecedentes de la telefonía celular en el mundo.

Aunque la teoría celular apareció cierto tiempo después, la telefonía a través de señales de radio se utiliza desde las primeras décadas del siglo pasado. En el año de 1920, en Detroit, Estados Unidos, nacen las primeras redes de comunicación móvil. Eran sistemas de radio comunicación utilizados por el cuerpo de policía que trabajaban en ese entonces a 2 MHz. Una década más tarde fueron utilizados por la policía de la ciudad de Nueva York. En 1927, los Estados Unidos y el Reino Unido, establecieron el primer enlace intercontinental de banda corta entre ambos países; este servicio contaba con catorce canales dedicados y un transmisor principal ubicado en Inglaterra. En 1940 la FCC dispuso nuevas frecuencias para la radio móvil en la banda de frecuencia de 30 MHz a 40 MHz. Sin embargo, hasta que los investigadores desarrollaron técnicas de modulación en frecuencia, para mejorar la recepción en presencia de ruido electrónico y desvanecimiento de señales, la radio móvil se convirtió en útil. La empresa Bell Labs junto con AT&T introdujo el primer servicio radiotelefónico móvil (Mobile Radio-Telephone Service) en los Estados Unidos el 17 de junio de 1946 en San Luis, Missouri.

El sistema operaba con 6 canales en la banda de 150 MHz con un espacio entre canales de 60 KHz y una antena muy potente. Este sistema se utilizó para interconectar usuarios móviles (usualmente autos) con la red telefónica pública, permitiendo así, llamadas entre estaciones fijas y usuarios móviles. Estos sistemas telefónicos móviles se basan en una transmisión de Frecuencia Modulada (FM). La mayoría de estos sistemas utilizaban un solo transmisor muy poderoso para proveer cobertura a más de 80 Km desde la base. Este sistema se conocía como Servicio Telefónico Móvil (Mobile Telephone Service, MTS). [14] Los canales de telefonía móvil de FM evolucionaron a 120 KHz del espectro para transmitir la voz con un ancho de banda de 3KHz. Aunque se esperaban mejoras en la estabilidad del transmisor, en la figura de ruido y en el ancho

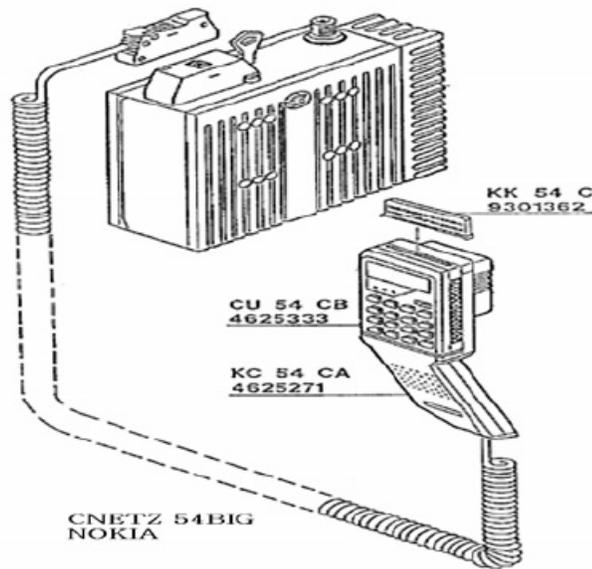


Figura 1.2: CNETZ 54BIG de NOKIA para montaje en automóvil.

En 1958, la Richmond Radiotelephone Co. mejoró su sistema de marcado conectando rápidamente las llamadas de móvil a móvil. En los años subsecuentes, se asignaron frecuencias para sistemas de telefonía móvil en todo el mundo; sin embargo, los equipos no eran capaces de evitar interferencias lo cual limitaba el número de canales disponibles.

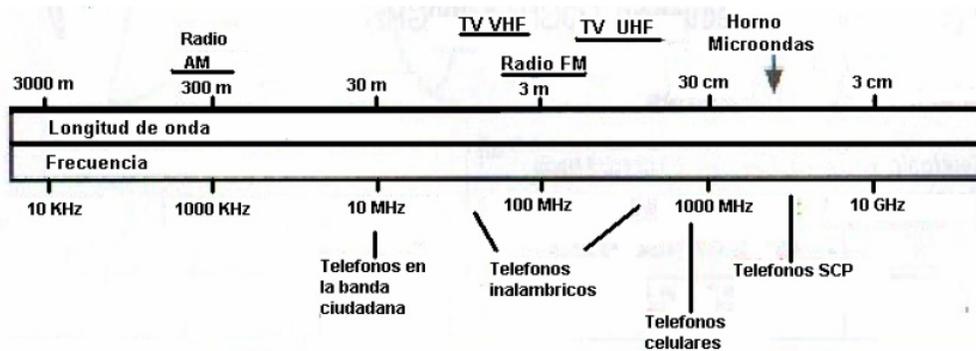


Figura 1.3: Asignación de frecuencias de servicios de telefonía móvil.

A mediados de los 60s el Sistema Bell introdujo el Servicio Telefónico Móvil Mejorado (Improved Mobile Telephone Service, IMTS) con características mejoradas. Antes de IMTS los sistemas de telefonía móvil operaban sólo en el modo manual. Esto elimi-

nó la necesidad de la operación push-to-talk (oprimir-para-hablar) y les permitía a los clientes marcar directamente sus llamadas sin la ayuda de una operadora. [30]



Figura 1.4: Operadora del servicio MTS.

IMTS se caracterizó por asignar un número telefónico único, el canal de voz era ocupado por varios usuarios, pero solo uno a la vez, lo que ocasionaba tiempos de espera de hasta 30 minutos ó más. Las frecuencias no eran reutilizadas en células adyacentes para evitar la interferencia en estos primeros sistemas celulares. En enero de 1969 la Bell System aplicó por primera vez el rehuso de frecuencias en un servicio comercial para teléfonos públicos de la línea del tren de N.Y. a Washington, D.C. Para desarrollar este sistema se utilizaron 6 canales en la banda de 450 MHz en nueve zonas a lo largo de una ruta de 380 Km. En 1971 se propuso el concepto celular como un avanzado sistema de comunicación móvil. Esta idea proponía el reemplazo de las estaciones base ubicadas en el centro de la ciudad por múltiples copias de tales estaciones de menor potencia distribuidas a lo largo del área de cobertura. También a principios de los 70's se inventó el microprocesador; aunque los algoritmos complejos de control se implantaban en lógica con cables. Otra mejora fue en el uso de un enlace de control digital entre el teléfono móvil y la estación base. [14]

La telefonía celular en el mundo da sus primeros pasos cuando el Dr. Martin Cooper, un ejecutivo norteamericano que trabajaba para Motorola Company, atestiguado por la revista Popular Science realizó la primera llamada celular el 3 de abril de 1973 en las calles de Nueva York. El Dr. Cooper fue el primero en desarrollar y poner a prueba el teléfono portátil, DynaTAC que significa Dynamic Total Access Communications System de la compañía Motorola. En esta misma década la compañía Motorola empezó a

desarrollar dispositivos portátiles de comunicación para el consumo masivo. [19]



Figura 1.5: El Dr. Cooper realizó la primer llamada desde un teléfono portátil en 1973 en la ciudad de Nueva York.

En 1974, la FCC proporcionó un ancho de banda de 40 MHz adicionales para el servicio de radio celular en la banda de 800 MHz (825 a 845 MHz y 870 a 890 MHz). En 1978, en EE.UU. comenzó a operar el Servicio Telefónico Móvil Avanzado (Advanced Mobile Phone Service, AMPS) proporcionado por la empresa AT&T. En ese año, 10 células cubrían 355 000 km cuadrados en el área de Chicago, operando en las nuevas frecuencias en la banda de 800 MHz. Esta red utilizaba circuitos integrados LS, una computadora dedicada y un sistema de conmutación. La decisión de la FCC para escoger la banda de 800 MHz para los sistemas celulares fue debido a limitaciones severas de espectro en las bandas de más baja frecuencia ocupadas por otros servicios como la televisión, radio en FM, radiocomunicación móvil, entre otros. En mayo de 1978 empieza a operar un sistema AMPS en Arabia Saudita. [27]

En 1979 aparece el primer sistema comercial en Tokio Japón por la compañía NTT (Nippon Telegraph & Telephone Corp). Esta desarrolló un sistema de telefonía móvil similar al AMPS en la banda de los 800-900 MHz Este sistema permitía un total de 600 canales de 25 KHz. [8] En 1980, la FCC reconsideró la estrategia de mercado único y estudio la posibilidad de dividir el espectro de 40 MHz en dos portadoras por área de servicio. La idea era eliminar la posibilidad de un monopolio y proporcionar las ventajas que acompañan a un ambiente de competencia. Entonces, estos 40 MHz se repartirían entre dos concesionarios, tocándole a cada uno un espectro de 20 MHz identificados como bloque A y bloque B o mejor conocidos como banda A y banda B. La banda A se definió para las compañías sin líneas fijas y la banda B se definió para las compa-

ñas con líneas fijas. De esta manera la Bell System operaría en la banda B y para el caso de Chicago la banda A sería operada por Ameritech a partir de octubre de 1983. [8]

En 1982, cuando aparecieron los primeros servicios celulares comerciales, la CEPT (Conference Européenne des Postes et Telecommunications) tomó la iniciativa de formar un grupo de estudio llamado Groupe Special Mobile (GSM), para estudiar y desarrollar un sistema telefónico móvil terrestre y público común para Europa en la banda de 900 MHz, banda que había sido reservada por la World Administrative Radio Conference (WARC) en 1978.

El DynaTAC 8000X desarrollado por Motorola junto con AT&T se convirtió en el primer teléfono celular portátil aprobado por la FCC en 1983, el cual se puso en marcha en Baltimore y en Washington D.C. por la compañía Cellular One el 16 de diciembre de 1983. A partir de este momento, en Europa, Latinoamérica y otros rincones del mundo, empiezan a operar diversas compañías de telefonía celular a ofrecer el servicio en sus respectivas regiones. [19]

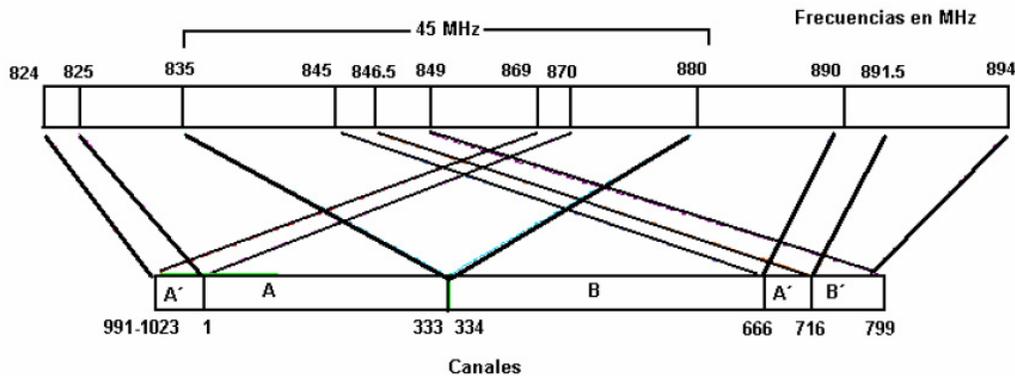


Figura 1.6: Espectro asignado al sistema de telefonía celular.

En Canadá en 1983 surge el estándar AURORA-400 utilizando equipo de GTE y NovAtel. Este sistema llamado descentralizado opera en los 420 MHz y utilizaba 86 células, funcionando mejor en áreas rurales por su poca capacidad pero cobertura amplia. En Europa, el sistema celular NMT450 (Nordic Mobile Telephone System) inició operaciones en Dinamarca, Suecia, Finlandia y Noruega en el rango de 450 MHz en 1981, Este sistema celular opera en la banda de 450 MHz (base 463-467.5, móvil 543-547.5) con un ancho de banda total de 10 MHz con canales de 25 KHz. Este sistema no tiene transferencia de celda (handoff) ni capacidades de roaming. Utiliza repetidores para incrementar la cobertura en áreas de bajo tráfico. En 1985 la Gran Bretaña empezó a usar TACS (Total Access Communications System) en la banda de 900 MHz, desarro-

llado por Motorola. El cual tenía un número total de 1000 canales (600 asignados y 400 reservados) con un ancho de banda de 25 KHz por canal. Cellnet y Vodafone son los dos competidores con el sistema TACS en el Reino Unido. Más tarde, Alemania Occidental implementó C-Netz, Francia desarrolla Radiocom 2000 e Italia RTMI/RTMS (Radio Telephone Mobile System). La diversidad de estándares no permitía compatibilidad alguna entre los sistemas mencionados, a diferencia de los Estados Unidos que no tenía este problema de incompatibilidad. Otros sistemas celulares fueron implementados en diversos países con características similares al sistema europeo y al americano. [22]

En 1986 se adicionaron 5 MHz a cada banda, correspondiéndole a cada concesionario un ancho de banda total de 25 MHz. Como a cada canal tiene asignado 30 KHz, en total suman 832 canales por banda. Como se asignan 42 canales para señalización y control, el número de canales para voz se reduce a 790. Del espectro original A, se designaron A y como adición A', y para el espectro B fue agregado B'. Al espectro con las bandas A y B se le conoce como NES (Non Es spread Spectrum), y a la suma de estas bandas con A'y B'se le conoce como ES (Es spread Spectrum). [14]

En 1988, 18 Países firmaron un acuerdo de intenciones conocido como MOU (Memorandum of understanding), En este documento los países firmantes se comprometían a cumplir las especificaciones y adoptar este estándar único y a poner en marcha un servicio comercial GSM, que ofrece seguimiento automático de los teléfonos móviles en su desplazamiento por todos los países. El sistema inicialmente podría soportar ocho canales por portadora con una eventual evolución a dieciséis canales por portadora.

En 1989 surge comercialmente GSM, inicialmente conocido como Groupe Special Mobile en 1982 cuando fue formado por la CEPT (Conference of European Posts and Telegraphs) y luego como Global System for Mobile Communications. Lo más destacado de él es que unifica los sistemas europeos.



Figura 1.7: Logo característico de GSM.

En 1990, el sistema celular en Estados Unidos agregó una nueva característica, el tráfico de la voz se convirtió en digital. Esto triplicó la capacidad con el muestreo, digitalización y multicanalización de las conversaciones. Para 1991, el servicio celular digital comenzó a emerger reduciendo el costo de las comunicaciones inalámbricas y mejorando la capacidad de manejar llamadas de los sistemas celulares analógicos. En 1994, Qualcomm, Inc. propuso un escenario de espectro disperso para incrementar la

capacidad. Construido con conocimientos anteriores CDMA (Code Division Multiple Access) sería en todos sus elementos digital, además de que prometía de 10 a 20 veces mayor capacidad. En estos días más de la mitad de los teléfonos en el mundo operaban de acuerdo a los estándares de AMPS, en un principio nadie pensó que sería el que conviviría con TDMA o CDMA para obtener sistemas duales con tecnología analógica y digital. El 14 de enero de 1997, la FCC abrió un nuevo grupo de frecuencias inalámbricas que permitiría el desarrollo de las tecnologías CDMA; la banda de 1900. De esta manera surge PCS que es un sistema de tecnologías híbrido que trabajaría con TDMA IS-136, CDMA IS-195 y el estándar GSM europeo. El PCS 1900 se encuentra en el intervalo de 1850-1910/1930-1990 MHz. Otras bandas en 2.1 GHz y 2.5 GHz también son consideradas para aplicaciones inalámbricas futuras. [33]

La tecnología inalámbrica tuvo gran aceptación, por lo que a los pocos años de implantarse se empezó a saturar el servicio, por lo que hubo la imperiosa necesidad de desarrollar e implementar otras formas de acceso múltiple al canal y transformar los sistemas analógicos a digitales para darle cabida a más usuarios. [8]



Figura 1.8: Evolución de la telefonía celular desde sus inicios hasta nuestros días.

1.2. Antecedentes de la telefonía celular en México.

En México se inició el servicio, cuando las tecnologías ya habían sido ampliamente probadas en otros países y se tenía un buen estimador de la demanda que podría ser esperada. En 1984 Telcel obtiene la concesión para explotar la red de servicio radiotelefónico móvil en el área metropolitana de la Ciudad de México, bajo la denominación de Radiomóvil Dipsa S.A. de C.V. operando en las bandas radiofónicas de 450-470 y 470-512 MHz. [37]

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes convocó la introducción de la telefonía celular en nuestro país en las nueve diferentes regiones en que fue dividido. Cada una de estas regiones se dividen en 2 bandas de frecuencia, la Banda A y la Banda B. Cada uno de los dos operadores regionales tiene asignadas dos bandas en la región que le corresponde: una para la comunicación del equipo móvil hacia las bases y otra para la comunicación de las bases hacia las unidades móviles. La asignación se muestra en el siguiente cuadro:

Banda	Comunicación MS-BS	Comunicación BS-MS
A	824 – 835, 845 – 846.5MHz	869 – 880, 890 – 891.5MHz
B	835 – 845, 846.5 – 849MHz	880 – 890, 891.5 – 894MHz

Tabla 1.1: Asignación de frecuencias de telefonía celular en México.

En 1989 la compañía Iusacell empieza ofrecer el servicio en el Distrito Federal y en ese mismo año la marca Telcel comienza ofreciendo los servicios de telefonía celular en la ciudad de Tijuana B.C. A partir de 1990 Telcel y Iusacell expanden los servicios de telefonía celular en el Distrito Federal y su zona metropolitana y paulatinamente ofrecen el servicio a escala nacional. En nuestro país las regiones celulares se encuentran concesionadas por la COFETEL (Comisión Federal de Telecomunicaciones) en las bandas A y B en 9 regiones. En cada una de las 9 regiones habría un concesionario operando en la banda de frecuencias A (825-835 MHz, 870-880 MHz). La banda B (835-845 MHz, 880-890 MHz) operaría en las 9 regiones para un solo concesionario, en este caso, Radiomóvil Dipsa (Telcel). [32]

El crecimiento de los sistemas de telefonía celular en México se ha visto fortalecido gracias a la apertura del gobierno hacia la privatización de las telecomunicaciones. Uno de los primeros pasos para preparar al sector de las telecomunicaciones hacia la competitividad internacional fue la concesión de las frecuencias de comunicaciones para tecnología celular. El día 31 de mayo de 1989 se presentó el “Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994” donde menciona la importancia de las telecomunicaciones destacando los siguientes puntos:

- Múltiples empresas podrán desarrollar los servicios de transmisión conmutada de: datos, teleinformática, telefonía celular y otros.
- Las concesiones de telefonía celular se sujetarán a concurso de manera abierta, y así se garantizará la mejor oferta de servicios y contraprestación económica al Estado.

A partir de 1990, se inicia la expansión de la telefonía celular en nuestro país, tal como muestra la siguiente gráfica:

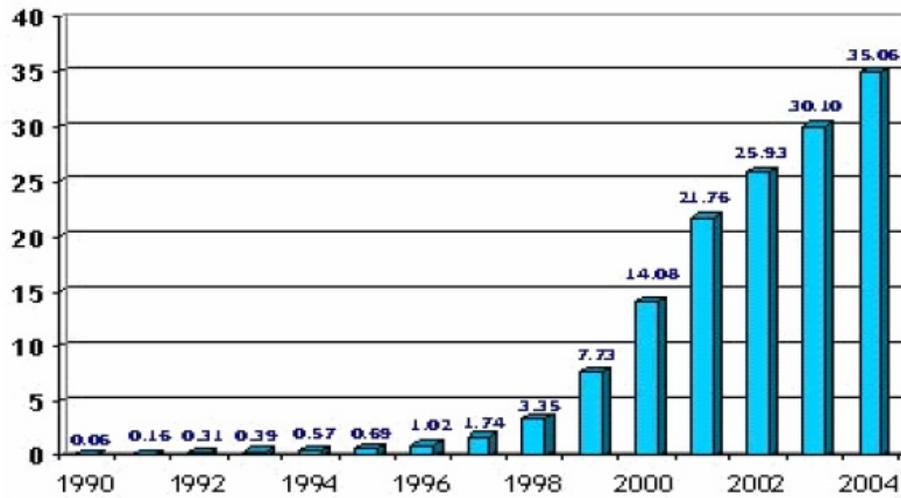


Figura 1.9: Millones de usuarios de telefonía celular en México.

Posteriormente la COFETEL en 1997 lanza una convocatoria para licitar en México una nueva banda de frecuencias (1850-1970 MHz). Posterior a esta licitación aparecen nuevos operadores en estas bandas como Unefon y Pegaso PCS. En agosto de 1998 empieza operar en nuestro país Nextel Internacional (Nextel), quien se alía con Motorola para establecer una red de radio digital (trunking) con la tecnología conocida como iDEN (integrated Digital Enhanced Network). En 2001 la empresa española Telefonica Movistar, adquiere los 4 operadores del Norte del país (Cedetel, BajaCel, Norcel y Movitel). La transacción fue estimada en 1790 millones de dólares. Posteriormente en Mayo de 2002, Telefonica Movistar adquiere gran parte de las acciones de la compañía Pegaso PCS.

A este paso, el sector de la telefonía celular en México se compone únicamente de 5 compañías: Telcel, Iusacell, Telefonica Movistar, Unefon y Nextel. Telcel es el operador más importante en número de usuarios, con casi con el 76 % del mercado nacional. Le sigue Movistar con 12 %, Iusacell con 5 %, Unefon con 4 % y Nextel con menos del 3 %.

[29]

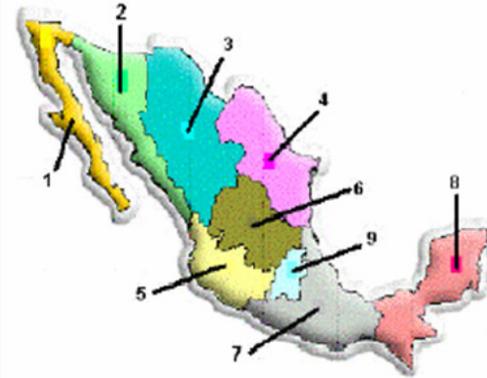
BANDA A	
Baja Celular Mexicana, S.A. de C.V. (Región 1)*	
Movitel del Noroeste, S.A. de C.V. (Región 2)*	
Telefonia Celular del Norte, S.A. de C.V. (Región 3)*	
Celular de Telefonía, S.A. de C.V. (Región 4)*	
Comunicaciones Celulares de Occidente, S.A. de C.V. (Región 5)**	
Sistemas Telefónicos Portátiles Celulares, S.A. de C.V. (Región 6)**	
Telecomunicaciones del Golfo, S.A. de C.V. (Región 7)**	
Portatel del Sureste, S.A. de C.V. (Región 8)**	
SOS Telecomunicaciones, S.A. de C.V. (Región 9)**	
BANDA B	
Radio Móvil Dipsa, S.A. de C.V. (Regiones 1 a 9)	
*Empresas adquiridas por Telefonía Movistar	
**Empresas del Grupo Iusacell	

Figura 1.10: Regiones en que se divide la República Mexicana y las compañías operadoras en las dos bandas asignadas.



Figura 1.11: Principales operadores de servicios de telefonía móvil en México.

Capítulo 2

CONCEPTOS BÁSICOS DE LA RED DE TELEFONÍA CELULAR.

2.1. La célula.

Una célula es la unidad geográfica básica de un sistema celular, dentro de la cual las unidades de radio móvil de dos vías (full-duplex) se pueden comunicar. El tamaño de la célula depende fundamentalmente de la potencia del transmisor, banda de frecuencia utilizada, altura y posición de la torre de la antena, el tipo de antena, la topografía del área, la sensibilidad del radio receptor y por sus patrones de tráfico.[27]

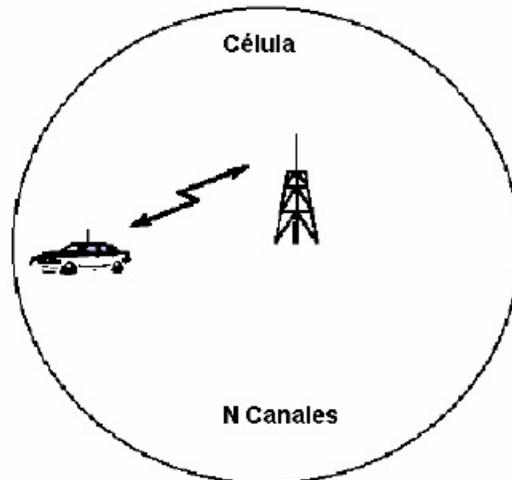


Figura 2.1: El área dentro del círculo determina la cobertura de la célula.

La red se encuentra diseñada para que los tamaños de las células sean relativos al número esperado de usuarios, también se toma en cuenta la necesidad de superar obstáculos y manejar las características propias de la propagación electromagnética,

predecir el comportamiento de la señal en zonas urbanas donde la densidad de suscriptores es alta y las edificaciones tienen gran influencia en el radio de propagación, son factores que establecen limitaciones fundamentales en el diseño y ejecución de los sistemas inalámbricos. Los fenómenos que sufren las ondas electromagnéticas en su transporte, tales como reflexión, difracción, dispersión y en general pérdidas de propagación, son complejos y diversos, por lo que es de vital importancia que la tecnología a emplear sea la más adecuada a los requerimientos locales.[10]

2.1.1. Propiedades de la Geometría Celular.

El principal propósito de definir células es delinear zonas en las cuales cada canal es usado. Después de haber diseñado el patrón deseado de célula, el cual incluye el espacio de separación para prevenir la interferencia co-canal, es necesario el adecuado posicionamiento del equipo de la estación base y la selección del equipo para servir cada llamada, necesario para que se lleven a cabo las ventajas en el diseño del patrón celular posteriormente. Debido a esto, es requerido un gran compromiso por parte de la ingeniería del sistema para reajustar la transmisión, conmutación y control de recursos cada vez que el sistema vuelve a pasar por esta fase de desarrollo. Estas dificultades llevan a una visualización hacia las células con estructura regular. Si en el servicio móvil actual, las antenas omnidireccionales fueran usadas, entonces el contorno del área de cobertura con un nivel de señal constante sería circular, entonces la propagación no cambiaría a lo largo de diferentes radios de la estación base. Aunque un círculo es la forma de célula recomendada, teóricamente las consideraciones de la transmisión sugieren que una célula circular es un diseño impráctico debido a que este proporciona áreas ambiguas con cualquiera de las dos: múltiple difusión o no difusión.

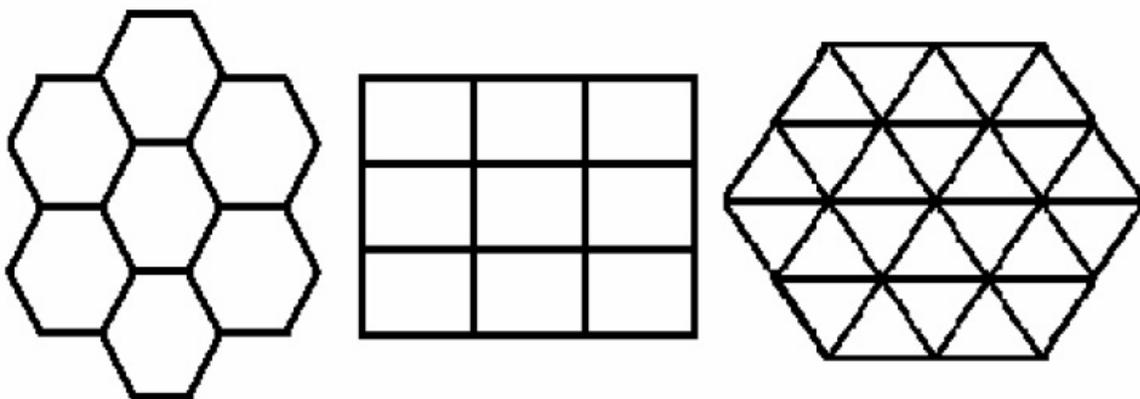


Figura 2.2: Cualquiera de estos polígonos puede ser utilizado para el diseño de células, pero el hexágono es el que tiene una mayor cobertura sobre los demás.

Para asegurar una completa área de cobertura, una serie de polígonos regulares han

sido adoptados en el diseño del sistema celular. De los polígonos regulares, escoger un triángulo equilátero, rectángulo y hexágono, elimina el problema de cobertura múltiple o huecos en el área de cobertura. Cualquiera de estos tres puede ser adoptado para el diseño de células. Estas estructuras de polígonos regulares hacen más fácil ver dónde una célula termina y empieza otra. [14]

Por razones económicas, el hexágono ha sido escogido para el diseño de redes celulares, dado que el hexágono tiene la máxima área de cobertura. Consecuentemente, una capa hexagonal requiere menos células, y por lo tanto son necesarias menos estaciones base. Así, otras consideraciones llegan a lo mismo, un sistema basado en la estructura celular hexagonal es justamente lo necesario para los propósitos de diseño desde un punto de vista analítico y teórico. En la práctica, el hexágono podría ser visto idealmente como un círculo o un patrón de cobertura distorsionado. El área central de cobertura esta dividida en seis sectores que corresponde al incremento de tráfico. La sectorización es conseguida por el uso de antenas direccionales en las estaciones base. [8]

2.1.2. Célula omnidireccional.

Esta se produce cuando la estación base esta equipada con una antena omnidireccional en el centro de la célula, transmitiendo igualmente en todas direcciones, y se forma una área circular, una MS dentro de esta área tendrá normalmente una buena conexión con la estación base.

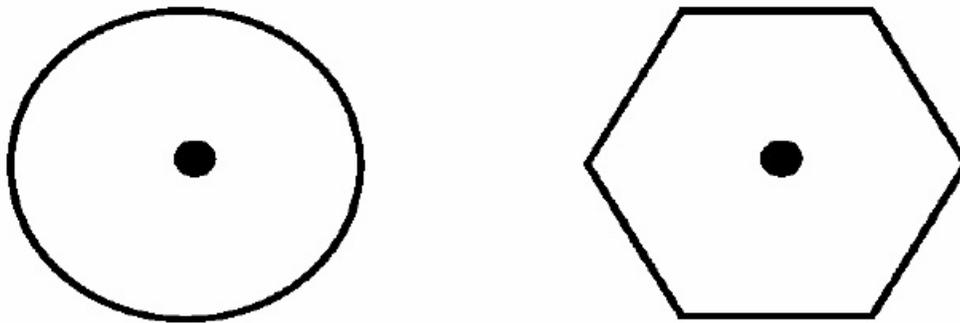


Figura 2.3: Célula omnidireccional y su representación teórica.

2.1.3. Célula sectorial.

Para formar este tipo de células la estación base cuenta con tres, seis ó más antenas direccionales, cada una de estas cubre un determinado ángulo de una célula según sea el caso, las cuales tienen formas hexagonales que juntas conforman un patrón de panel.

Este tipo de arreglos se utilizan cuando se desea mayor ganancia, sobre todo para el enlace ascendente, en entornos de cobertura difícil como son los de tipo urbano e interiores de los edificios. A cada una de las superficies cubiertas por una antena se le denomina sector. Cada sector tiene sus propias frecuencias y equipos transceptores, por lo que son, de hecho, auténticas células. Esta estructura sectorizada producirán menor interferencia ya que cualquier antena directiva radia muy poca potencia hacia atrás y en direcciones alejadas de su vector principal de radiación.[30]

La transformación de una célula de cobertura omnidireccional en sectorizada se realiza disponiendo en su centro de tantos conjuntos de transceptores como sectores se desee generar y asignando a cada conjunto de una antena con una directividad adecuada para la configuración del sector. En la Figura 2.4. Tenemos una estación base cubriendo tres células diferentes

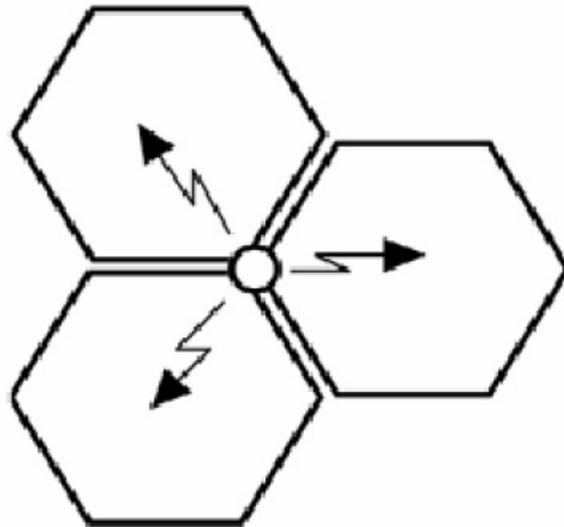


Figura 2.4: Estación Base cubriendo tres células.

Para lograr la cobertura total del área se necesita que las antenas de otras Estaciones Base cubran las porciones restantes.

La forma de hexágono permite eliminar los espacios que un patrón circular incluiría entre círculos tangentes. Cada porción cuenta con un conjunto de canales, en este caso se utilizan tres juegos de canales diferentes para transmisión y recepción. Generalmente se utilizan 3 antenas con vectores de radiación separados 120° entre sí. Por otra parte, se ha considerado que la relación óptima es que las antenas emitan con un haz concentrado en un sector de 60° . Aunque en la práctica, debido a las irregularidades del terreno, el trabajo de ingeniería esta enfocado a evitar que existan zonas de sombra. [33]

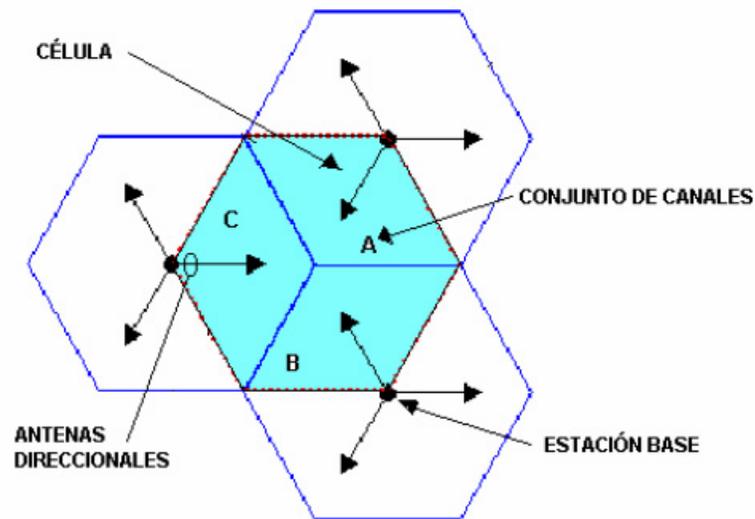


Figura 2.5: Formación de una célula sectorial a partir de tres BS.

En una célula sectorizada los cálculos de cobertura e interferencia y las asignaciones de frecuencias han de hacerse a nivel de sector. En estas circunstancias se llama células a los sectores de radio r y emplazamientos a las posiciones de las BS. Desde un emplazamiento, en las redes sectorizadas, se da cobertura a tres o seis células. Las estructuras celulares sectorizadas suelen designarse con la notación N/M , donde N es el número de células y M el número total de sectores por agrupación. Por lo tanto una estación base cubre tres células sectoriales, cuando se muestran tres células sectoriales se dibujan tres hexágonos, uno para cada célula, con la estación base localizada en la esquina de cada hexágono, para que se lleve a cabo la cobertura total, las células vecinas deben traslaparse entre sí.

También hay arreglos de estaciones base cubriendo dos células o incluso seis, esto raramente se observa, debido a condiciones geográficas especiales ó incluso depende de las capacidades del equipo.

Por lo que típicamente se diseñan redes celulares de tres caras o sectores, cada una de estas caras cuenta con cuatro antenas, dos de transmisión y dos de recepción, de los canales de voz y de señalización. Para los cálculos de interferencia en células sectorizadas es necesario conocer las distancias entre la ubicación de cada estación interferente y el punto en el que se evalúa la interferencia. [29]

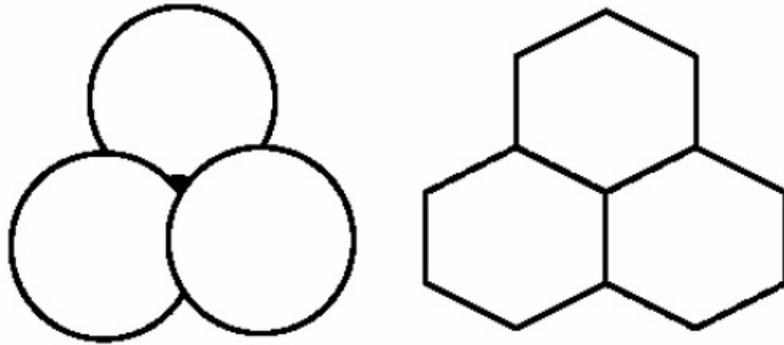


Figura 2.6: Traslape entre células sectoriales y su representación teórica.



Figura 2.7: Torre con antenas sectoriales.

2.1.4. Clasificación de células.

Según la capacidad y cobertura requeridas en el área de influencia de las redes, su diseño implicará la utilización de células de diferentes radios y las antenas de la estación base presentarán diferentes alturas y potencias de transmisión. De allí surgen las definiciones de sistemas macrocelulares, microcelulares y picocelulares. Las macrocélulas son los modelos de comunicación más comunes para operación celular. El rango de cubrimiento de éstas se encuentra entre 1 y 30 kilómetros, por lo que son utilizadas principalmente para el manejo del tráfico originado por usuarios que se encuentran en movimiento a gran velocidad, disminuyendo de esta forma el número de handoff y aumentando de esta manera la calidad del servicio al reducir la probabilidad de caída de llamadas.

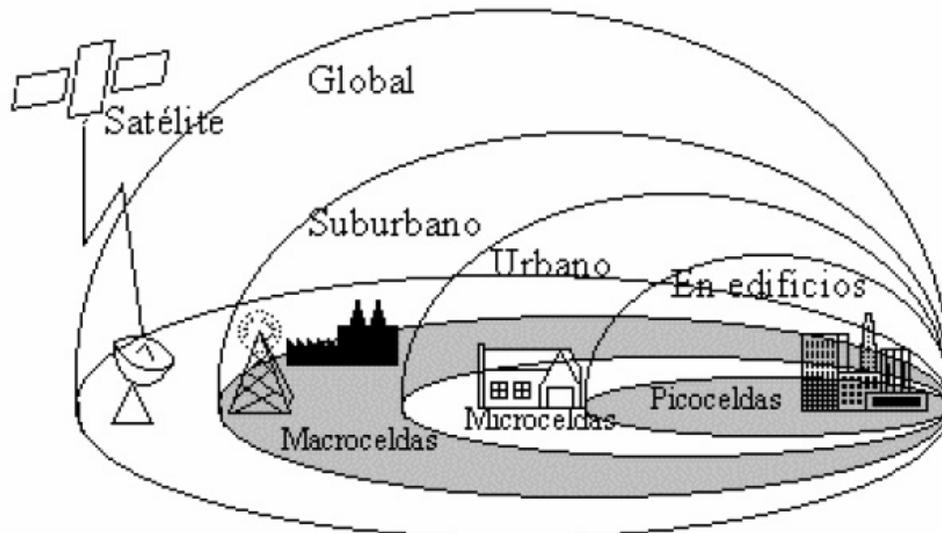


Figura 2.8: Clasificación de células.

El uso de microcélulas (con rango de cubrimiento entre 100 y 1000 metros) incrementa la capacidad de la red, ya que permite hacer un mayor manejo de tráfico y hace posible la utilización de potencias de transmisión muy bajas. Desde el punto de vista del operador, esto se traduce en ventajas adicionales como una mejor cobertura, bajos costos de la red por suscriptor y mayor eficiencia en la operación del sistema. Los requerimientos claves del sistema microcelular incluyen la coexistencia e interoperabilidad con los sistemas ya instalados, necesitándose un desarrollo mínimo de ingeniería para su diseño. Al reducir mucho más el tamaño de las células, se logran las picocélulas (cubrimiento menor a 100 metros). Como se sabe, una reducción en el tamaño de una célula implica un aumento en su capacidad (manejo de tráfico), por lo que las picocélulas se utilizan para brindar cobertura en las zonas identificadas como de muy alto tráfico, tales como centros de negocios o centros comerciales, donde los usuarios tienen un pa-

trón de comportamiento de baja movilidad y se encuentran en un ambiente cerrado. [27]

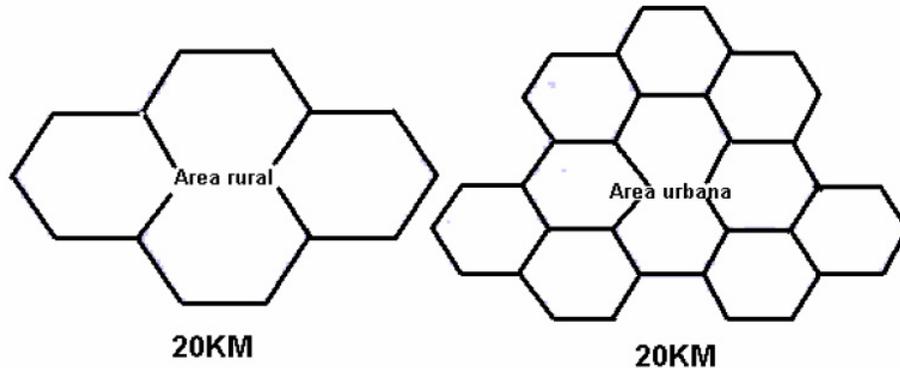


Figura 2.9: La densidad de tráfico es mucho menor en el área rural que en el área urbana.

En la industria inalámbrica, las áreas de cobertura se conocen como áreas estadísticas metropolitanas (MSA) y áreas estadísticas rurales (RSA). Por lo tanto, cuanto más pequeñas sean las células, mayor será el número de canales que soporte el sistema, en un área urbana las células son pequeñas y en un área rural son mucho más grandes, como se ejemplifica en la Figura 2.9. [30]

2.1.5. Diseño de células.

En base a que los sistemas de comunicación celular son redes conmutadas que permiten la transmisión de voz y datos en forma confiable a través del espacio aéreo, es de especial cuidado el diseño de la célula, para ello se deben considerar principalmente los siguientes conceptos.

Conjunto de células (Cluster).

Un cluster esta formado por un conjunto de células con grupos de canales diferentes, así el espectro de frecuencias puede ser reutilizado en cada nuevo cluster. El área de alcance de un cluster se le conoce como huella. Esta huella es limitada por un mismo grupo de canales que pueden ser usados en células diferentes y lo suficientemente lejanas dado que sus frecuencias no interfieran. De esta manera, se puede aumentar el número de usuarios al no requerirse una frecuencia exclusiva para cada uno de ellos, factor muy importante para un servicio público.

Cada célula identificada por una letra tiene un conjunto de canales de radio asignado. Para el caso, son 7 grupos de canales de radio disponibles, Lo que significa que cada célula esta usando $1/7$ de canales celulares disponibles para cada cluster. El número de

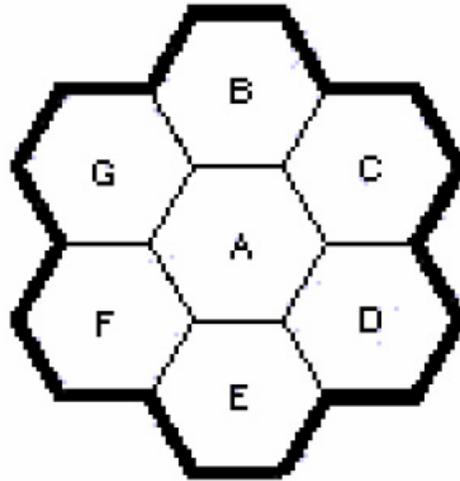


Figura 2.10: Conjunto de células llamada cluster.

células por sistema lo define el proveedor y lo establece de acuerdo a los patrones de tráfico anticipados. El concepto celular emplea los niveles de baja potencia variables, que permiten que las células clasifiquen la densidad del suscriptor y demanda de un área dada. Mientras que la población crece, las células se pueden agregar para acomodar ese crecimiento. [35]

Reutilización de frecuencia.

El concepto de la reutilización de frecuencias permite ofrecer una alta capacidad de usuarios en un espectro limitado. La reutilización del espectro se caracteriza por que:

- Reduce considerablemente las potencias de transmisión.
- Implementa el traspaso de llamadas en curso (handoff).
- Asignación de canales a partir de las estaciones base.

Cada célula dentro de cada cluster contiene un grupo de canales distintos. La reutilización consiste en ubicar las células iguales a una distancia tal que la interferencia co-canal no sea problema. Mientras mas grande sea la distancia de reuso, es menor la probabilidad de interferencia, por otro lado, mientras mas bajos sean los niveles de potencia usada en células compartiendo un canal común, es menor la probabilidad de interferencia. Por lo que en un sistema celular se utiliza la combinación de control de potencia y la planeación de frecuencia para prevenir la interferencia. El número de veces que un canal puede ser reutilizado es mayor cuanto mas pequeñas sean las células. [14]

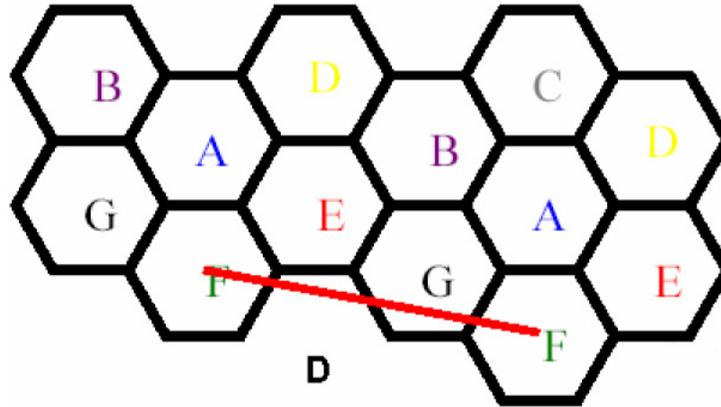


Figura 2.11: Reutilización de frecuencias en un conjunto de células.

La Figura 2.11. Ilustra el concepto de reutilización de frecuencias, las células marcadas con la letra F suficientemente separadas están usando el mismo juego de frecuencias. De esta manera, el sistema móvil basado en el concepto de celular puede atender simultáneamente una cantidad mayor de llamadas que el número total de canales asignados. Debido a problemas de interferencias las células adyacentes no pueden compartir las mismas frecuencias, de lo contrario se deteriora la calidad del servicio. Las células que usan frecuencias comunes estarán separadas entre sí una distancia denominada distancia de reutilización (D) y se denominarán células co-canal. Conforme el número de usuarios aumenta, los canales asignados originalmente a la célula pueden ser continuamente reasignados.

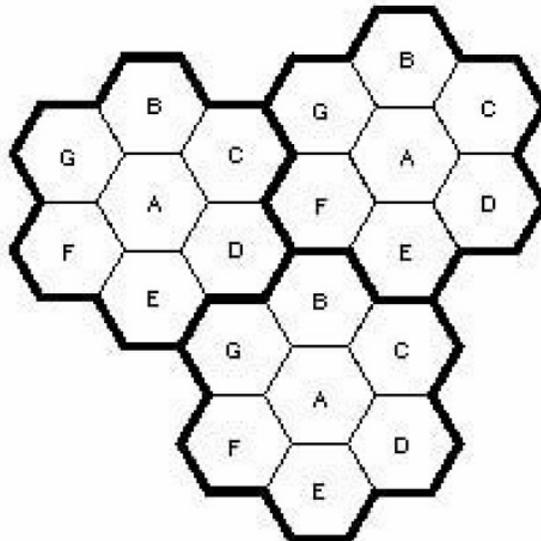


Figura 2.12: Reutilización de frecuencias.

El uso múltiple del mismo canal en células con una separación geográfica asegura que el espectro de radio es utilizado de manera eficiente. El índice de reutilización de un sistema celular es el cociente entre los canales que se ofrecen y el número de frecuencias disponibles. Cada estación base tiene una dotación de K canales, como se muestra en la Figura 3.11, por lo que habrá N grupos de K canales cada uno y en total se utilizarán $K*N$ canales distintos, reutilizándose N veces cada canal. Cuanto menor sea el tamaño de la agrupación también lo será el número de frecuencias necesarias. Las BS de cada célula sólo van equipadas con los K canales de su grupo pero la MS debe tener la posibilidad de sintonizar cualquiera de los $K*N$ canales para poder conectarse con cualquier célula. A las N células que usan un conjunto completo de frecuencias disponible, se les llama cluster, si un cluster se repite M veces dentro de un sistema, el número total de canales duplex, C , se puede utilizar como una medida de la capacidad y esta dado como:

$$C = M * N$$

Cuanto mayor sea N , mayor va a ser la distancia entre estaciones base con el mismo grupo de canales, menor será su interferencia, pero la capacidad del sistema también será menor. Desde el punto de vista del diseñador, es deseable usar el valor más pequeño de N posible, para maximizar la capacidad del sistema dentro del área de cobertura. Para llevar a cabo la reutilización de frecuencias es necesaria una planeación de frecuencias. Por lo general se utiliza el Plan $K=7$ que es un cluster de 7 células. Otros arreglos son posibles y del tamaño de los clusters se determina la distancia de separación entre células con reuso de frecuencias, de todas formas un número de canales limitado puede ser asignado a cada célula. [19]

Distancia de reutilización de frecuencia.

La mínima distancia que permite reutilizar la misma frecuencia depende de muchos factores, tales como el número de celdas co-canales en la vecindad de la celda central, la característica geográfica del terreno circundante, la altura de la antena, y la potencia transmitida en cada celda.

La distancia D de reutilización de frecuencia puede ser determinada mediante:

$$D = \sqrt{3 * K * R}$$

Donde K es el número de celdas por cluster o patrón de reuso de frecuencia.

Si todas las estaciones bases transmiten con la misma potencia, entonces un incremento de K , manteniendo el radio R de la celda produce un incremento de la distancia D (distancia entre celdas co-canales). Este incremento de D reduce la posibilidad de que se produzca interferencia cocanal

Teóricamente un valor elevado de K es deseado. No obstante el número de canales asignados es fijo. Cuando K es demasiado grande, el número de canales asignado a cada una de las K celdas se hace pequeño, esto provoca una ineficiencia de trunking.

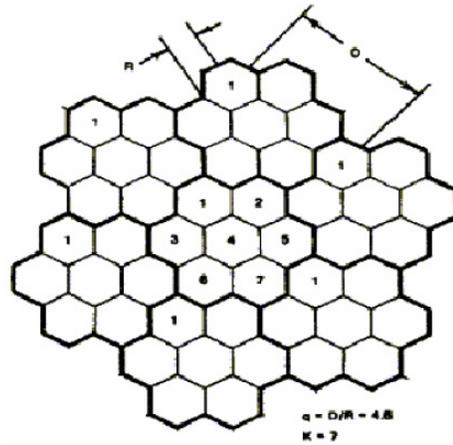


Figura 2.13: Distancia de reutilización de frecuencias.

K	D
4	$3.46R$
7	$4.60R$
12	$6.00R$

Tabla 2.1: Distancia co-canal en función del número de células por grupo.

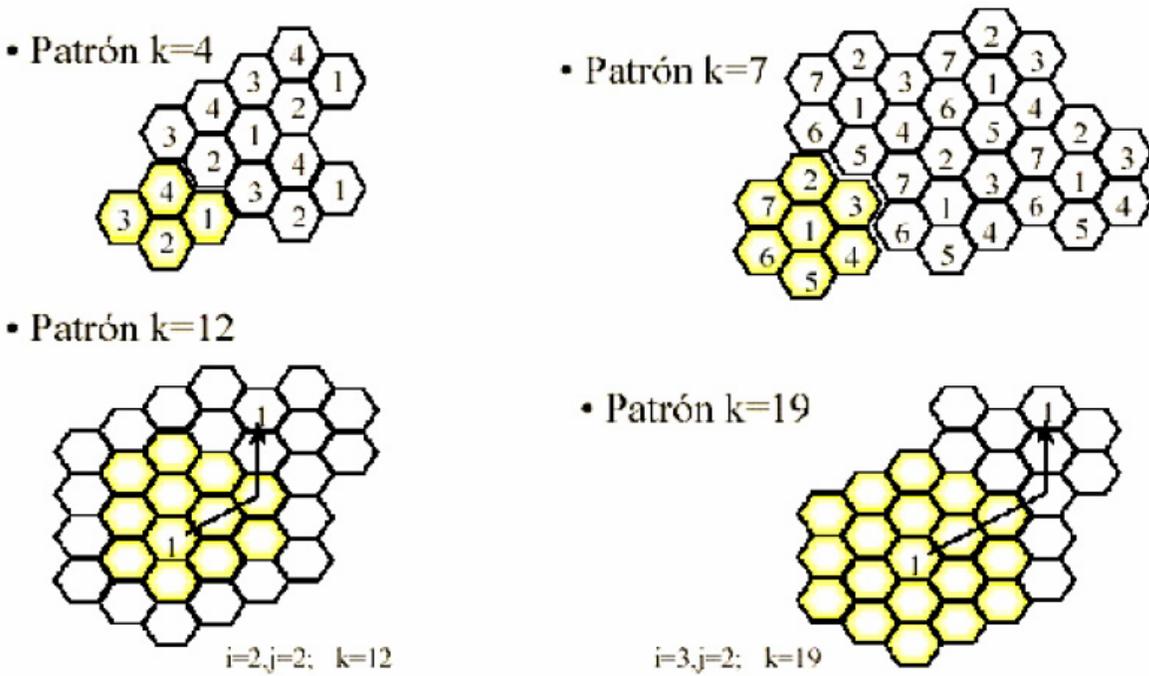


Figura 2.14: Distancia de reutilización de frecuencias.

Esto se debe a que por celda es demasiado pequeño el número de usuarios que pueden comunicarse simultáneamente. El mismo principio se aplica a la ineficiencia de espectro: si el número total de canales es dividido entre dos o más redes de operadores en la misma área, se incrementa la ineficiencia de espectro ya que ahora se hace en el mejor de los casos reuso de frecuencias de la mitad del espectro. Por todo esto es necesario encontrar el mínimo valor de K con el cual se pueden alcanzar los requerimientos de performance del sistema. Esto involucra estimar la interferencia co-canal y seleccionar la mínima distancia D de reuso de frecuencia para reducir la interferencia co-canal. [10]

Técnicas de asignación de canales.

Para la utilización eficiente del espectro de radio, se requiere de un sistema de reutilización de frecuencias que aumente la capacidad y disminuya las interferencias, las técnicas de asignación de frecuencias se pueden clasificar en fijas o dinámicas. La elección de la estrategia de asignación de canales va a imponer las características del sistema, particularmente en como se gestionan las llamadas cuando hay traspasos de llamada entre células (handoff). En una estrategia de asignación de canales fija FCA (Fixed Channel Allocation), a cada célula se le asigna un conjunto predeterminado de canales. Cualquier llamada producida dentro de la célula, solo puede ser servida por los canales disponibles en ella. Si todos los canales de esa célula están ocupados, la llamada se bloquea y el usuario no recibe servicio. Existen variantes de esta estrategia. Una de ellas permite que una célula vecina le preste canales si tiene todos sus canales ocupados. El MTSO supervisa que estos mecanismos de préstamo no interfieran ninguna de las llamadas en progreso de la célula donadora. En una estrategia de asignación de canales dinámica DCA (Dynamic Channel Assignment), los canales no se colocan en diferentes células permanentemente. En su lugar, cada vez que se produce un requerimiento de llamada, la estación base servidora solicita un canal al MTSO. Este entonces coloca un canal en la célula que lo pidió, siguiendo un algoritmo que tiene en cuenta diversos factores como son la frecuencia del canal a pasar, su distancia de reutilización y otras funciones de costo. Las estrategias de asignación dinámicas aumentan las prestaciones del sistema, pero requieren por parte del MTSO una gran cantidad de cómputo en tiempo real. En principio, el área de cobertura de los sitios de transmisión no necesita ser regular, y las células no necesitan tener una forma geométrica definida. Preferentemente un patrón geoméricamente estructurado es utilizado convenientemente antes que una estructura irregular amorfa. Una célula de estructura irregular y una colocación del transmisor también de manera irregular, puede ser aceptable en un sistema donde es la primera configuración del sistema, incluyendo la selección de los sitios de transmisión y la asignación de canales, pero esto es impráctico para el futuro, porque el sistema celular requiere de constantes actualizaciones.

Conforme el tráfico crece, se van necesitando agregar nuevas células y canales. Si se adopta la estructura celular irregular, esto pudiera llevar a un uso ineficiente del espectro haciendo nula la reutilización de frecuencias debido a la interferencia co-canal.

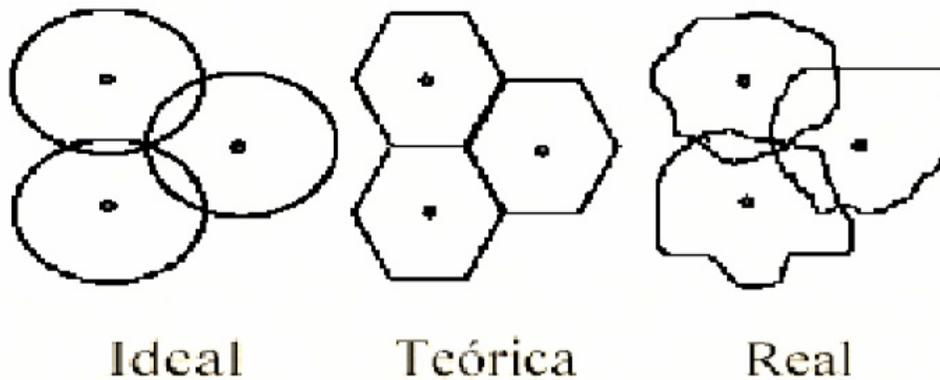


Figura 2.15: La célula puede tener cualquiera de estas formas, según el enfoque con que se esté trabajando.

Esto afecta económicamente la implementación de diseños posteriores debido a que haría necesaria la reubicación del equipo desde una estación base hacia otra. La división en celdas permite concentrar mayor número de canales en las zonas de mayor demanda. Con el fin de trabajar apropiadamente un sistema celular debe seguir dos condiciones:

- El nivel de potencia del transmisor dentro de una celda debe estar limitado con el fin de reducir la interferencia entre transmisores de células vecinas.
- Células vecinas no pueden compartir los mismos canales. Con el fin de reducir la interferencia, las frecuencias pueden ser re-usadas siguiendo ciertas reglas.

División celular (Cell Splitting).

Cuando el número de usuarios se incrementa y se acerca al máximo número al que se puede dar servicio por célula a un punto tal que la calidad del servicio es afectada, las células pueden ser subdivididas en células más pequeñas, esto es conocido como Cell-Splitting.

El bloqueo de llamadas ocurre cuando el sistema está saturado y no puede hacer que una llamada sea completada. Una medida del cumplimiento del sistema telefónico es la medida de bloqueos que ocurren dentro del sistema. Esto obedece a la demanda del área, si esta tiene una gran demanda, hay más número de células de menor tamaño, si esta no tiene un tráfico denso, es menor el número de células, y estas de mayor tamaño. En principio, en el Cell-Splitting cada célula tiene el mismo número de canales que en la célula original. Cada célula, por lo tanto, es capaz de soportar al mismo número de usuarios que la célula original. Sin embargo, es necesario reducir la potencia de salida del transmisor de la estación base para minimizar la interferencia co-canal.

Por el proceso de división de células, el número potencial de usuarios puede ser incrementado sin la necesidad de un ancho de banda extra. Por supuesto, más estaciones base son necesarias para cada nueva célula, pero el costo de la infraestructura adicional

se ve compensado con el incremento de usuarios. Una vez que estas células pequeñas tienen más suscriptores de los que pueden soportar para proveer el servicio adecuado, se hace necesaria otra división. De esta manera, una célula es dividida en células más pequeñas. (Las nuevas células son traslapadas en la célula adyacente sin dividir). Existen restricciones de la división de células en el aspecto económico y práctico; el costo del sistema se incrementa si el tamaño de las células se disminuye. En la práctica, las células más pequeñas tienen un tamaño aproximado de 2 km de diámetro en áreas urbanas; las células en área rurales son típicamente de 15 km de radio. Aún así, la dificultad de las tareas de ingeniería es tener células traslapadas para que no existan huecos en el área de cobertura, pero con la mínima interferencia.

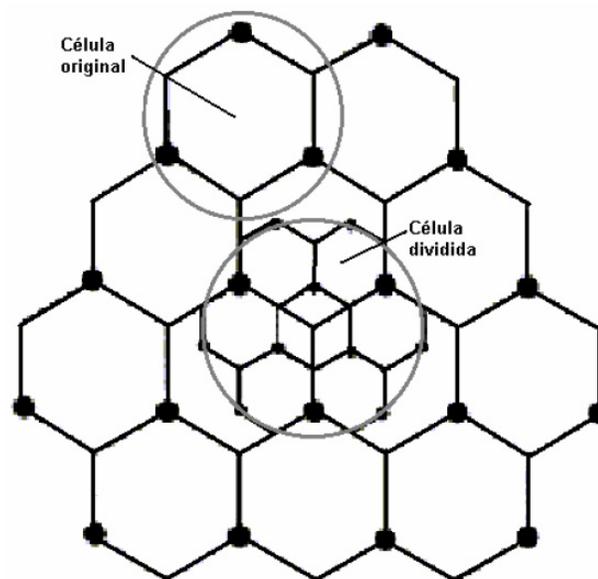


Figura 2.16: División de un sistema celular en células más pequeñas.

En áreas urbanas densas las células son pequeñas de tamaño, la interferencia co-canal puede ser un serio problema. Este puede ser minimizado por el uso de antenas direccionales en la estación base. Asumiendo que sean tres antenas, cada estación base sirve de manera eficiente tres células y el tamaño del cluster se incrementa de siete a veintiuno. El uso de antenas direccionales reduce el costo de infraestructura debido a que son mucho menos las estaciones base requeridas; esto, facilita la dificultad de obtener sitios adecuados para las estaciones base. [35]

Interferencia.

La interferencia es la degradación producida en la recepción de una señal útil provocada por una perturbación radioeléctrica. En ocasiones las interferencias pueden hacer

inviabile la recepción. Dado que no es posible su total supresión deberá mantenerse dentro de los niveles permitidos. Atendiendo a su origen se clasifica en:

- Simple: cuando existe una única fuente interferente.
- Múltiple: cuando las fuentes interferentes son varias.

Cuando dentro de un mismo radio enlace se transmiten varios canales las interferencias se clasifican en:

- Interferencia co-canal: Es la interferencia causada por las células que utilizan la misma frecuencia nominal. Como esta situación es habitual en comunicaciones móviles, debe admitirse cierto grado de interferencia co-canal. Ello implica que el cociente entre la potencia de la señal deseada y la potencia total de las señales interferentes co-canal, a la entrada del receptor, supere un valor de referencia denominado Relación de protección co-canal (Rpc) en un elevado porcentaje de la zona de cobertura del transmisor deseado. Los valores de Rpc dependen del sistema de modulación y de la canalización.
- Interferencia de canal adyacente: Este tipo de interferencia se encuentra en los límites de las células e intervienen frecuencias diferentes.

En ambos casos la interferencia no se logra disminuir aumentando la potencia del transmisor.

Desvanecimiento.

En los sistemas de comunicación móvil ocurre la disminución del nivel de la señal recibida, este fenómeno se conoce como desvanecimiento (Fading). Estos ocurren bajo un escenario sumamente complejo, generalmente producido por el bloqueo de la señal en áreas denominadas de sombra, por lo que la MS cuenta con circuitos que le permiten evaluar de manera instantánea la mejor calidad de la señal. El tipo de desvanecimiento también denominado desvanecimiento por múltiples trayectorias, se distribuye de manera caótica en un área determinada, de tal manera que es prácticamente imposible pronosticar la magnitud de estos desvanecimientos, la señal incidente en la MS de trayectoria directa o reflejada, producen una gran cantidad de ondas estacionarias en el espacio.

Todas la ondas estacionarias se suman y conforman estructuras de desvanecimiento irregular, cuando una MS permanece estacionaria solo se reciben señales de gran intensidad, desempeñándose como una señal constante y fija. Cuando una MS se desplaza dentro del campo de una célula, el nivel de intensidad de la señal varía continuamente como resultado de los desvanecimientos que sufre la onda en el espacio, es decir, se registra un desvanecimiento de múltiples trayectorias. Una condición en el funcionamiento crítico ocurre si la MS se desplaza a bordo de un vehículo, para esto la MS

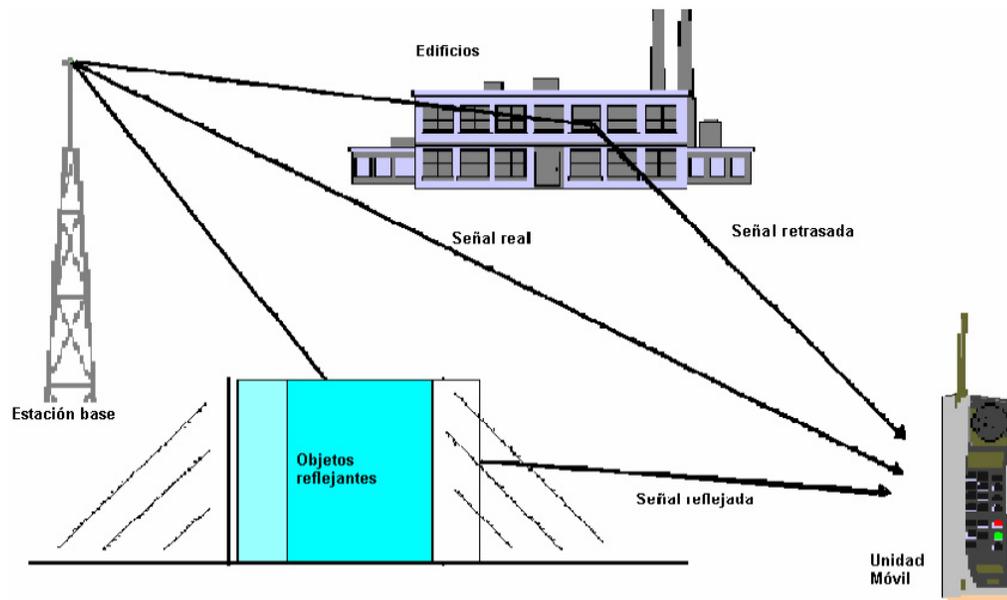


Figura 2.17: El retraso de la señal puede alterar los datos y causar problemas de audio.

esta equipada con circuitos lógicos que evalúan constantemente la calidad de la señal en términos de la relación portadora a ruido (C/N). [36]

Capacidad.

La capacidad del sistema celular se refiere a la cantidad de tráfico que puede soportar en toda el área de cobertura. Por lo general los sistemas celulares se diseñan para soportar una gran cantidad de tráfico, sobre todo en áreas densamente pobladas, la capacidad por cada bloque de canales distribuido en una célula se calcula mediante la aplicación de la fórmula de Erlang

$$E = \lambda * t * h$$

Donde

- λ Es el número de llamadas entrantes en el sistema en una unidad de tiempo, expresado en llamadas/horas.
- $t * h$ Es el tiempo promedio de holding expresado en horas por llamada.

Erlang fue el inventor de la teoría del tráfico telefónico. Su nombre vino a denominar la unidad adimensional que expresa la densidad del tráfico telefónico E y de sus modalidades. Una línea permanentemente ocupada corresponde a $1E$; una línea permanentemente libre corresponde a $0 E$. La palabra Erlang significa Extra Relatively

Language. [11]

El Erlang B es la fórmula de ingeniería de tráfico telefónico usada cuando el tráfico deviene aleatorio y se pierden las colas. El Erlang B asume el bloqueo de llamadas y las distribuye automáticamente hacia otra ruta, haciendo desaparecer el bloqueo. El sistema debe ser capaz de ofrecer el servicio a varios miles de unidades móviles en el área de cobertura con un número organizado de canales. También existe el Erlang C, esta fórmula de ingeniería de tráfico telefónico es usada cuando el tráfico es aleatorio y se mantienen las colas. El Erlang C asume todas las llamadas, reteniéndolas hasta que una línea esté disponible. La capacidad que aportan los sistemas celulares es función del número de canales utilizado o ancho de banda disponible, del tamaño de las células y de la configuración de los clusters. La capacidad se verá favorecida cuanto menor sea la célula y cuantas menos células sean necesarias por cluster. Este último parámetro estará fuertemente ligado a la relación de interferencia co-canal que el sistema sea capaz de soportar. Respecto al tamaño de la célula, este estará limitado por la capacidad del protocolo de gestión de la movilidad y por la velocidad a la que se desplacen los móviles en la zona de servicio. [15]

Calidad.

La calidad del servicio debe ser comparable con el servicio de telefonía convencional. El nivel de calidad lo establece el GoS (Grade of Service). El GoS puede ser definido como el número de llamadas perdidas o que no se llevaron a cabo, de manera relativa al número de llamadas intentadas. En la práctica, el GoS es expresado como la porción de llamadas que no pudieron llevarse a cabo durante la hora pico de servicio debido a la falta de canales. El GOS debe ser típicamente de 2% y si es posible mejor. Esto significa que como máximo 2 llamadas en promedio de cada 100 pueden ser bloqueadas o considerarse una llamada perdida en horas pico de servicio, durante las horas no pico el servicio no debe tener problemas para llevar a cabo todas las llamadas. A parte de la calidad en el servicio, también para los usuarios el costo y los aspectos económicos al contratarlo juegan un papel importante en su decisión, por tanto debe ser accesible al público en general. [8]

2.1.6. Funcionalidades celulares.

Los procesos que dan lugar a la comunicación entre los diferentes componentes de la red celular.

Transmisión y Recepción.

La tecnología celular utiliza dos frecuencias separadas para transmisión y recepción llamados Forward Link y Reverse Link, los cuales están separados 45 MHz uno del otro para evitar interferencias, estos dos enlaces proporcionan una comunicación full-duplex.

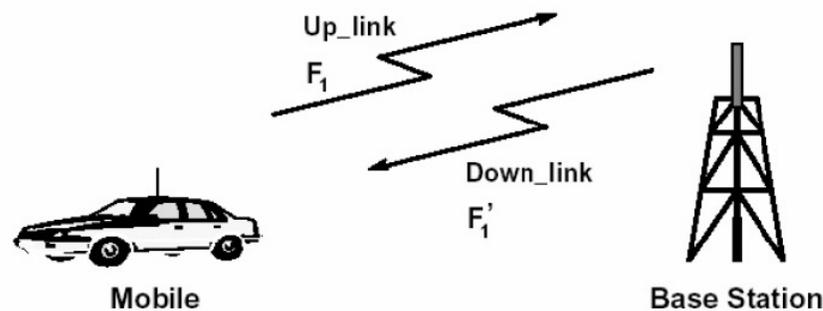


Figura 2.18: La comunicación entre la MS y la BS utiliza dos canales diferentes separados 45 MHz para evitar interferencias.

El Forward Link es el enlace que va de la estación base hacia la MS y el Reverse link lo hace en forma inversa. A través de estos enlaces fluyen los canales de voz y control entre las Estaciones Base y las MS, aun cuando la MS no se encuentra en llamada, esta tiene una comunicación continua con la estación base con el fin de actualizar información acerca de su ubicación así como el control de la potencia del MS principalmente. [8]

Establecimiento de llamadas.

Para establecer una llamada en la red celular se requiere de los siguientes procesos:

- Registro: Cada MS posee su propia identidad, y está asignada a un área de localización. Esto permite que los mensajes de control sean enviados a una sola MS a través de los canales de control del área de localización. Cada teléfono móvil está asignado a una HLR en el MTSO que lo guarda, además de los datos relativos a la suscripción, la información de la localización (dirección de la MTSO/VLR) de sus MSs activas. Cada vez que el teléfono móvil se mueve entre áreas de localización, éste envía automáticamente un mensaje para actualizar el área de localización en la que se encuentra. Esto permite un uso eficiente de los canales de control y mejora la capacidad de tratamiento de las llamadas. Cuando se enciende la MS, ésta explora los canales de control del sistema y sintoniza aquél cuya señal es más fuerte, permaneciendo sintonizada a dicho canal hasta que la señal baja de un cierto umbral. [25]

- Paging y Roaming: El proceso de Paging permite localizar la estación móvil dentro del área de cobertura para las llamadas entrantes. Este proceso se complica cuando se trata de localizar a un usuario entre sistemas operados por distintas empresas.

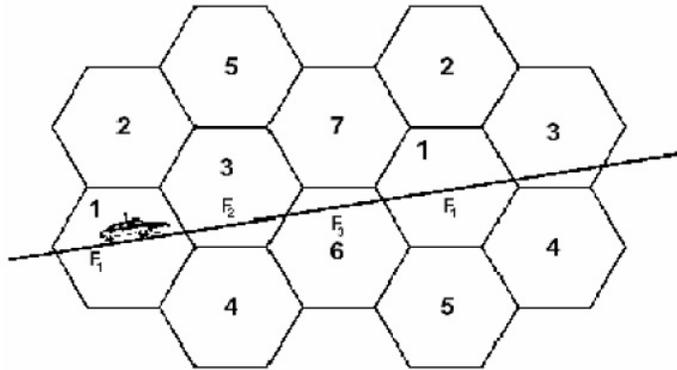


Figura 2.19: El proceso de paging se encarga de localizar la MS dentro de un conjunto de células.

Roaming: Es el proceso de cambiar desde el área de localización de la central propia al área de localización de otra central, en la práctica la MS se desplaza de un MTSO a Otro. La MS visitante se registra en la VLR de la MTSO visitada, para lo cual dicha VLR/MTSO debe solicitar los datos de la suscripción de dicho cliente a su HLR/MTSO. Si todo es correcto, la VLR/MTSO permitirá el servicio al cliente visitante, mientras que la HLR/MTSO registrará la nueva dirección de su cliente. [35]

- MS originadora de llamada: El usuario marca el número de teléfono en la MS y activa la función de envío (tecla de SEND). La MS espera a que el canal de control le dé la indicación de libre. Cuando la MS detecta esta condición de disponibilidad, transmite su identificación y el número de teléfono marcado en el canal de control. En la recepción de la petición de llamada, se comprueba el estado del móvil y comienza el proceso de dicha llamada. Se envía un mensaje al móvil, asignándole un canal de voz, y el móvil se resintoniza a éste. La MTSO conecta el canal de voz por la ruta disponible y comienza la conversación. Cuando finaliza la llamada, se desactivan las conexiones y el móvil retorna a su estado de reposo. [8]
- Recepción de llamada: Cuando la MTSO recibe una petición de llamada para un determinado teléfono móvil, da orden a las estaciones base del área de localización donde se encuentra para que envíen un mensaje de búsqueda. Cuando la MS recibe el mensaje, ésta informa al sistema de que ha recibido el mensaje a través

de un determinado canal de control y espera la asignación de un canal de voz. Con la respuesta de la MS, la MTSO determina qué estación base está más cerca de la MS y conecta la llamada de entrada a un canal de voz de ésta. Se indica a la MS que sintonice el canal de voz asignado y active su dispositivo de aviso (timbre). Cuando el usuario contesta, se conectan las dos partes y comienza la conversación. Cuando la llamada termina, la MTSO desactiva las conexiones y el móvil retorna a su estado de reposo. [8]

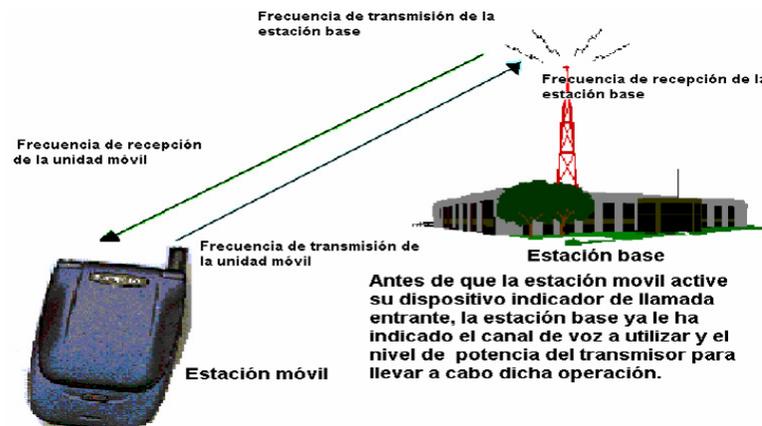


Figura 2.20: Entre la BS y MS existe una comunicación previa a la recepción de una llamada.

- Las conversaciones se pueden cambiar de una célula a otra para mantener el servicio telefónico constante mientras que el usuario se mueve entre las células. El handoff es un mecanismo previsto para asegurar la calidad y la continuidad de una llamada en curso cuando existe el riesgo de que se pierda o de que su calidad se degrade a un nivel intolerable. Este cambio de célula se produce cuando la MS se aleja de un transceptor en el centro de la célula, la intensidad de la señal recibida comienza a disminuir. La transferencia incluye convertir la llamada a una frecuencia disponible dentro del subconjunto de canales distribuidos en la nueva célula. Según como se realice dicha transferencia podemos tener:
 - Handoff blando: cuando se mantiene la MS esta conectada a dos canales simultáneamente, hasta que se desconecta del anterior, por mejor recepción en la estación nueva.
 - Handoff duro: el salto de un canal a otro se produce en un momento determinado sin que exista período de transición.
 Aunque esta acción es imperceptible a los usuarios de voz, este retardo es destructivo para comunicaciones de datos.

Los métodos de procesamiento de handoff son un importante factor para el diseño exitoso de un sistema celular y cada fabricante utiliza un protocolo exclusivo ó propietario, esto aunado al interés comercial, únicamente se hace referencia al desempeño funcional. Se conoce que estos procesos utilizan algoritmos sofisticados, y el software para implementar el mecanismo de handoff depende de las características propias de la red. [19]

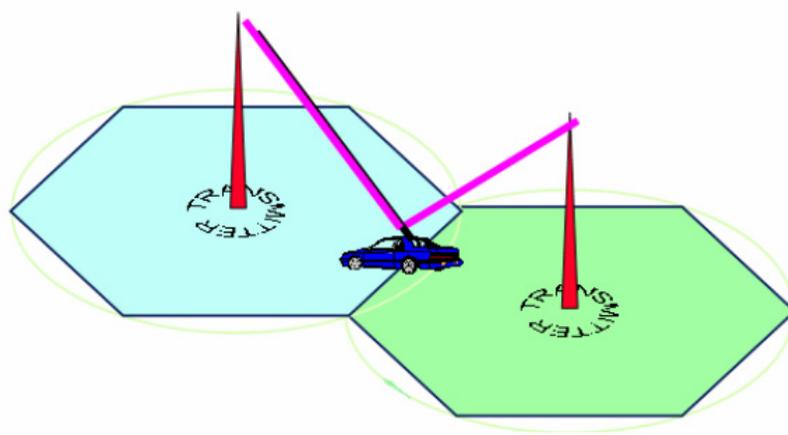


Figura 2.21: El traspaso de llamadas entre células es coordinado por el MTSO..

Capítulo 3

ARQUITECTURA DE LA RED DE TELEFONÍA CELULAR.

3.1. Concepto básico de sistema de telefonía celular.

La telefonía móvil consiste en ofrecer un acceso vía radio a un abonado de telefonía, de tal forma que pueda realizar y recibir llamadas dentro del radio de cobertura del sistema. Los conceptos clave del sistema celular fueron descubiertos por investigadores de Bell Laboratories en 1947. Fue determinado que subdividiendo un área geográfica relativamente grande en secciones más pequeñas llamadas células ayuda a incrementar las capacidades de la red de telefonía celular, que en esos momentos eran muy limitadas. Cada célula esta formada por un conjunto de módulos funcionales que se comunican entre si mediante interfaces específicas:

- Estación Móvil - MS (Mobile Station)
- Subsistema de Estación Base - BSS (Base Station Subsystem)
- Central de Conmutación de Telefonía Móvil - MTSO (Mobile Telephone Switching Office)
- Red de Telefonía Pública Conmutada - PSTN (Public Switched Telephone Network)

Un sistema de telefonía celular por definición funciona en interconexión con la PSTN por lo que no forma parte integral de la misma, pero es considerada como un elemento más para su operación [14].

Básicamente el MS es el enlace entre el usuario y la red de telefonía celular, por medio del cual se proporcionan los servicios de voz y datos. La BS es un transceptor de radio frecuencia que consiste de una torre y un pequeño edificio, donde se encuentra contenido el equipo de radio que permite la conexión de los MS al sistema.

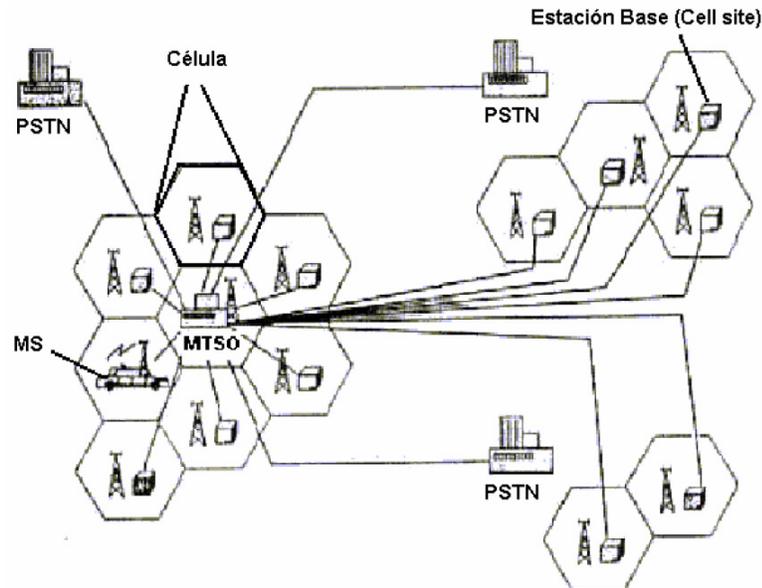


Figura 3.1: Arquitectura de la red de telefonía celular)

Las estaciones base se administran y controlan por la MTSO, La MTSO proporciona una administración centralizada y el mantenimiento de toda la red y las interfaces con la PSTN [19].

3.2. Estación Móvil (MS; Mobile Station)

Es el hardware que desempeña las funciones de comunicación con las estaciones base. Puesto que una MS es una parte activa del sistema celular, debe estar en contacto constante con la red, para lo cual requiere de los siguientes módulos:

3.2.1. Módulo de Radio Frecuencia.

Controla la transmisión y recepción, donde la unidad del receptor filtra y amplifica la señal de entrada de la antena; y la unidad transmisora genera, modula y amplifica la señal emitida. El sistema de antena y duplexor permiten la transmisión y recepción simultánea de señales. Los transmisores de RF utilizados generan una potencia de salida de 0.6 y hasta 4.0 Watts, dependiendo de la aplicación de la unidad móvil, por lo que el consumo de energía de los MS actuales es relativamente bajo. Existen ocho clases de transmisores móviles y están ordenados de acuerdo con la potencia nominal decreciente de salida. A partir de la clase I y hasta la IV han sido utilizadas hasta este momento, de la clase V hasta la VIII, están reservadas para definiciones futuras. La clase IV esta disponible para equipos móviles de modo dual solamente. El nivel nominal de

Clase	Potencia (dbW)	Potencia (W)	Aplicación
Clase I	6 dbW	4.0 W	Montado en automóvil
Clase II	2 dbW	1.6	Transportable
Clase III	-2 dbW	0.6W	Portátil
Clase IV	-2 dbW	0.6W	Portátil

Tabla 3.1: Niveles de potencia máxima en transmisores móviles.

potencia máximo ERP (Effective Radiated Power) para las primeras cuatro clases de transmisores móviles se muestra en la Tabla 3.1.

El transmisor móvil tiene la capacidad de modificar la potencia de salida en base a los requerimientos que le envía la BS en que se encuentre ubicado, el MS es capaz de reducir la potencia en pasos de 4.0 dB. Hay un total de 10 pasos para reducción de potencia. Las unidades móviles de clase I a IV cambian sus niveles de potencia en siete pasos, mientras que el rango amplio (de 10 pasos) es concedido a las clases V a VIII. El ajuste de potencia es debido a la capacidad de procesamiento con la que fue construida la unidad lógica del transceptor celular. Si la BS censa una señal alta recibida desde el MS, esta manda señales de control y le pide al transceptor la reducción de potencia de RF. De manera similar, si la señal que la BS recibe del MS va disminuyendo, esta le pide que aumente su potencia.

La habilidad de ajustar la transmisión de potencia del MS tiene dos propósitos:

- Incrementar el tiempo de vida de la batería reduciendo la potencia de transmisión desde el móvil.
- Al ajustar la potencia, la interferencia co-canal y de canal adyacente es reducida.

3.2.2. Modulo de Antena

El modulo de antena de un MS va de la mano del sistema de RF, ya que a partir de el es como se consigue radiar o recibir las señales generadas al interior de un MS, específicamente es un transductor de ondas electromagnéticas. Los MS utilizan dos tipos de antenas para realizar el enlace con la BS, ambas con características diferentes por su diseño, materiales de construcción y patrón de radiación, pero sin embargo cumplen con las especificaciones de radiación de señales. Se clasifican en antena interna y antena externa, el uso de cada una de ellas por el fabricante de cada equipo esta relacionado con la estética del equipo móvil [6].

3.2.3. Unidad lógica.

Realiza la conversión analógico/digital de la información, es decir, controla la transmisión y recepción de audio frecuencias (voz), también es responsable de la interconexión con el sistema de presentación visual (display) y el teclado.

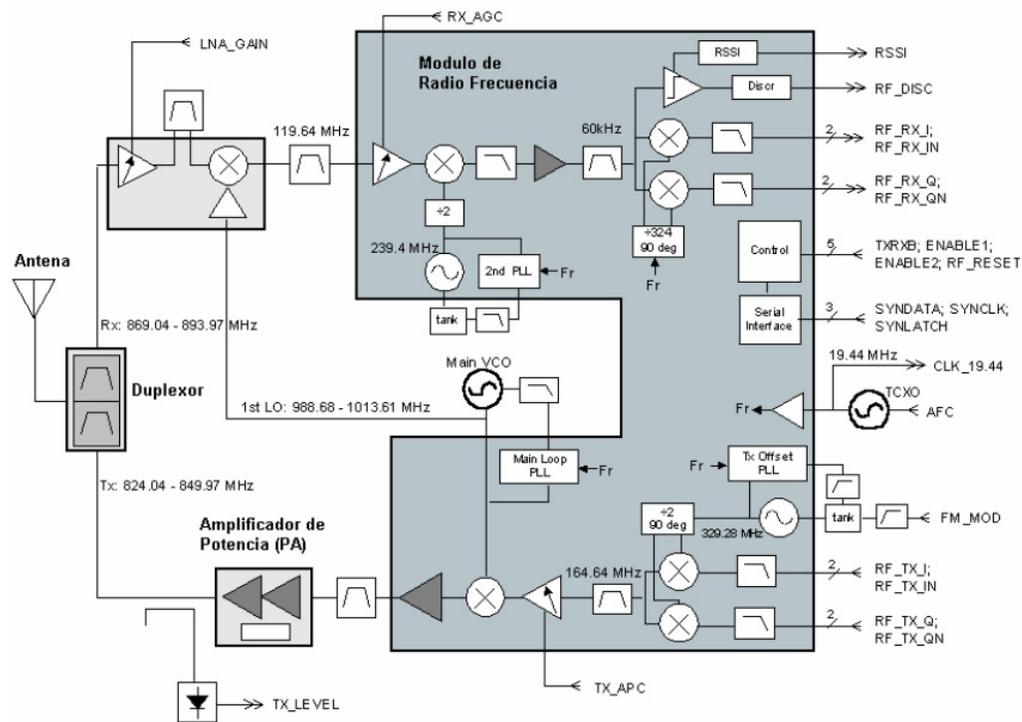


Figura 3.2: Diagrama a bloques del módulo de radio frecuencia



Figura 3.3: Antena externa e interna utilizada en equipos de telefonía móvil.

3.2.4. Módulo de control.

Gobierna la operación del terminal y compila la salida de los datos. También maneja la interfase del usuario y la batería.

3.2.5. Módulo de interfase de usuario.

Está compuesta por un micrófono, alta voz, timbre (buzzer), display, y un teclado básicamente. En la practica estos componentes no pueden existir de manera independiente, ya que su función es la de traducir la información que envía y recibe la MS, direccionar cada uno de estos datos a los respectivos módulos y presentarlos al usuario en un formato conocido. Este conjunto de módulos están gobernados por un software de control, por medio del cual se obtiene la interoperabilidad. En la mayoría de los casos se representa como un solo bloque para una mejor comprensión, como se muestra en la Figura 3.4.

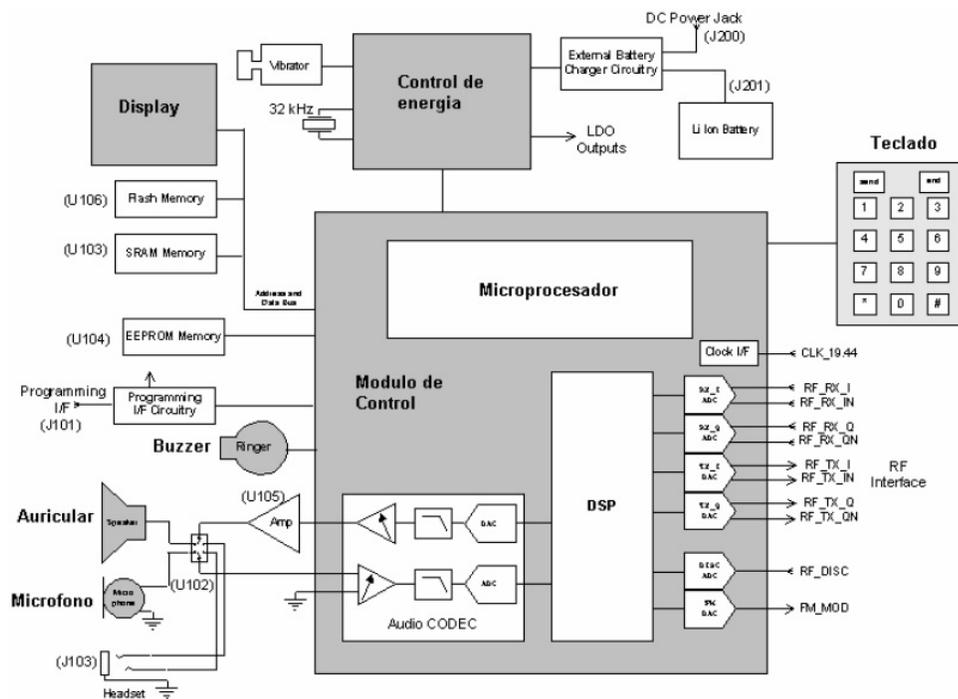


Figura 3.4: Diagrama a bloques del Módulo de control.

3.2.6. Módulo Sintetizador.

Un transceptor celular utiliza un circuito sintetizador de frecuencia de precisión, necesario para la modulación y demodulación de señales, el sintetizador permite al MS

ajustarse a cualquiera de los canales celulares asignados. El canal seleccionado en un momento dado está determinado por el módulo lógico de control. El circuito sintetizador de frecuencia de canal por lo general consta de un oscilador base que trabaja conjuntamente con un sintetizador de frecuencia de recepción y un sintetizador de frecuencia de transmisión. El sintetizador de frecuencia de recepción recibe una señal digital de control de módulo lógico de control que se traduce en un voltaje proporcional a la frecuencia deseada. Un VCO (Voltaje Controlled Oscillator) convierte el voltaje proporcional en una señal de oscilador, donde se caracteriza por tener definida la amplitud, frecuencia y forma, de acuerdo a los parámetros que marcan los estándares de comunicaciones.

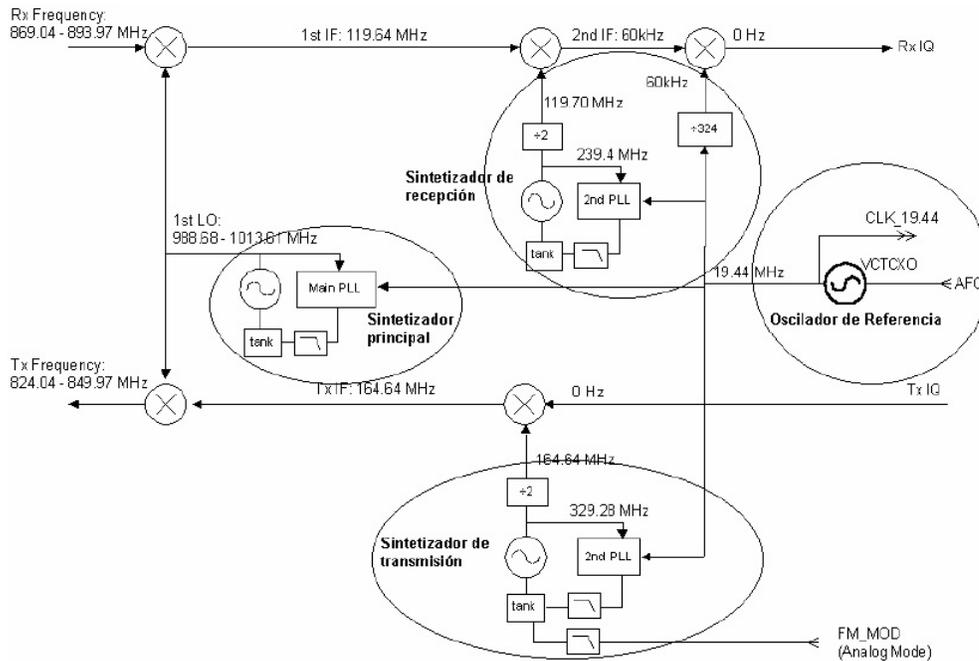


Figura 3.5: Diagrama a bloques del módulo sintetizador.

El circuito de transmisión es similar, las señales digitales de control del módulo lógico de control establecen un voltaje que es proporcional a la frecuencia deseada. El voltaje proporcional excita a un VCO que produce una frecuencia en su terminal de salida [31].

3.2.7. Identificadores.

El MS analógico posee dos identificadores para su registro con la red celular, conocidos como control y validación, los cuales se encuentran almacenados en el NAM (Number Assignment Module) que es un conjunto de hardware y software cuya función es almacenar los parámetros numéricos que identifican a la MS con la BS. Los datos

de la NAM son emitidos desde la MS, en un proceso que se denomina Registro. En la NAM se almacenan, el ESN (Electronic Serial Number) y el MIN (Mobile Identification Number) que representa al número asignado correspondiente a la MS. El MIN es el número programado en la MS para llamar al suscriptor. Este identificador programado se guarda en la memoria no volátil de la MS y consiste de 10 dígitos. El MIN puede ser utilizado por la red celular para entregar un mensaje al MS por medio del SPACH (SMS Point-to-Point, Paging and Access Response Channel), el MS lo utiliza para gestionar accesos a la red por medio del RACH (Random Access Channel).

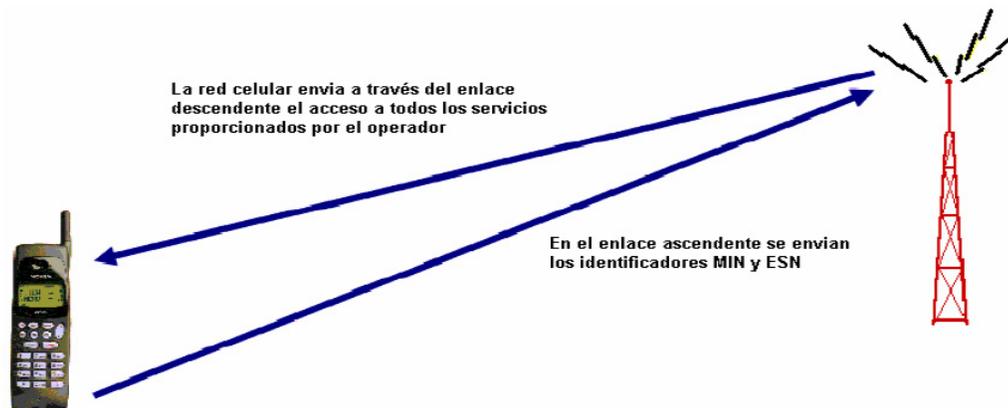


Figura 3.6: Al solicitar algún servicio de telefonía a través del MS, este envía el MIN y ESN propios para ser validados y poder utilizar la red.

El segundo identificador es el ESN (Electronic Serial Number) que es un dato característico del MS al ser fabricado. Este número fue inventado para dar seguridad a la tecnología AMPS. Este identificador es (en teoría) permanente y está asociado con el equipo físico, es utilizado para identificar el MS en la red celular. Está compuesto por 32 bits de los cuales los 8 primeros identifican al fabricante. El ESN no puede ser modificado por los suscriptores, para esto se encuentra alojado en una memoria ROM dentro de la MS y está aislado de toda conexión externa, es decir, el usuario no puede acceder a estos datos por medio de cables o la interfaz de usuario. Solo los operadores de servicio celular proporcionan la programación de este número, la programación no autorizada del ESN, deja inoperante la MS [3].

Las MS digitales, particularmente la tecnología GSM a diferencia de los analógicos, poseen un código, denominado IMEI (International Mobile Equipment Identity), el cual permite la identificación del terminal dentro de la red. El IMEI consiste en un código de 15 números, el cual es transmitido cuando el teléfono móvil se conecta a la red. Los operadores de telefonía celular pueden entonces verificar el estado del terminal, dentro de una base de datos, denominada de EIR (Equipment ID Register), El EIR determina si el MS es válido para hacer uso de los servicios que ofrece la red. En caso contrario

la MS no puede acceder a los servicios disponibles. Para realizar el proceso anterior, estos MS cuentan con un módulo llamado SIM (Subscriber Identity Module) que sirve para identificar las características del MS ante la red celular. El módulo SIM es una pequeña tarjeta ubicada en el interior del MS, la cual puede ser removida por el usuario e intercambiarla en otros MS validos [13].

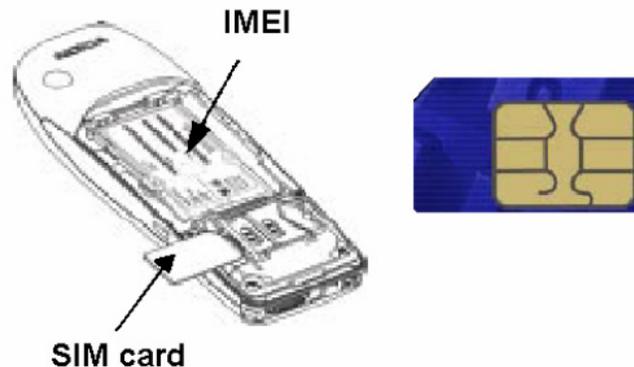


Figura 3.7: Al solicitar algún servicio de telefonía a través del MS, este envía el MIN y ESN propios para ser validados y poder utilizar la red.

3.2.8. Tipos de MS.

Existen diferentes tipos de MS, los primeros teléfonos celulares que se desarrollaron eran destinados únicamente para utilizarse dentro de un vehículo. En particular, el DynaTAC 8000X de Motorola pesaba alrededor de 800 gramos. Media 33 centímetros de alto y casi 9 centímetros de ancho. La enorme batería ofrecía un tiempo de conversión de una hora y 8 horas en espera. El precio introductorio del teléfono era de casi cuatro mil dólares. Posteriormente aparecieron los MS desmontables, que eran apropiados para los usuarios que se mueven alrededor de sitios industriales o edificios, pueden ser transportadas dentro o fuera de un vehículo, por lo tanto, el abastecimiento de energía puede ser de la batería del vehículo o de una batería integrada. Finalmente se han desarrollado terminales portátiles, destacan por ser compactas y ligeras, en sus primeros diseños tenían un peso de 800 gramos incluyendo la batería, esta tenía un tiempo de duración aproximado de 10 horas en espera y una hora en conversación, su pantalla era relativamente grande y contaba con luz de fondo, su único inconveniente es que no operan muy bien dentro de los edificios o estructuras. Actualmente llegan a pesar menos de 100 gramos, miden menos de 10 centímetros, tienen una pantalla pequeña a color y pueden ofrecer una gran cantidad de servicios tales como identificador de llamadas, envío y recepción de mensajes de texto y multimedia, Internet, agenda

electrónica, incluso cámara fotográfica y de video integrada, el tiempo de conversación de la batería superan las 15 horas y más de una semana de tiempo en espera [8].



Figura 3.8: Estación móvil (MS).

3.3. Estación Base (BS, Base Station).

Cada célula es servida por una BS, que es el equipo físico que cubre el radio de cobertura del área geográfica conocida como célula, dotada de equipos de transmisión y recepción de baja potencia en varias frecuencias o canales, restringiendo su cobertura a la misma, al aprovechar la propagación limitada de las ondas de radio a frecuencias elevadas. La BS sirve de control central para todos los usuarios permitiendo tenerlos permanentemente localizados dentro de la célula (Siempre que la MS este encendida), también registra el proceso de suscriptor originador de llamada y realiza algunas funciones del sistema de control. La BS es responsable de las funciones de radio dentro del sistema celular como son: gestión de las comunicaciones de radio con algún grado de procesamiento de señales, por medio de un enlace radioeléctrico bi-direccional entre las MS y la red celular que les brinda el servicio, manejo del traspaso de llamadas entre células (Handoff), control del nivel de potencia de la señal tanto de las Estaciones Base como de las Estaciones Móviles, entre otras [35].

La BS puede ser implementada en configuraciones muy variadas, esto para la aplicación del canal de radio. Es esencial que las BS proporcionen los siguientes servicios para que pueda comunicarse una MS con la red celular y viceversa:

- Control de acceso y localización.
- Canal de Voz.
- Canal de control.

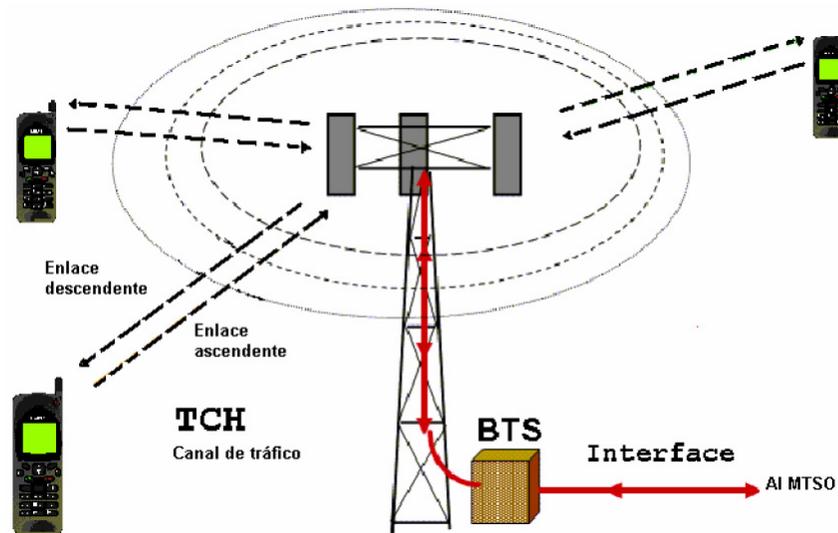


Figura 3.9: La estación base es la interfase entre la MS y red celular.

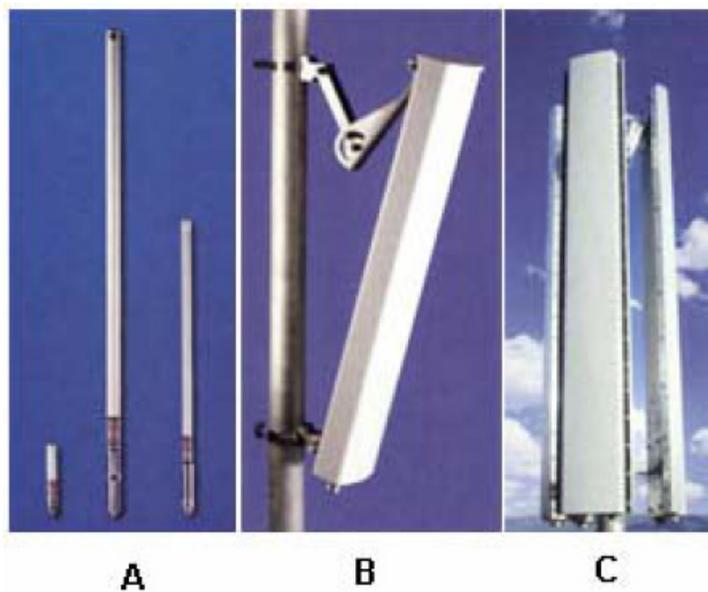


Figura 3.10: Una BS cuenta con un sistema de antena que puede ser a) Antena omnidireccional, b) y c) Antena sectorial.

- Traspaso de llamadas (Handoff).

El equipo que contiene la BS consiste generalmente en el siguiente hardware:

- Un sistema de antena que puede ser omnidireccional o direccional.
- Filtro de RF para la atenuación de interferencias ocasionadas por la transmisión-recepción de la antena.
- Pre-amplificador de RF opcional para el equipo receptor, dependiendo de los requerimientos de diseño.
- Transceptores de radio del canal de control, estos incluyen amplificadores de RF con capacidades de comunicación de datos para acceder a las funciones de ubicación.
- Transceptores del canal de voz y amplificadores de RF, para la transmitir voz y datos.
- Procesador del canal de voz, encargado de la compresión y expansión de la voz para su transporte en la red.
- Unidad de control.
- Opcionalmente cuenta con capacidades de prueba digitales, dependiendo de los requisitos del sistema para el mantenimiento en línea, desconectado o remoto.
- Fuente de energía, generalmente del tipo AC/DC, según lo requiera el sistema.
- Control del ambiente (Ej., calefacción, aire acondicionado, detección de fuego, alarma de intrusión).
- Terminal de datos.
- Enlace dedicado de Microondas, fibra óptica o incluso a través de la red pública conmutada de telefonía, para enrutar el tráfico hacia el MTSO.

El hardware requerido por una BS tiene la ventaja que se puede proporcionar por uno o varios fabricantes [23].

La BS puede mejorar la calidad de la transmisión, pero no pueden incrementar la capacidad de canales dentro del ancho de banda fijo de la red. La capacidad de canales de una BS es limitada, por lo que el radio de cobertura de la BS quedara determinado por la capacidad máxima de usuarios simultáneos que soporta el sistema por unidad de área (Km²).



Figura 3.11: El equipo que incluye la BS se encuentra alojado al interior de una caseta.

Es importante mencionar que la capacidad del sistema también lo determina la tecnología de acceso a la red, de esta manera se hace diferente uso del espectro electromagnético. La BS también se conoce en algunos casos como Cell-Site y se definen de igual manera. La comunicación entre la BS y la MTSO es mediante enlaces dedicados de microondas [19].

Debido a que algunas de las aplicaciones que proporciona una BS requieren de compartir y solicitar información con las demás estaciones base instaladas dentro del área de cobertura proyectada. Existe la necesidad de un dispositivo que coordine los subsistemas entre estaciones bases con el fin de cubrir los servicios básicos que ofrece la telefonía celular. Este elemento fundamental de la red celular es conocido como Controlador de Estación Base [23].

3.3.1. Controlador de Estación Base (BSC, Base Station Controller).

Es el control programable de todos los periféricos de la BS, la comunicación de datos, transmite software, la inicialización del sistema, la integridad del sistema, procesamiento de llamada y la ejecución de los diagnósticos requeridos.

El BSC se encarga de el manejo de los canales para los distintos MS, determina

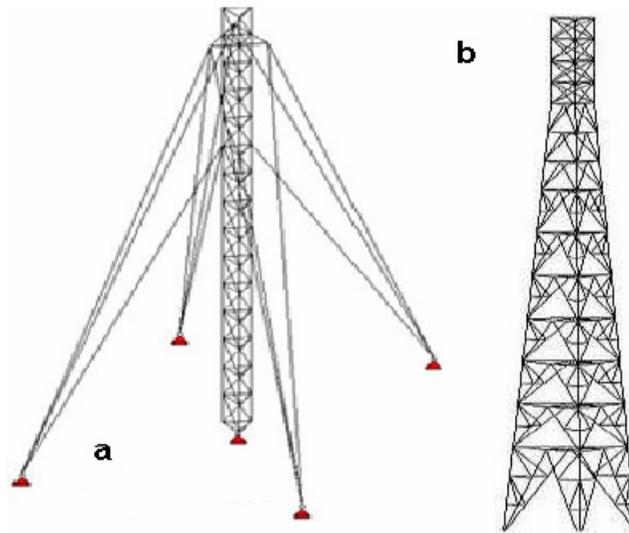


Figura 3.12: Las antenas de telefonía móvil se instalan en torres de dos tipos, a) Arriostrada, b) Auto soportada.

cuando un handoff es necesario, controla la potencia de transmisión de la MS para que sea la mínima necesaria para alcanzar la BS que lo está sirviendo, recibiendo mediciones del enlace ascendente y descendente cada 0.5 segundos aproximadamente, supervisa llamadas, enciende y apaga el transceptor de radio ubicado en la BS, inyecta información a los canales de control y usuario, realiza pruebas de diagnóstico en el equipo de la radio base y es la conexión entre el MS y el MTSO [24].

3.4. Central de conmutación de telefonía móvil (MTSO).

Existe un MTSO por cada área metropolitana cubierta por el operador de telefonía celular. La función de la MTSO es controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas así como la señalización, supervisión, conmutación, y distribución de los canales de radio frecuencia, controla los handoffs a través de las BS, y los accesos a ciertas características de los sistemas, también proporciona el mantenimiento crítico para toda la red e interfaces con la PTSN, gestiona los servicios suplementarios, recolecta los datos de tarificación, accesos a las bases de datos de la red. Estos servicios son proporcionados a través de las siguientes bases de datos

- Home Location Register (HLR): Esta base de datos lleva a cabo el registro de localización de abonados locales, donde se almacenan los parámetros necesarios en la administración de la comunicación de los suscriptores móviles y la información de localización en la forma de un número de re-enrutamiento. Un sistema celular



Figura 3.13: El enlace de la BS con el MTSO, se lleva a cabo mediante enlaces de microondas.

puede tener uno o más HLR dependiendo de la capacidad del equipo y de la organización de este.

- **Visitor Location Register (VLR):** Es una base de datos que se encarga del registro de localización de abonados visitantes, donde se almacena la información temporal de todos los suscriptores que se encuentran dentro del área de servicio del VLR. Cuando el suscriptor cambia de área de servicio, el nuevo VLR debe actualizar los datos de este suscriptor y pide a HLR todos los datos necesarios para el establecimiento de llamadas, ya sea hacia o desde el suscriptor móvil, es decir atribuye un número de re-enrutamiento a este móvil, el cuál podrá ser utilizado por las redes de comunicación para re-enrutar la llamada de este suscriptor vía el MTSO visitado. El VLR entra entonces en relación con el HLR de este suscriptor y así enviar la información necesaria para la gestión de comunicación transmitiendo el número de re-enrutamiento [10].

3.4.1. Características generales del MTSO.

El MTSO esta equipado con fuentes de energía, interfaces, transceptores de radiofrecuencia, sistemas de antena y diferentes medios de almacenamiento que pueden ser cintas magnéticas y discos duros. Estos medios son utilizados para el almacenamiento de información destinada para el cobro y facturación del servicio. También sirve para que las relaciones estadísticas que hacen saber del estado y funcionamiento del sistema celular puedan ser analizadas.

Un MTSO se conoce por diferentes nombres, dependiendo del fabricante y la configuración del sistema. MTSO (Oficina de conmutación de Telefonía móvil), fue el nombre

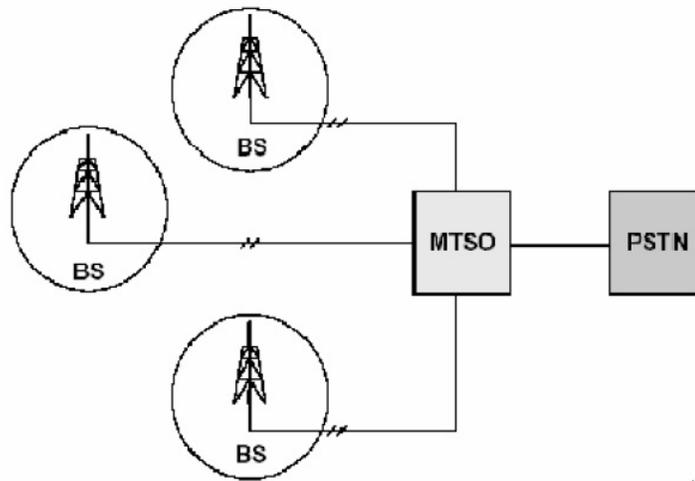


Figura 3.14: Centro de Conmutación de Telefonía Móvil.

dado por los laboratorios Bell; EMX (Intercambio Móvil Electrónico) por Motorola; AEX por Ericsson, NEAX por NEC; SMC (Centro de conmutación Móvil) y MMC (Centro Móvil Maestro), por Novatel. Cuando aplica tecnología GSM el MTSO se denomina MSC (Mobile Switching Center), Así mismo algunos fabricantes han implementado características de mantenimiento para el sistema MTSO. De manera ideal, el sistema celular otorga al usuario la misma calidad de servicio que la PSTN. De esta manera, el sistema tiene que ser tolerante a fallas por lo que debe estar provisto de mecanismos de protección básicos como:

- Redundancia: Cada componente del sistema debe de tener uno igual llamado de respaldo. Si uno falla, el otro ocupa su lugar.
- Detección: Cuando un componente falla, la avería tiene que ser detectada para después ser rastreada, corregida y remplazada.
- Aislamiento: Para prevenir que un componente averiado comprometa el funcionamiento del sistema, este tiene que ser automáticamente aislado del resto del sistema.
- Reconfiguración: A pesar de un componente dañado, el sistema debe ser capaz de una reconstrucción rápida de sí mismo para mantenerse en operación continua.
- Reparación: Una vez reparado, el componente que estaba dañado tiene que ser repuesto al sistema si que este sufra de alguna interrupción en su funcionamiento.

El despliegado de los sistemas de alarma y diagnóstico usualmente es provisto por la MTSO. Todos los subsistemas (audio, RF, conmutación y equipo de cómputo) son implementados con alarmas y procedimientos de diagnóstico [14].



Figura 3.15: Tanto la HLR y la VLR se alojan en gabinetes especiales debido a que son dispositivos de almacenamiento y su tamaño varia según la capacidad de la red celular.

Dada la comparativa con la PSTN, desde sus inicios la MTSO soporta servicios típicos como:

- Conferencia tripartita: Se establece una llamada entre dos usuarios (A y B). Cualquiera de los clientes puede incorporar una tercera conversación (siempre y cuando tenga activada esta facilidad en su estación móvil), Se digita el número del tercer participante (C) y la tecla SND para establecer la comunicación.
- Transferencia de llamadas: Acción de conmutar hacia otro número o terminal las llamadas entrantes.
- Marcado rápido: Hacer una llamada utilizando secuencias cortas de caracteres o dígitos para representar el número telefónico completo.
- Buzón de voz: Este servicio guarda los mensajes de voz cuando por algún motivo no puedes contestar o la unida móvil esta apagada.

- Llamada en espera: Cada vez que exista una llamada entrante mientras está siendo utilizada la MS, se escuchará un tono agudo como señal de que estás recibiendo una segunda llamada.

Todos estos servicios pueden ser activados o desactivados de manera independiente por el usuario [19].



Figura 3.16: La telefonía móvil proporciona servicios típicos de la telefonía fija, según las capacidades del MTSO.

Capítulo 4

EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CELULARES.

4.1. PRIMERA GENERACIÓN.

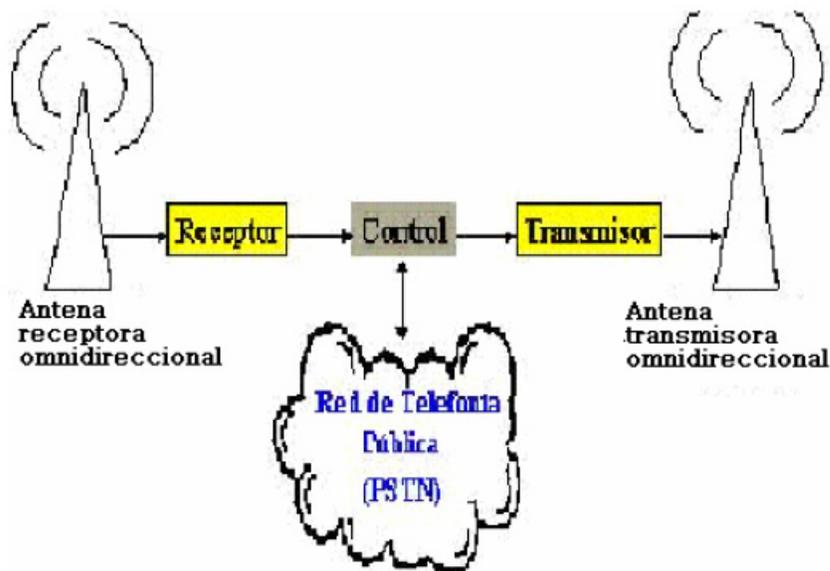


Figura 4.1: Estructura de los sistemas de telefonía celular de primera generación.

Los sistemas celulares incorporan la ventaja de dividir el área de cobertura en células. Estas células son ligadas a través de un centro de conmutación central. De esta manera la vieja red se emplea a gran escala. Lo cual limita convenientemente la potencia con que se emite cada frecuencia, permite la reutilización de las mismas a distancias bastante cortas y por lo tanto, aumentar considerablemente la capacidad de los sistemas. Es así como nace en 1979 la Primera Generación de telefonía móvil que se caracterizó

por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, con una velocidad de 2400 bauds, la transferencia entre celdas era muy imprecisa, tenían baja capacidad y estaban basadas en FDMA, (Frequency Division Multiple Access) / FDD (Frequency Division Duplex) la cual como lo indica su nombre consiste en la división del espectro disponible en canales y dos frecuencias portadoras distintas para establecer la comunicación entre el transmisor y el receptor, en estos sistemas la seguridad prácticamente no existía. [35]

La tecnología predominante de esta generación es AMPS. AMPS tiene sus orígenes en estudios realizados a principios de los años 70, fue estandarizada y establecida en redes de telefonía de los Estados Unidos en 1981 y no alcanzó su éxito comercial hasta 1983 debido a regulaciones inadecuadas. AMPS opera en las bandas de 800 a 900 MHz y en la de 1800 a 2000 MHz. NAMPS (Narrowband AMPS) es una variante de AMPS desarrollada por Motorola a principios de los años 90. El espacio de canal es reducido a 10 KHz lo que incrementa la eficiencia en frecuencia en un factor de tres. Este estándar es compatible con AMPS así que hace posible que se siga usando las redes existentes y las infraestructuras instaladas. El uso de NAMPS fue limitado porque la reducción del canal incrementó el precio de los terminales. Las redes de este tipo estaban en uso a finales de 1996 con más de un millón de suscriptores. Sin embargo la mayoría de las redes son combinadas AMPS/NAMPS en las que solo una pequeña proporción de los canales han sido en realidad convertidos a NAMPS. [5]

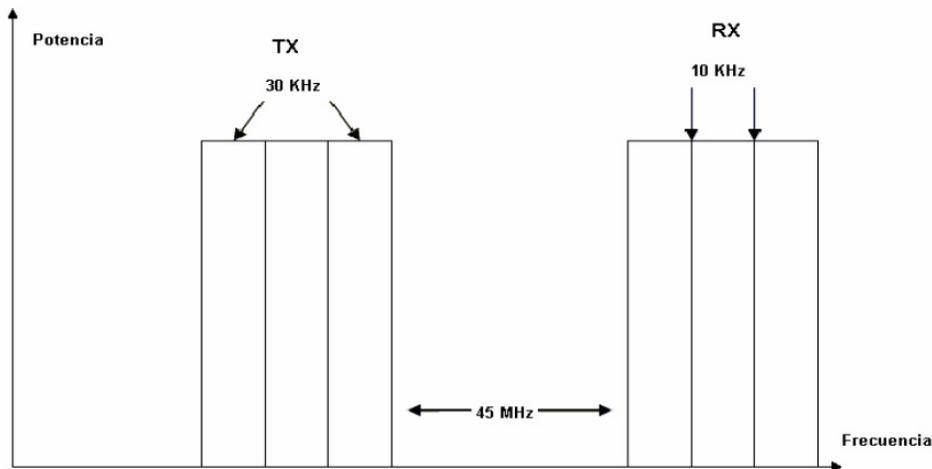


Figura 4.2: AMPS de banda angosta.

Al mismo tiempo que en Estados Unidos se desarrollaba AMPS, el Consejo Nórdico formado por Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia trabajaban en otro estándar a nivel europeo. Fue en 1975 en la Conferencia Nórdica de las Telecomunicaciones donde se presentó con el nombre de NMT, que era un estándar abierto. Todos

los desarrolladores tenían permisos para diseñar sistemas que fueran compatibles con el estándar. Además el estándar incluía descripciones de las interfaces de radio, incluyendo el enlace entre la estación base y un conmutador central. Debido a que NMT fue implantado en todos los países escandinavos, el roaming fue uno de los principales aspectos del departamento de diseño. Un primer modelo fue diseñado en Estocolmo en 1978, pero la red nórdica no fue oficialmente instalada hasta octubre de 1981. Posteriormente países como Holanda, Luxemburgo y Bélgica se unieron a la red, aunque el roaming entre estos tres países fue una realidad, había problemas para comunicarse con la red de los países escandinavos. Una variante de NMT conocida como NMT-450 fue la que se instauró en España y Francia años más tarde, así como en otros países del este de Europa, en años posteriores. Éste estándar usa un sistema celular que utiliza una estructura de red jerárquica. Comparado con el estándar americano NMT-450 se hizo comercial casi a la vez que el AMPS. Sin embargo NMT-450 estaba basado en una técnica más avanzada, tal que las estaciones base son relativamente inteligentes, cosa que no pasaba en AMPS debido a que todas las funcionalidades estaban situadas en la central de conmutación. En 1986 apareció el NMT-900 en Escandinavia; que también fue instaurado en Suiza y Holanda, que basado en su antecesor ofrecía el roaming entre estas redes y como su nombre lo indica, operaba en la banda de 900 MHz. El último de los grandes protocolos de primera generación es el TACS (Total Access Communications System), el cual fue utilizado por primera vez en el Reino Unido en 1985. Sin embargo este estándar utilizaba otra banda de frecuencia diferente a la del estándar americano, porque antes de su desarrollo los británicos ya tenían asignada una banda de frecuencia para la telefonía móvil; la banda de 900 MHz, la señalización se realiza fuera de banda (dando una mejor calidad de audio así como una mejor conmutación al pasar de una célula a otra). Su principal ventaja es la gran cobertura que presenta. Ésta tecnología se añadió en Italia, España y Austria a principios de los años 90. Las redes TACS formaron la mayor red de telefonía móvil antes de la instalación de GSM. Los sistemas de primera generación que alcanzan un desarrollo comercial significativo aparecen en los años ochenta. En Europa los sistemas NMT-450, NMT-900 y TACS empiezan ofreciendo un servicio que tiene, desde el punto de vista de usuario, las características del servicio actual:

- Posibilidad de realizar y recibir llamadas en cualquier punto del área de cobertura del sistema.
- Continuidad de la comunicación al pasar del radio de acción de una estación de base al de la estación contigua

Sin embargo, estos sistemas solo alcanzan unas penetraciones limitadas debido a los elevados costos que implican. Se han definido dos razones por las cuales el costo de estos sistemas fuera tan elevado.

- Falta de competencia entre los operadores y suministradores de equipos que obligaran a bajar los precios. Cuando en Gran Bretaña se introdujo el segundo operador, incluso el crecimiento del sistema TACS analógico, se aceleró considerablemente.
-

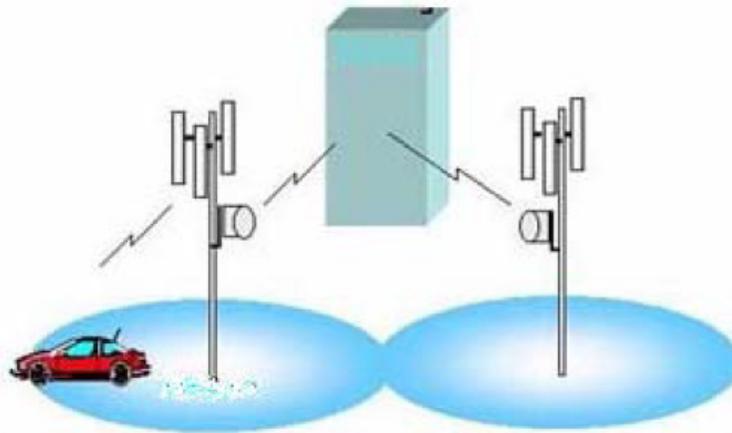


Figura 4.3: Las células de primera generación se caracterizaron por que implementan el traspaso de llamadas entre células.

- Dificultades de orden técnico. Entre las más destacables podemos mencionar:
 - Existencia de varios estándares y, por tanto, series de fabricación limitadas.
 - Sistemas de baja capacidad o eficiencia radioeléctrica que implica un gran consumo de frecuencias o bien instalaciones caras.
 - Sistemas analógicos que implican una tecnología voluminosa y de difícil mantenimiento.
 - Sistemas propietarios, es decir, dependencia de un único fabricante.

El punto de partida en esta generación fue que el roaming debería estar disponible entre redes, aunque esto no fue posible a gran escala hasta los años 90. [14]

A principios de los años 80 Alemania también estaba metido en la lucha por el desarrollo de las tecnologías móviles y creó su propio estándar conocido como C-450, que fue puesto en el mercado en 1985 y que trabajaba en la banda de 450 MHz. Este tipo de redes no tuvieron mucho éxito y solo fueron instaladas en Portugal y Sudáfrica. Los países que instalaron C-450, lo hicieron debido a la flexibilidad que éste proporcionaba dentro de su territorio. Otros estándares aparecieron en Europa entre los más importantes el RC-2000 que se desarrolló y se implantó únicamente en Francia desde 1981. Tiene tres bandas: la más baja se utiliza para las comunicaciones locales, la segunda para comunicarse con el exterior y la tercera y más alta se añadió más tarde para proporcionar servicios de radio y telefonía móvil. Japón también desarrolló su propio estándar llamado NTT (Nippon Telegraph and Telephone). Japón fue en 1979 quién instaló el primer sistema celular que también se conoció por MSCL1. A mediados de los años 80

cuando ya eran bien conocidas las propiedades y capacidad que ofrecen las celdas, desarrollaron un nuevo estándar; el MSCL2, con una eficiencia del espectro mucho mayor, pero que seguía trabajando en la misma banda de frecuencia. Esta segunda versión no permite teléfonos portátiles, sólo teléfonos instalados en coche. NNT es un sistema usado exclusivamente en Japón. Japón ha entrado en la competencia del desarrollo de la telefonía móvil desde 1988 aunque otros proveedores han optado por utilizar TACS como tecnología móvil de primera generación, lo que obligó a crear el sistema J-TACS. [29]

Se debe reconocer que la primera generación de radio celular analógico no fue una nueva tecnología pero sí una nueva idea el de reorganizar la tecnología existente IMTS a gran escala. [22]

4.1.1. Funcionamiento de la Primera Generación.

La Primera Generación de telefonía celular tiene como base de funcionamiento la técnica de acceso múltiple por división de frecuencia, mejor conocida como FDMA.



Figura 4.4: La voz se modula en FM y se coloca en un canal disponible del ancho de banda asignado.

Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA).

Es una técnica de comunicación inalámbrica utilizada a mediados de la década de los 80 en el estándar americano AMPS que posteriormente evolucionó a N-AMPS, los cuales utilizaban la modulación en frecuencia (FM) para introducir la información de voz en el canal de tráfico y frequency shift keying (FSK) para la señalización. FDMA consiste en dividir el espectro radioeléctrico en una serie de secciones o ranuras que conforman canales ordenados en el dominio de la frecuencia. De tal manera que las llamadas telefónicas son separadas por frecuencias similares. Cuando el número de subportadoras aumenta, el ancho de banda asignado a cada una de ellas debe disminuir lo que conlleva a una reducción de la capacidad de las mismas. Cuando hay más usuarios que el suministro de canales que puede soportar el sistema, se bloquea el acceso de los usuarios al sistema. Cuantas más frecuencias se disponen, hay más usuarios, y esto

significa que tiene que pasar más señalización a través del canal de control. Los sistemas muy grandes FDMA frecuentemente tienen más de un canal de control para manejar todas las tareas de control de acceso. [3]

En los sistemas analógicos actuales de telefonía celular, cada canal ocupa 30 kHz. Cuando una MS que utiliza FDMA establece una llamada, reserva el canal de frecuencia para la duración entera de la llamada. Los datos de la voz se modulan en esta banda de frecuencia y se envían. En el receptor, se recupera la información usando un filtro band-pass. La MS utiliza un canal común de control para acceder a los canales disponibles. Los sistemas basados en FDMA son los menos eficientes en un sistema celular puesto que cada canal analógico solo puede ser utilizado por una MS al mismo tiempo. Las señales analógicas son también especialmente susceptibles al ruido y no hay manera de filtrarla hacia afuera. Debido a la naturaleza de la señal, los teléfonos analógicos de la célula deben utilizar una potencia de transmisión más alta (entre 1 y 3 Watts) para conseguir una calidad aceptable durante la llamada. Debido a estas características es fácil determinar porqué FDMA ha sido sustituido por nuevas técnicas de acceso digitales. Aunque FDMA podría ser utilizado para los sistemas digitales, se utiliza exclusivamente en todos los sistemas celulares analógicos. [8]

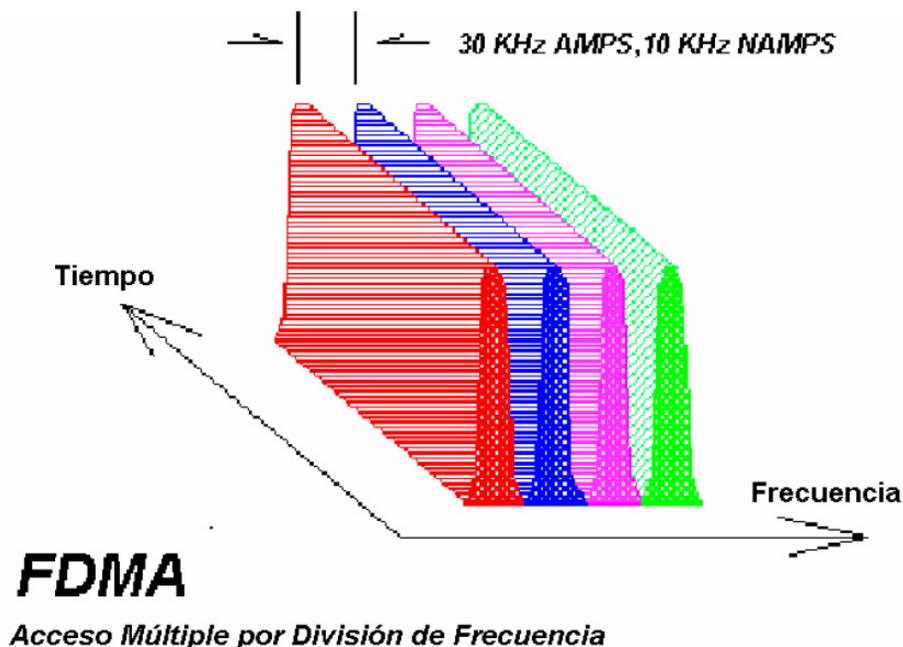


Figura 4.5: Acceso Múltiple por División de Frecuencia..

4.2. SEGUNDA GENERACIÓN.

Una de las características comunes en todos los sistemas celulares analógicos ha sido su crecimiento exponencial en cuanto al número de usuarios que requieren este servicio, estando algunas redes al borde de la saturación especialmente en áreas urbanas densamente pobladas. Otra característica muy importante era la diversidad de sistemas existentes en los diferentes países que no presentaban compatibilidad de operación.

El reconocimiento de esta problemática fue un factor que impulsó el desarrollo del estándar GSM para las comunicaciones móviles. Este sistema tuvo la ventaja de haberse diseñado desde cero, sin importar si era compatible con los sistemas telefónicos celulares analógicos existentes. Después de las discusiones iniciales se crearon tres grupos de trabajo para desarrollar los aspectos de la definición del sistema, tiempo después se creó un cuarto grupo.

En 1986, se estableció un sitio permanente en París para coordinar los esfuerzos realizados por los distintos grupos de trabajo así como organizar las diferentes recomendaciones para el sistema. Los grupos de trabajo tenían que formar un sistema, ya sea con una unidad móvil o con el móvil montado en un auto, que tuviera acceso al sistema en todos los países en que se instalara el sistema con la posibilidad de hacer uso de todos los servicios. Comparado con los sistemas analógicos este nuevo sistema necesitaba una mayor capacidad, costo comparable e incluso menor y una mejor calidad en los servicios de voz. Además este sistema tendría que poder coexistir con los sistemas analógicos. La mayor ventaja de este sistema no exclusivo es su capacidad de roaming internacional. Los usuarios tienen roaming continuo, con el mismo número, en más de 170 países. La mayor parte de los sistemas GSM opera en las bandas de frecuencia de 900 MHz y 1.8 GHz, sin embargo, cuando el sistema se instaló en algunos países de Europa, solo se podía hacer uso de una parte de las bandas asignadas, por que ya se contaba con sistemas analógicos utilizando parte de esas bandas. En Estados Unidos no se tuvo ese problema ya que GSM opera en la banda de 1.9 GHz.

Para la elección de la técnica de acceso múltiple, se decidió recibir propuestas de diferentes compañías y consorcios de varios países europeos, que serían evaluados como prototipos. Hubo ocho diferentes propuestas para el sistema. El sistema MATS-D de TEKADE incorporaba tres técnicas de acceso múltiple, CDMA, TDMA y FDMA. El sistema CD900 propuesto por SEL incluía TDMA de banda ancha junto con técnicas de espectro disperso. Las otras seis propuestas coincidían en TDMA de banda angosta. El sistema FSH900 propuesto por LCT utilizaba saltos de frecuencia en combinación con GMSK (Gaussian Mean Shift keying), ecualización de Viterbi y codificación de canal Reed-Solomon. Bosch propuso el sistema S900-D que utilizaba FSK. La propuesta de Ericsson era el sistema DMS90 que utilizaba Frequency Hopping, modulación GMSK y un DFE (Ecualizador de Decisión con Retroalimentación) adaptable. El sistema MO-

BIRA y el sistema MAX II propuestos por Televerket eran similares a la propuesta de Ericsson. Finalmente el sistema propuesto por ELAB de noruega empleaba ADPM ó Modulación de Fase Digital Adaptable, ecualizador de Viterbi para la interferencia entre símbolos. Después de una prueba de campo en Paris a finales de 1986, el sistema que tuvo una mejor eficiencia fue el propuesto por ELAB.



Figura 4.6: Los fabricantes más destacados de equipos GSM.

Para Junio de 1987 se acordó que las características del nuevo sistema serían TDMA de banda angosta y que tendría muchas características del sistema ELAB. Las especificaciones fueron divididas en Fase I y Fase II, la primera incluía los servicios más comunes como llamada en espera y servicios básicos, la segunda contenía los servicios complementarios, además de correcciones y mejoras de rendimiento. Como petición de Reino Unido se creó una versión para la banda 1800 MHz, este tomo el nombre de Sistema Celular Digital ó DCS-1800. [18]

Los sistemas GSM manejan velocidades de datos de 9.6 Kbps y la función SMS. Esto proporciona la posibilidad de hablar y escuchar al mismo tiempo, aunque para ello solo se emplea una antena. Y además, facilita enormemente la transmisión de datos, y todos los servicios que ese tipo de datos aportan, como son los mensajes de texto, fax, internet. Los fabricantes más destacados de equipos GSM son Alcatel, Ericsson, Lucent, Nokia y Nortel. La ventaja principal de este sistema es que permite realizar o recibir llamadas de operadores del mismo o distinto país, que tengan establecido un acuerdo de itinerancia, aún estando en tránsito por ellos; el equipo móvil se registra automáticamente en la nueva red GSM al cambiar de un país a otro, quedando inmediatamente disponible para su utilización. El estándar GSM fue puesto en funcionamiento a principio de los años 90 dando así origen a lo que se conoce como la segunda generación de telefonía móvil. Conforme se desarrolló GSM, este mantuvo el acrónimo, aunque en la actualidad signifique Global System for Mobile communications. [13]

En Estados Unidos, el objetivo principal de un nuevo estándar digital era aumentar la capacidad dentro de la banda de 800 MHz existente. Un prerrequisito es que los

teléfonos móviles debían funcionar con los canales de voz analógicos ya existentes y con los nuevos digitales, bajo el concepto llamado Dual Mode. A partir de esto se empleó el término Digital AMPS (D-AMPS) que se refiere al Estándar IS-54B, y que define una interfaz digital con componentes heredados de AMPS. La especificación IS-36 es una evolución completamente digital de D-AMPS. A causa de estos requisitos, fue natural el elegir un estándar TDMA de 30 KHz puesto que los sistemas analógicos existentes trabajan ya con esta anchura de canales. En este sistema se transmiten tres canales por cada portadora de 30 KHz.



Figura 4.7: QUALCOMM principal promotor y pionero de CDMA.

A principios de la década de los 90, también aparece un nuevo estándar el cual utiliza el método de acceso CDMA (Code Division Multiple Access) el cual ha sido desarrollado a partir de la tecnología de espectro disperso (Spread Spectrum). Esta tecnología había sido utilizada anteriormente para fines militares debido a que permite transmisiones altamente codificadas. El estándar CDMAOne o IS-95, fue una tecnología desarrollada por Qualcomm y consiste en que todos usan la misma frecuencia al mismo tiempo separándose las conversaciones mediante códigos. Las tecnologías de segunda generación ofrecían las siguientes características:

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

El estándar fue definido por el TIA (Telephone Industry Association) en 1993 con el nombre de IS-95. Se sabe que Qualcomm fue el gran pionero de CDMA, que ya había sido creada en los años 50, pero se dejó de lado hasta que en los años 90 se retomó para el desarrollo de la segunda generación. La primera red comercial CDMA fue abierta en 1996 en Corea del Sur, Hong Kong, Singapur. Las primeras redes de 800 y 1900 Mhz de Estados Unidos fueron instaladas en 1996 hasta llegar a las 48 licencias de instalación

que hubo en total en el mundo. [33]

En Japón fue desarrollado un sistema digital para sustituir al existente sistema analógico NTT, que recibió el nombre de PDC (Pacific Digital Cellular). Surgió de la colaboración de varias empresas como son Ericsson, NEC, etc. junto con el NTT que decidieron trabajar juntos en 1993 para implementar el estándar en otros países asiáticos. Los problemas con las licencias que están en poder del NTT han hecho que PDC haya sido imposible de exportar fuera de Japón y únicamente Tailandia tiene algún plano de licencia para estas redes. PDC utiliza un sistema TDMA con tres ranuras de tiempo como IS-54. También se usa un eficiente método de codificación de palabra conocido como VSELP (Vector Sum Excited Linear Predictive) desarrollado por Motorola. Esto proporciona una alta eficiencia en el espectro y de acuerdo con algunos especialistas no japoneses, más del doble de eficiente que en GSM. En este estándar la estación base y los terminales móviles usan diversidad de antena, de esta manera se ha hecho un intento para evitar el uso de ecualizadores complicados (como en GSM y D-AMPS). Los servicios de fax y datos trabajan a 9,6 Kbps y se pensó en utilizar un servicio de conmutación de paquetes pero al final no ha sido implementado. Para este sistema se pueden usar dos bandas de frecuencias, la de 800MHz y la de 1,5GHz. Para un futuro se tiene la posibilidad de utilizar seis ranuras de tiempo que proporcionará al sistema del doble de capacidad y de un servicio de datos más rápido. Otro sistema digital utilizado en Japón es el PHS (Personal Handyphone System). Este estándar, lanzado en 1995, no es una tecnología celular propiamente. PHS es un sistema inalámbrico de corto alcance (cada base tiene alcance de 200 metros), pero de alta calidad y capacidad. Esta tecnología esta diseñada para áreas altamente pobladas donde los sistemas celulares pueden presentar problemas de cobertura, con menores costos que los de la telefonía celular. Para marzo de 1999 existían cerca de 5.77 millones de usuarios de PHS. [22]

Los protocolos empleados en los sistemas de Segunda Generación soportan velocidades de información más altas para voz pero limitados en comunicaciones de datos. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como Datos, Fax y SMS (Short Message Service). La mayoría de los protocolos de Segunda Generación ofrecen diferentes niveles de encriptación. La principal ventaja de los teléfonos de Segunda Generación sobre sus predecesores analógicos son su gran capacidad y menor necesidad de carga de batería. [18]

4.2.1. Funcionamiento de la Segunda Generación.

Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).

Esta tecnología es ampliamente utilizada en sistemas celulares de segunda generación para incrementar la capacidad celular en áreas de alta densidad. TDMA divide un canal de frecuencia de 30 KHz en 3 ranuras de tiempo. A cada MS que utiliza la red



Figura 4.8: Apariencia de un equipo de segunda generación.

celular se le asigna una ranura de tiempo específica para la transmisión, lo que hace posible que varios usuarios utilicen un mismo canal simultáneamente sin interferir entre sí. [16]

TDMA es conocido como IS-54 también bajo el acrónimo USDC (United States Digital Cellular) ó DAMPS (Digital Advanced Mobile Phone System). Los sistemas celulares, que emplean técnicas TDMA, siempre usan TDMA sobre una estructura FDMA. Un sistema puro TDMA tendría sólo una frecuencia de operación, y no sería un sistema útil. Al asignar las mismas frecuencias del espectro radioeléctrico para ambos sistemas (digitales y analógicos), se pretende la coexistencia de ambos durante el periodo de transición, con el propósito de disminuir los costos de reingeniería. TDMA es un concepto bastante antiguo en los sistemas de radio. En los sistemas celulares digitales, TDMA implica el uso de técnicas de compresión de voz digitales, que permite a múltiples usuarios compartir un canal común utilizando un orden temporal. La codificación de voz moderna, reduce mucho el tiempo que se lleva en transmitir mensajes de voz, eliminando la mayoría de la redundancia y periodos de silencio en las comunicaciones de voz. Los usuarios comparten un canal físico en un sistema TDMA, donde están asignados unos slots de tiempo. A todos los usuarios que comparten la misma frecuencia se les asigna un slot de tiempo, que se repite dentro de un grupo de slots que se llama trama. En los sistemas TDMA se transmiten 25 tramas por segundo y cada trama tiene

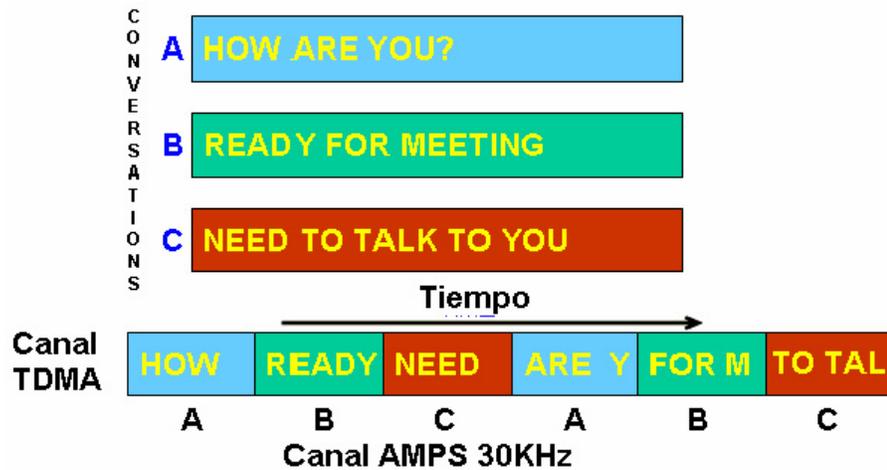


Figura 4.9: Tres usuarios utilizando un canal TDMA en intervalos de tiempo distinto.

una duración de 40 ms. Cada trama está compuesta por seis slots de tiempo, los cuales tienen una duración de 6.66 ms. Cada slot de tiempo tiene 324 bits de información. La ráfaga de comunicación individual ocupa diferentes slots de tiempo. Implementaciones actuales codifican y dan servicio a tres usuarios, conocido como full rate donde cada uno tiene asignado 2 slots de tiempo por trama (1,4; 2,5; 3,6). [7]

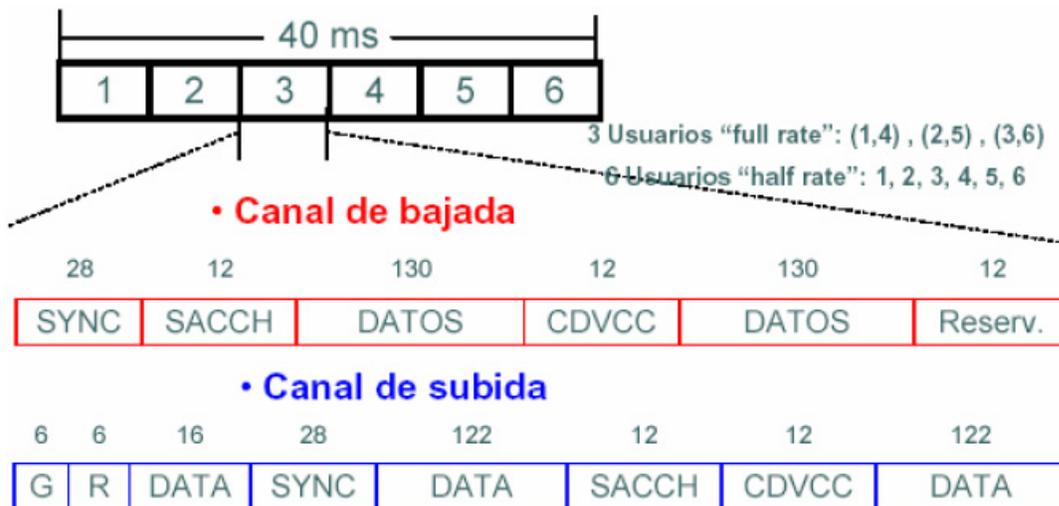


Figura 4.10: Estructura de la trama TDMA.

TDMA fue adoptada en 1991 en Estados Unidos por la TIA bajo la presión de fabricantes europeos que intentaban vender sus equipos al mercado estadounidense. Al incrementarse el número de usuarios, esta técnica de acceso múltiple también es inefi-

ciente. [35]

IS-54 mantiene el canal de radiofrecuencias de 30 kHz de los canales AMPS. También mantiene las bandas de frecuencia, la división de esta banda en dos portadores, la estructura FDD (Frequency Division Duplex), está pensado para operar simultáneamente con AMPS (modo Dual). De hecho los canales de control son los mismos. Es decir, con el mismo patrón de frecuencias reutilizado es posible triplicar la capacidad de AMPS. El estándar IS-54 es un protocolo especial de vinculación que permite a diferentes MTSO comunicarse con otros. El vínculo del protocolo IS-54 permite el roaming, lo cual significa que una MS visitante puede originar una llamada desde un área de servicio diferente soportada por un MTSO de un proveedor de servicio que no es el suyo. Para poder dar este servicio, debe de existir un acuerdo de cooperación mutuo entre los distintos proveedores. [8]

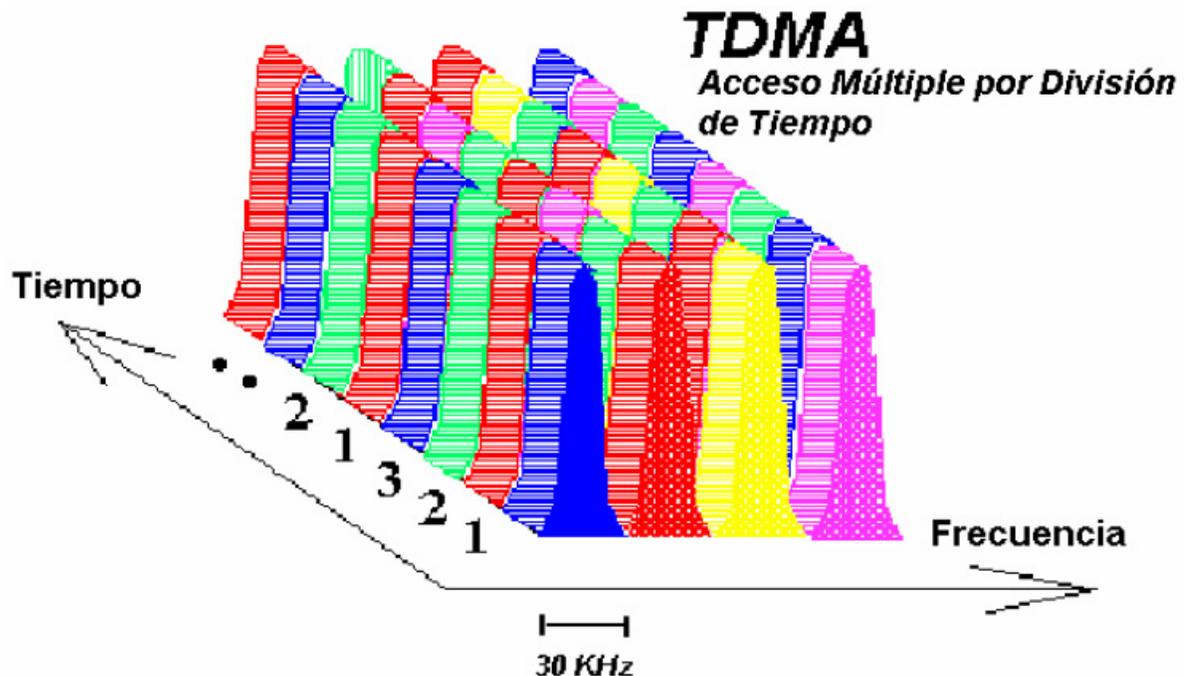


Figura 4.11: Acceso Múltiple por División de Tiempo.

La tecnología de radio de TDMA es también la base de los principales estándares celulares digitales del mundo, tal como TDMA D-AMPS (Digital-Advanced Mobile Phone System), TDMA D-AMPS-1900, PCS-1900 (Personal Communication Services), GSM (Global System for Mobile Communication), DCS-1800 (Digital Communications System) y PDC (Personal Digital Cellular) y los estándares analógicos como, NMT (Nordic Mobile Telephone) y TACS (Total Access System). [19]

Ventajas de TDMA.

TDMA ofrece más ventajas sobre otras tecnologías celulares. Primero, puede ser adaptado para transmitir voz y datos, soporta diferentes velocidades, desde 64 Kbps a 120 Kbps, esto permite brindar servicios de fax, transmisión de datos, servicio de mensajes, y servicios de multimedia y videoconferencia. A diferencia de otras técnicas de espectro amplio, las cuales sufren de interferencia debida a otras transmisiones en la misma frecuencia, la tecnología TDMA, que divide a sus usuarios en tiempo, asegura que no experimentarán interferencias de otras transmisiones simultáneas. Brinda también la ventaja de extender la vida útil de las baterías, ya que la MS sólo transmite en porciones de tiempo en la duración total de la conversación. Las instalaciones de TDMA presentan ahorro en cuanto a equipo, espacio y mantenimiento, factor importante ya que el tamaño de las celdas es cada vez menor. Este sistema también brinda beneficios económicos ya que permite actualizar los sistemas analógicos existentes a digitales. TDMA es también la única tecnología que ofrece una estructura de celdas jerárquicas, contando con pico, micro y macro celdas, permitiendo así una cobertura amplia y soportar tráfico y necesidades especiales. Usando este sistema, el cual es 40 veces mayor en capacidad que el sistema AMPS, se tiene un gran beneficio económico, y debido a su compatibilidad con FDMA analógico, permite compatibilidad de servicios con dispositivos de modo dual.

Desventajas de TDMA.

Una de las desventajas de TDMA es que cada usuario tiene una ranura de tiempo asignada. Sin embargo, cuando un usuario cambia de una celda a otra, no tiene una ranura asignada. Además, si todas las ranuras están ocupadas en la siguiente celda, la llamada se puede perder. De forma similar, si todas las ranuras de la celda en la cual se encuentra un usuario están ocupadas, este no recibirá un tono de marcación. Otro problema con TDMA es que esta sujeto a distorsión por desvanecimiento de la señal. Una señal procedente de una torre a un móvil puede provenir de diferentes direcciones, puede haber rebotado por varios edificios antes de llegar, lo que puede causar interferencia. Una forma de eliminar esta interferencia es poner un tiempo límite al sistema. El sistema esta diseñado para recibir, tratar y procesar a una señal con un cierto tiempo límite, después de que este tiempo expira, el sistema ignora la señal. La sensibilidad del sistema depende de que tan lejos procese las frecuencias de multipath. Aún a miles de segundos estas señales de multipath causan problemas. Todas las arquitecturas celulares, ya sean basadas en micro o macro celdas, tienen un conjunto único de problemas de propagación. Las macro celdas son afectadas por señales de multipath causadas por reflexión y refracción, debilitando o cancelando la señal. [7]

4.2.2. GENERACIÓN 2.5.

Hoy en día el número de usuarios de telefonía móvil y de Internet ha crecido impresionantemente, por eso surgió la necesidad de fusionar ambas redes. Los operadores de telefonía móvil europeos y de Estados Unidos comenzaron a moverse a 2.5G en el 2001, mientras que Japón dio el salto directo de 2G a 3G. La tecnología 2.5G es más rápida y más económica para actualizar a 3G. La generación 2.5G ofrece características extendidas, ya que cuenta con más capacidades adicionales que los sistemas 2G, una de estas tecnologías 2.5G es GPRS (General Packet Radio System), está basado en GSM que surgió para dar solución a los problemas que había en la primera generación de telefonía móvil. Esta tecnología esta basada en la transmisión de paquetes y donde los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios de forma dinámica.

GPRS coexiste con GSM utilizando una transmisión de datos por medio de paquetes, al contrario de GSM que utiliza conmutación de circuitos. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz, para esto, se utilizaba la tecnología HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), Con esta tecnología, el número de canales equivalentes de GSM utilizados en cada instante por una comunicación de datos es variable, permitiendo velocidades de transmisión de hasta 57,6 Kbps. La ventaja de HSCSD es que la inversión para ser implantado es mínima, aunque tiene como desventaja un mayor costo para los usuarios, pues pagan por el uso de cada canal. Finalmente, la tecnología EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) es otro de los desarrollos de las redes GSM, permitiendo teóricamente velocidades de datos de hasta 384 Kbps. Se trata de una tecnología que mejora el ancho de banda de la transmisión de los datos en GSM y GPRS, y que se puede considerar como precursora de UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). En realidad, EDGE y UMTS son tecnologías complementarias que de forma conjunta pueden dar apoyo a las necesidades de los operadores para lograr la cobertura y capacidad global de las redes de Tercera Generación pero ofreciendo al usuario un servicio portador más eficiente para las comunicaciones de datos, especialmente en el caso de los servicios de acceso a redes IP como Internet. [14]

Servicio General de Radio Paquetes (GPRS).

Las dos características principales de la tecnología GPRS son:

- Los canales se comparten entre varios usuarios: En GPRS los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente, de modo que un usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo datos. Para utilizar GPRS se precisa un teléfono que soporte esta tecnología. La mayoría de estos terminales soportarán también GSM, por lo que podrá realizar



Figura 4.12: Los equipos 2.5G se caracterizan por su capacidad de transferencia de datos y acceso a redes..

sus llamadas de voz utilizando la red GSM de modo habitual y sus llamadas de datos (conexión a Internet) tanto con GSM como con GPRS.

- Obtiene mayor velocidad y eficiencia de la red: Tradicionalmente la transmisión de datos inalámbrica se ha venido realizando utilizando un canal dedicado GSM a una velocidad máxima de 9.6 Kbps. Con el GPRS no sólo la velocidad de transmisión de datos se ve aumentada hasta un mínimo 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps por comunicación, sino que además la tecnología utilizada permite compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red.

Mejoras de GPRS frente a GSM.

Como ya sabemos GPRS está basado en GSM, con el resultado de unas series de mejoras como las que se describen a continuación:

- Velocidad de transferencia mayor que en GSM, hasta 144Kbps.
- Conexión permanente: Tiempo de establecimiento de conexión inferior al segundo.
- Pago por cantidad de información transmitida, no por tiempo de conexión.

Ventajas GPRS.

A continuación se citarán una serie de ventajas que ofrece tanto para el cliente como para la operadora que ofrece el servicio:

- Siempre conectado: un usuario puede estar conectado todo el tiempo que desee, puesto que no hace uso de recursos de red, mientras no esté recibiendo ni transmitiendo datos.
- Tarificación por datos transmitidos no por tiempo.
- Coste nulo de establecimiento de la transmisión.
- Mayor velocidad de transmisión ya que se pueden tener varios canales asignados para la transmisión.
- Posibilidad de recibir o realizar llamadas mientras se está conectado o utilizando cualquiera de los servicios disponibles.
- Modo de transmisión asimétrico aproximadamente cuatro veces mayor capacidad de transmisión de bajada que de subida.
- Uso eficiente de los recursos de red ya que los usuarios ocupan los recursos de la red en el momento en que se están transmitiendo o recibiendo datos y además se pueden compartir los canales de comunicación entre los diferentes usuarios.

Otros protocolos de la generación 2.5.

No sólo GPRS conforma esta generación sino que existen otros dos protocolos que se desarrollaron a la vez: EDGE y HSCSD

Aumento de la Velocidad de Datos para la Evolución Global (EDGE).

EDGE es un estándar de datos de alta velocidad. Permite conseguir transmisiones de datos a velocidades de 384 kbps cuando todas las ranuras de datos son usadas. Esto significa una tasa máxima de 48 kbps para cada ranura, pudiendo incluso conseguir velocidades mayores si las condiciones son buenas. EDGE fue inicialmente desarrollado para operadores de redes móviles que fracasaron en ganar espectro a UMTS. EDGE da la posibilidad de ofrecer datos de servicio a velocidades cercanas a aquellas que ofrece las redes UMTS. Más tarde la industria introdujo lo que se llama el Compact EDGE. Esto es una versión del efecto eficiente de EDGE que soportará tasas de datos de 384 kbits pero que sólo requerirá de una parte del espectro pequeña y por tanto podría trabajar con partes del espectro limitadas. De todo esto surgió el EDGE con evolución TDMA.

Conmutación de Circuitos de Alta Velocidad (HSCSD).

HSCSD proporciona a un usuario el poder acceder a varios canales a la vez. Como tal, hay una conexión directa entre la mayor velocidad y los costos asociados de usar más recursos de radio (es caro para los usuarios finales tener que pagar por múltiples llamadas). La transmisión estándar de un sistema de conmutación de paquetes es de 14.4 Kbps mientras que usando HSCSD tenemos 57.6 Kbps. Algunos centros de conmutación móvil tienen limitados a 64 kbps la máxima velocidad (restricción que no existe en GPRS). En sistemas donde se encuentra desarrollado HSCSD, GPRS ocupa el tercer lugar en cuanto prioridad, donde el primer lugar es para la voz y la segunda para HSCSD. Puede ser utilizado para realizar llamadas, de tal manera que las llamadas HSCSD pueden ser reducidas a un solo canal si las llamadas buscan ocupar este canal. HSCSD es además el más indicado en aquellas redes nuevas o aquellas con suficiente capacidad compartida. Sin embargo HSCSD es mucho más fácil de implementar que GPRS porque algunos vendedores de GSM requieren un software mejorado para estaciones base y no un nuevo hardware. Otra razón de porqué es mejor utilizar HSCSD podría ser el caso en mientras GPRS es complementario para las comunicaciones con redes basadas en paquetes como Internet, HSCSD puede ser la mejor manera de comunicar con otras comunicaciones de conmutación de circuitos como puede ser PLMN y ISDN. Nokia utiliza HSCSD con cierto éxito.

4.3. TERCERA GENERACIÓN.

Las tecnologías 3G se encuentran contenidas dentro del IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) de la ITU, el cual puede considerarse como la guía que marca los puntos en común que deben cumplirse para conseguir el objetivo de la itinerancia global, es decir, que un terminal de usuario de 3G pueda comunicarse con cualquier red 3G del mundo. La tercera generación se caracteriza por contener a la convergencia de voz y datos con acceso inalámbrico a Internet; en otras palabras, es apta para aplicaciones multimedia y altas transmisiones de datos. [28]

Los protocolos empleados en los sistemas 3G soportan altas velocidades de información y están enfocados para aplicaciones más allá de la voz como audio (mp3), video en movimiento, videoconferencia y acceso rápido a Internet, sólo por nombrar algunos. Asimismo, en un futuro próximo los sistemas 3G alcanzarán velocidades de hasta 384 Kbps, permitiendo una movilidad total a usuarios, viajando a 120 kilómetros por hora en ambientes exteriores. También alcanzará una velocidad máxima de 2 Mbps, permitiendo una movilidad limitada a usuarios, caminando a menos de 10 kilómetros por hora en ambientes estacionarios de corto alcance o en interiores. Lo ideal es que los sistemas de tercera generación provean servicios en cualquier lugar y a cualquier hora. Mientras que los servicios analógicos y los primeros servicios digitales fueron diseñados solo para resolver problemas de sistemas analógicos, como seguridad, bloqueo e incompatibilidad

regional; iniciándose así, una nueva visión a la migración a 3G y por lo tanto hacia nuevos servicios. [18]

Los avances que en materia de sistemas de Tercera Generación adelanta la ITU, a finales de los años ochenta, se denominaron en un principio como Futuros Sistemas Públicos de Telecomunicaciones Móviles Terrestres (Future Public Land Mobile Telecommunication System, FPLMTS) actualmente se le ha cambiado de nombre y se habla del Sistema de Telecomunicaciones Móviles Internacionales IMT-2000 creado con el objetivo de valorar y especificar los requisitos de las normas celulares del futuro para la prestación de servicios de datos y multimedia a alta velocidad. Precisamente UMTS constituye uno de los miembros de esta familia de estándares IMT-2000.



Figura 4.13: La generación 3G destaca por su enfoque en servicios multimedia de alta velocidad.

Los servicios que ofrecen las tecnologías 3G son básicamente: acceso a Internet, servicios de banda ancha, roaming internacional e interoperatividad. Pero fundamentalmente, estos sistemas permiten el desarrollo de entornos multimedia para la transmisión de vídeo e imágenes en tiempo real, fomentando la aparición de nuevas aplicaciones y servicios tales como videoconferencia o comercio electrónico. Entre los atributos de UMTS se pueden destacar: conectividad virtual a la red todo el tiempo, diferentes formas de tarificación, ancho de banda asimétrico en el enlace ascendente y descendente, configuración de la calidad de servicio (QoS), integración de la tecnología y estándares de redes fijas y móviles, entorno de servicios personalizado, y muchos otros. En cuanto a las capacidades de transmisión de datos de las tecnologías 3G, se pueden establecer distintos entornos de trabajo, llegando incluso hasta los 2 Mbps en condiciones ideales de funcionamiento, como por ejemplo en el entorno interior de una oficina. Esta capacidad es muy superior a la de las tecnologías precedentes, posibilitando el desarrollo de

servicios multimedia reales. [22]

Asignación del espectro para IMT-2000.

La asignación de espectro para IMT-2000 se realizó en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones 1992, WARC 92, asignando 230 MHz en las bandas 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz. IMT-2000 comprende también una componente satelital que facilitará los aspectos de roaming internacional, así como la obtención de comunicaciones en lugares donde no haya disponibilidad de sistemas terrestres, complementando las celdas Macro, micro y pico. Debido al crecimiento de Internet, las Intranets, el correo y el comercio electrónico y los servicios de transmisión de imágenes y sonido; han elevado la demanda de servicios de banda ancha, teniéndose que incrementar los requerimientos de espectro para IMT-2000. IMT-2000 empieza con la propuesta de Qualcomm de un nuevo sistema basado en técnicas de espectro disperso. Esta propuesta, que luego fue estandarizada como IS-95, es el primer sistema CDMA móvil en desarrollo comercial. El acceso múltiple por división de códigos de banda estrecha IS-95 estipula un espaciamiento de portadora de 1.25MHz para servicios de telefonía. La TTA empezó a definir esta especificación en 1991.

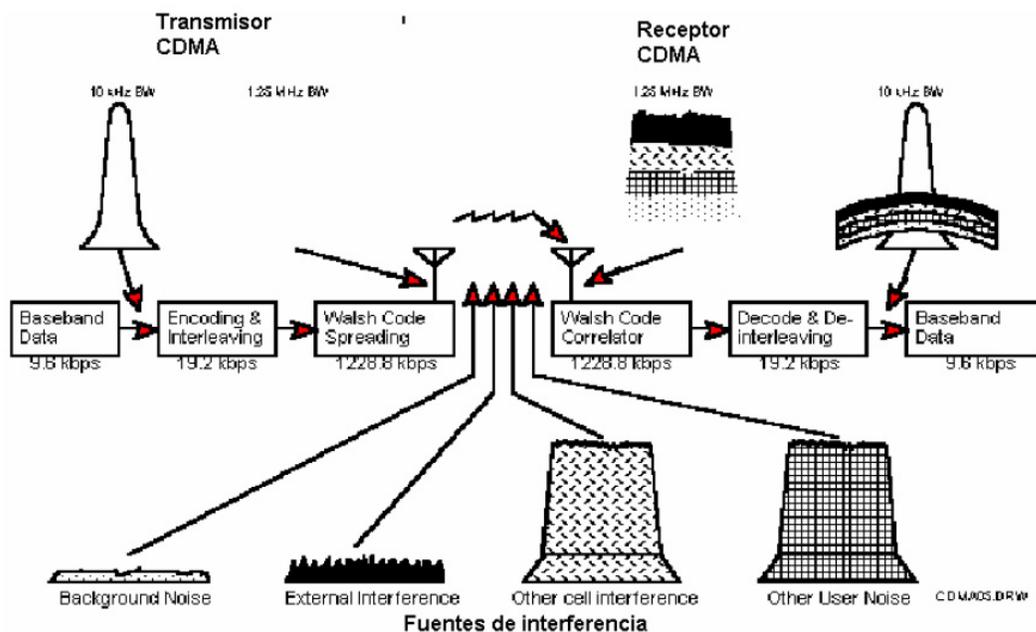


Figura 4.14: CDMA se caracteriza por asignar códigos.

Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).

CDMA es una técnica de acceso múltiple que permite a varios usuarios compartir el mismo espectro de radiofrecuencia por asignación de un código único a cada usuario activo. Es un estándar digital que soporta velocidades de datos de alrededor de 14,4 Kbps vía conmutación de paquetes y vía conmutación de circuitos. Los sistemas IS-95 dividen el espectro en portadoras de 1.25 MHz. En CDMA todos los usuarios ocupan la totalidad del ancho de banda asignado a cada estación base mientras duran sus comunicaciones, que puede ser de varios MHz. [20]

Tanto en FDMA como en TDMA hay una separación de las señales de cada usuario, tanto en frecuencia como en tiempo, mientras que en CDMA todos los usuarios en comunicación se están interfiriendo mutuamente, en este tipo de comunicaciones la MS y la estación base utilizan una codificación particular. Cada dispositivo que utiliza CDMA está programado con un pseudo código, también conocido como ruido, el cual es usado para extender una señal de baja potencia sobre una banda de frecuencia amplia, mucho más de hecho, que el mínimo ancho de banda requerido para transmitir la información que será enviada. La estación base utiliza el mismo código en forma invertida (todos los ceros son unos y los unos ceros) para des-extender y reconstruir la señal original. Todos los otros códigos permanecen extendidos, indistinguibles del ruido de fondo.

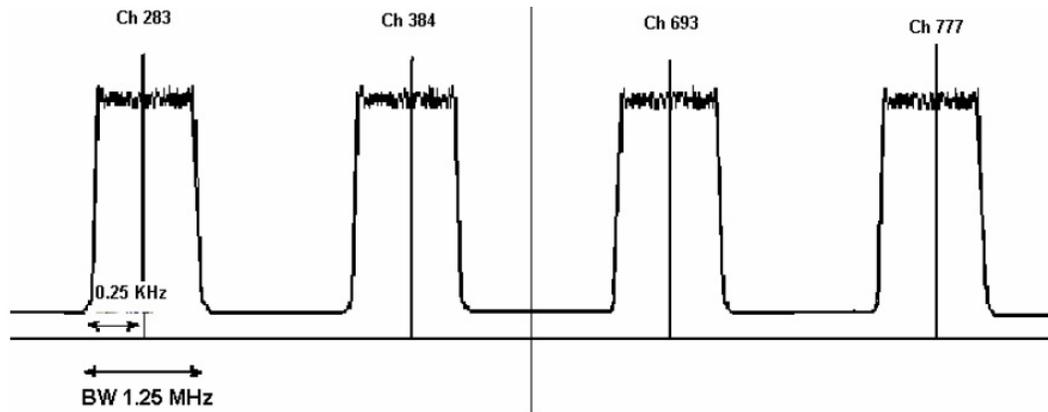


Figura 4.15: Canales CDMA en la Banda celular.

Las comunicaciones CDMA no puede decirse que sean una manera eficiente de utilizar el ancho de banda. Sin embargo, son de utilidad cuando se combinan con los sistemas existentes que ocupan la frecuencia. La señal de espectro disperso que es propagada en un ancho de banda grande puede coexistir con señales de banda estrecha añadiendo únicamente un ligero incremento en el ruido de fondo que los receptores de banda estrecha no pueden detectar. El receptor de espectro disperso no detecta las señales de banda estrecha pues está escuchando en un ancho de banda mucho más amplio con

una secuencia de código ordenada. [A28] En la actualidad existen muchas variantes de CDMA, pero todas estas están basadas en CDMAOne desarrollada por Qualcomm. A CDMA se le caracteriza por su alta capacidad y celdas de radio pequeño, que emplea espectro disperso y un esquema de codificación especial y su mejor característica es su eficiencia en potencia. La técnica de espectro disperso es utilizada para aplicaciones militares donde la seguridad de las conversaciones y protección de los datos es importante. Diseñado con alrededor de 4.4 trillones de códigos, CDMA virtualmente elimina la clonación de dispositivos y es muy difícil capturar y descifrar una señal. [16]

Las redes basadas en CDMA están construidas bajo protocolos basados en IP. En otro tipo de redes, el añadir equipo que soporte paquetes de datos es costoso y requerirá también equipo terminal que lo soporte. El estándar CDMAOne ya incorpora en sus terminales los protocolos TCP/IP (Transfer Control Protocol/Internet Protocol) y PPP (point to point protocol). [9]

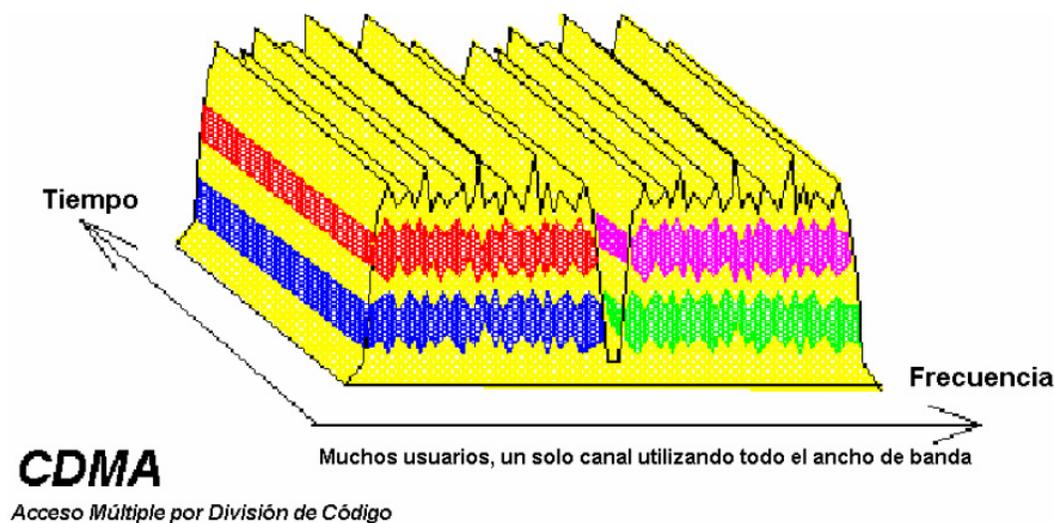


Figura 4.16: Acceso Múltiple por división de código.

CdmaOne.

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

CdmaOne / IS-95-A.

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

CdmaOne/IS-95-B.

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

Cdma2000.

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

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

Ventajas de CDMA.

- Calidad de voz semejante a la tradicional alámbrica.
 - Una de las ventajas importantes de la tecnología CDMA, es que cuenta con mayor cobertura que el sistema análogo.
 - Un amplio rango de servicios de datos incluyendo la transmisión de voz y datos simultáneamente.
 - Eliminación virtual de caída y bloqueo de llamadas
 - El periodo de vida de la batería se incrementa considerablemente.
-

- Capacidad de la red de 10 o más veces que la analógica, la cual conducirá a tarifas de tiempo aire más económicas.
- Utiliza la mitad del número de sitios de celdas que la tecnología analógica u otras formas de tecnologías digitales, de esta manera minimizando el impacto del despliegue de la red en las comunidades.
- Privacidad y seguridad.

Beneficios a los usuarios.

- Calidad excepcional de voz y comunicación. CDMA provee calidad superior de voz, considerada virtualmente tan buena como la de línea alámbrica. También filtra los ruidos de fondo, cruces de llamadas, e interferencia, mejorando grandemente la privacidad y calidad de la llamada.
 - Menor consumo de energía. Los teléfonos de CDMA típicamente transmiten con fuentes de energía substancialmente menores que los teléfonos que utilizan otras tecnologías, resultando en una vida más larga para las pilas, lo que redundo en una mayor disponibilidad de tiempo para llamadas y tiempo de espera. Porque se utilizan pilas más pequeñas, los fabricantes pueden también fabricar teléfonos más pequeños y ligeros.
 - Menos llamadas interrumpidas. CDMA aumenta la capacidad del sistema, eliminando virtualmente señales de ocupado, cruces de llamadas, y llamadas interrumpidas que resultan de la congestión del sistema. Utilizando un sistema patentado de pasar llamadas entre celdas conocido como traslado de llamadas "soft handoff", CDMA también reduce significativamente la posibilidad de llamadas alteradas o interrumpidas durante el traslado de llamadas.
 - Cobertura más extensa. La señal de espectro amplio de CDMA provee mayor cobertura que otras tecnologías inalámbricas, tanto dentro de locales como al aire libre. CDMA también interacciona con otras formas de sistemas de telecomunicación, permitiendo amplias y fluidas coberturas y conexiones.
 - Seguridad y privacidad. Además de filtrar el cruce de llamadas y ruidos de fondo, las transmisiones de espectro amplio y codificadas digitalmente de CDMA son intrínsecamente resistentes a la intrusión. La codificación de voz de CDMA también evita cloningsz otros tipos de fraude.
 - Mejoras en los servicios. El canal de control digital de CDMA permite a los usuarios el acceso a una amplia gama de servicios que incluyen identificación del que llama, mensajes cortos y transmisión de datos. CDMA también permite la transmisión simultánea de voz y datos.
-

Capítulo 5

ESTÁNDARES DE TELEFONÍA CELULAR

5.1. SISTEMA AVANZADO DE TELEFONÍA MÓ- VIL (Advanced Mobile Phone System, AMPS)

En el transcurso de la primera generación el estándar más significativo fue AMPS, desarrollado por Bell Labs en los años 70, y usado en un primer momento comercialmente en los EE.UU. en 1983. Debido a que AMPS es un sistema analógico, el modo de operación esta basado en FDMA, en el cual cada canal es utilizado por un sólo transceptor de FM móvil (MS). Hay 2 portadores de servicio asignados, cada uno con 416 canales, 21 de los cuales son de control. Originalmente empleaba antenas omnidireccionales pero para algunas aplicaciones especiales se han utilizado antenas sectoriales. Existen sistemas basados en AMPS los cuales se encuentran operando en los grandes mercados de telefonía celular mundial [5].

5.1.1. Conceptos básicos AMPS.

Los canales de control son utilizados para asignación de canales, rastreo, mensajes, etc., y los canales de voz son utilizados para las conversaciones. Una banda de seguridad (También conocida como Banda de Guarda) de 45 Mhz esta colocada entre el Forward Link y el Reverse Link, para evitar la interferencia entre ellos. Un equipo de radio adicional, conocido como Locate Receiver (LR) es utilizado en la estación base para localizar las MS que se encuentran al interior de la célula. Este radio es usado como scanning receiver (explorador receptor) donde el transmisor es deshabilitado momentáneamente durante la prueba. Esto es usado para medir la potencia con que las señales del móvil son recibidas sobre un comando receptor mandado desde el MTSO. Las medidas de la potencia de la señal son utilizadas para determinar la célula candidata para una posible transferencia de llamada (handoff). Es importante recordar que el sistema AMPS fue

diseñado para proporcionar un servicio de voz exclusivamente, la transmisión de datos en el sistema AMPS se basa en la conmutación de circuitos.

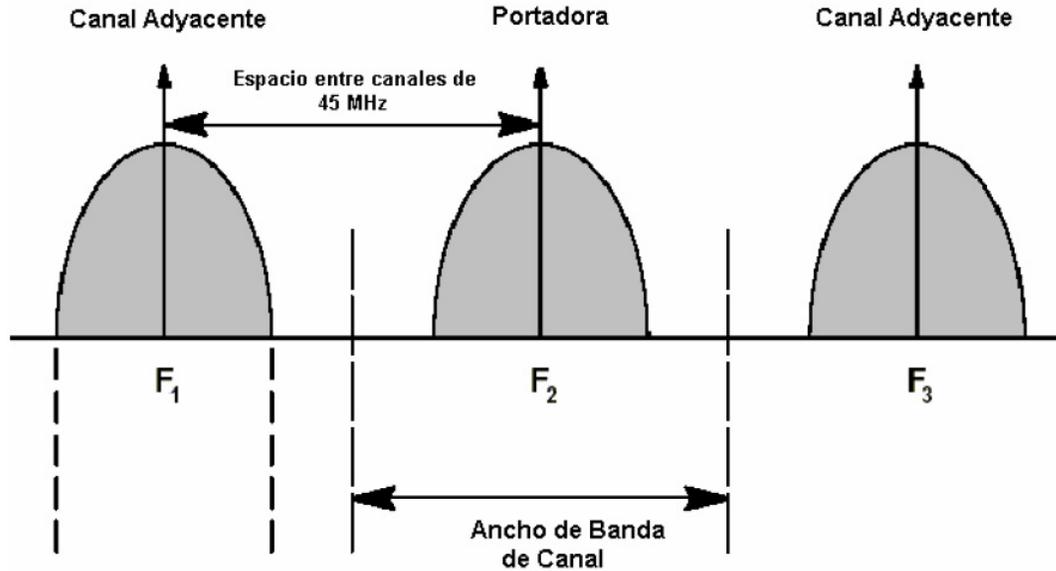


Figura 5.1: Para evitar interferencias entre canales hay una separación de 45 MHz.

5.1.2. Los canales AMPS.

Inicialmente el sistema AMPS contaba con dos bloques de 20MHz denominados A y B, para lograr una comunicación Full Duplex, lo cual significa que es una transmisión simultánea que toma lugar en ambas direcciones, en la banda de 800 MHz que comprendía 824 MHz a 844 MHz para el Reverse Link y 869MHz a 889MHz para el Forward Link, posteriormente se adicionaron 5MHz a cada bloque, tal como se muestra en la Tabla 5.1.

Banda	Enlace Descendente	Enlace Ascendente
A(inicial)	824 – 834MHz	869 – 879MHz
A (extendido)	844 – 846.5MHz	889 – 891.5MHz
B(inicial)	834 – 844MHz	879 – 889MHz
B(extendido)	846.5 – 849MHz	891.5 – 894MHz

Tabla 5.1: Asignación de frecuencias AMPS.

Cada MS es asignada a un canal de frecuencia diferente, limitando la capacidad de la banda de frecuencias asignadas. El sistema AMPS cuenta con una separación de

45MHz entre las frecuencias de transmisión y recepción de la MS y la estación base, para evitar interferencias. Cada canal comprende 30KHz, con lo que se obtienen 832 canales en ambas direcciones, incluyendo los canales de control.

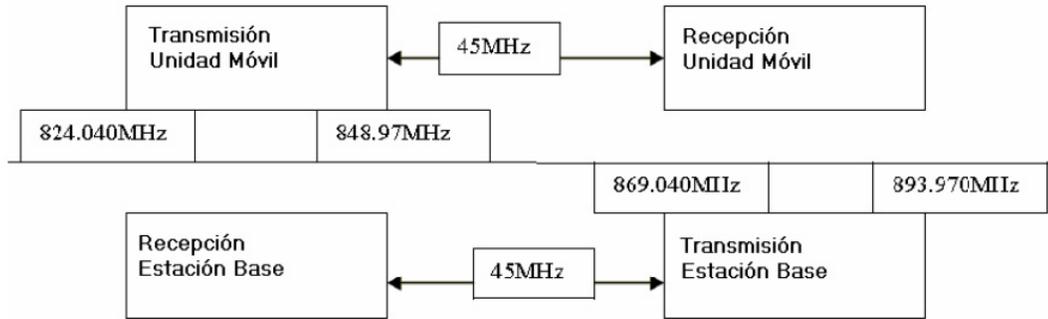


Figura 5.2: Separación entre frecuencias de transmisión y recepción.

Cada bloque del sistema AMPS tiene asignados 12.5 MHz con los que se generan 416 canales de FDMA de banda angosta de 30 KHz cada uno. De los 416 canales, 21 canales son utilizados como canales de control, los 395 canales restantes son utilizados como canales de voz.

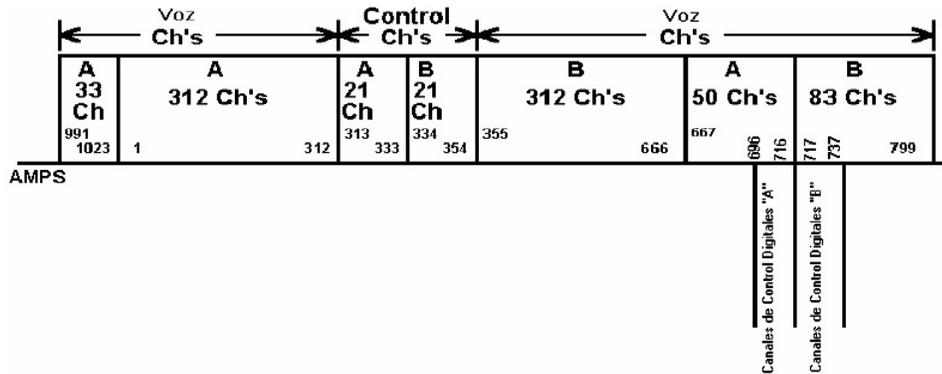


Figura 5.3: Uso y numeración de canales.

Los canales del sistema AMPS son inseguros, ya que los canales pueden ser afectados por interferencias, que se traducen en sonidos de estática en la MS. Las señales analógicas no pueden ser corregidas cuando son afectadas por los desvanecimientos de múltiple trayectoria (Multipath Fading). Los terminales AMPS pueden operar en alguno de los siguientes niveles de potencia

Una MS con tecnología AMPS puede tener cuatro tipos de modulación diferentes, que son:

Potencia	Clase I	Clase II	Clase III
0	3.0 W	—	—
1	1.2 W	1.2 W	—
2	480 mW	480 mW	480 mW
3	190 mW	190 mW	190 mW
4	76 mW	76 mW	76 mW
5	30 mW	30 mW	30 mW
6	12 mW	12 mW	12 mW
7	4.8 mW	4.8 mW	4.8 mW

Tabla 5.2: Niveles de potencia de los terminales AMPS.

- Modulación de datos
- Modulación de voz
- Supervisory Audio Tones(SAT)
- Signaling Tone(ST)

Tipo	Frecuencia	Desviación
Datos	(FSK) 10 Kbps	8 KHz
SAT	5.97 KHz, 6.0 KHz, 6.03 KHz.	2 KHz
Voz	300Hz a 3KHz	12 KHz
ST	10 KHz	8 KHz

Tabla 5.3: Modulación de señales en AMPS.

La modulación de datos se lleva a cabo mediante la técnica de modulación digital FSK, por otro lado la voz se maneja mediante la Modulación en Frecuencia (FM) [4].

5.1.3. TONO SUPERVISOR DE AUDIO (Supervisory Audio Tone, SAT)

Su propósito es indicar la continuidad de la conversación. La pérdida de SAT indica la terminación de la llamada y el hand-off, Durante el handoff, el canal de voz de FM momentáneamente se convierte en un canal digital, transmitiendo datos a una velocidad de 10Kbps entre la estación base y la MS por la asignación de canal y señalamiento. Este proceso dura aproximadamente 200 ms y la transmisión de voz es eliminada, lo cual puede ser oído como un ruido de "click" durante una conversación. En cada cluster de células se asigna una de las tres frecuencias SAT disponibles (5970,6000 y 6030 Hz).

Cada SAT está asignado a un grupo de células de manera tal que el mismo SAT no es usado en un canal reutilizado. Durante el establecimiento de la llamada el MS es informado cual de las tres frecuencias de SAT esta utilizando el cluster en el que se encuentra. Si el SAT se pierde por cinco segundos, la llamada se pierde.

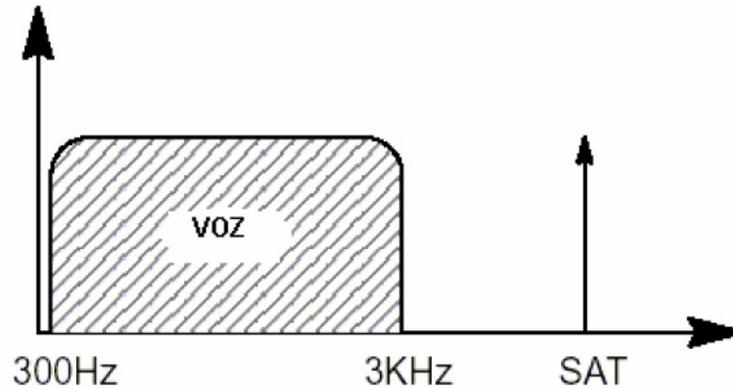


Figura 5.4: El SAT es enviado a través del canal de voz para indicar la continuidad de la conversación.

Durante los mensajes de control en el canal de voz, la voz es silenciada. En caso de interferencia co-canal, el MS recibe un SAT equivocado, entonces se silencia la voz para prevenir que el usuario escuche o sea escuchado en alguna conversación ajena. Las frecuencias del SAT distinguen áreas de co-canales. El usuario no puede escuchar los tonos SAT porque estos son filtrados mediante un Band-pass que sólo permite escuchar las frecuencias de la voz[6].

5.1.4. Tono de señalización (Signaling Tone, ST)

El ST se utiliza para propósitos de control sobre el canal de voz (adicional a la señalización de datos y el SAT). Un ST es transmitido durante 1.8 segundos por la MS sobre el canal de voz a la estación base para notificar la terminación de la llamada por el usuario móvil, en el caso de un handoff el ST se transmite cada 50 milisegundos sobre el canal original de voz. La MS transmite el ST después de accionar el timbre de llamada hasta que esta es contestada por el usuario (65 segundos de duración máximo) [5].

5.1.5. Funcionamiento celular AMPS

Cuando una MS con tecnología AMPS es encendida, esta busca entre los 21 canales de control predefinidos uno disponible, estos canales de control no son diferentes de los canales de tráfico, excepto por que transportan señales digitales. Cada célula utiliza un

canal de control hacia adelante para transmitir continuamente la información de la MS a la estación base, necesaria para su registro, esta información incluye la identificación del sistema o SID del MTSO, lo que permite saber si la MS, se encuentra en su área de cobertura local o de roaming, es decir fuera del conjunto de células donde se encuentra su registro local.

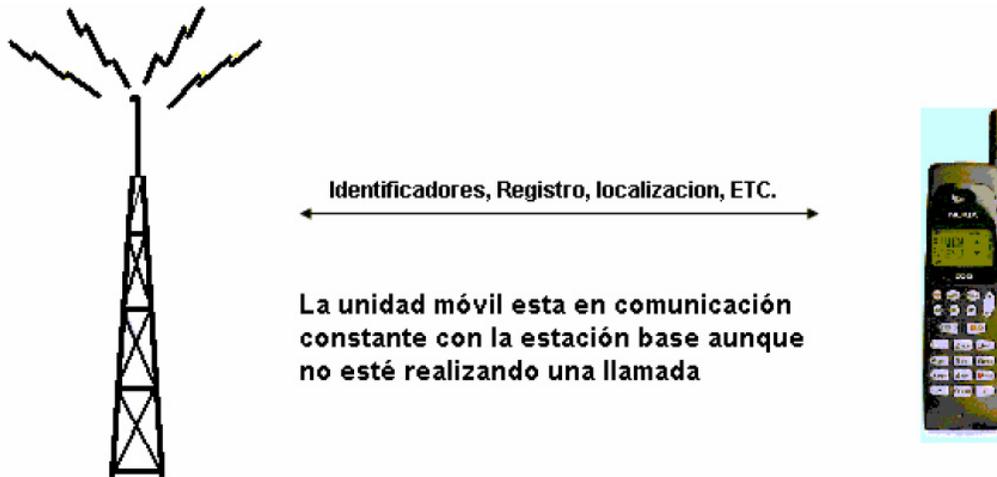


Figura 5.5: La MS esta en comunicación constante con la BS por medio del canal de control.

El canal de control mediante el cual la MS ha establecido comunicación con la estación base es el que proporciona los mejores niveles de recepción (forward link), la Estación base confirma el registro a la MS mediante el enlace ascendente (reverse link). A partir de este momento la MS permanecerá en estado de reposo manteniendo comunicación a través de ese canal de control. Cuando la calidad del canal de control se degrada (esto lo determina el subsistema de operación) puede estar ocurriendo que la MS se encuentra cruzando los límites del área de cobertura, en este caso la MS vuelve buscar un canal de control diferente en una nueva célula [8].

En la comunicación con la red la MS proporciona dos identificadores para su registro, conocidos como control y validación, el primero de estos identificadores es el MIN y el segundo identificador es el ESN. El MIN y el ESN se transmiten sin codificar por la MS y la red, lo que permite una mayor oportunidad de fraude al obtener de forma ilícita estos identificadores y darle un uso indebido en perjuicio del usuario de este servicio celular. Recientemente la industria celular ha implementado el PIN (Personal Identification Number), como medida de prevención contra el fraude en el servicio telefónico celular.

En la Figura 5.6. se muestra el proceso de registro de la MS con la BS, este hecho se da al encender la MS. En la línea 1 tenemos el estado de la MS que ha encontrado

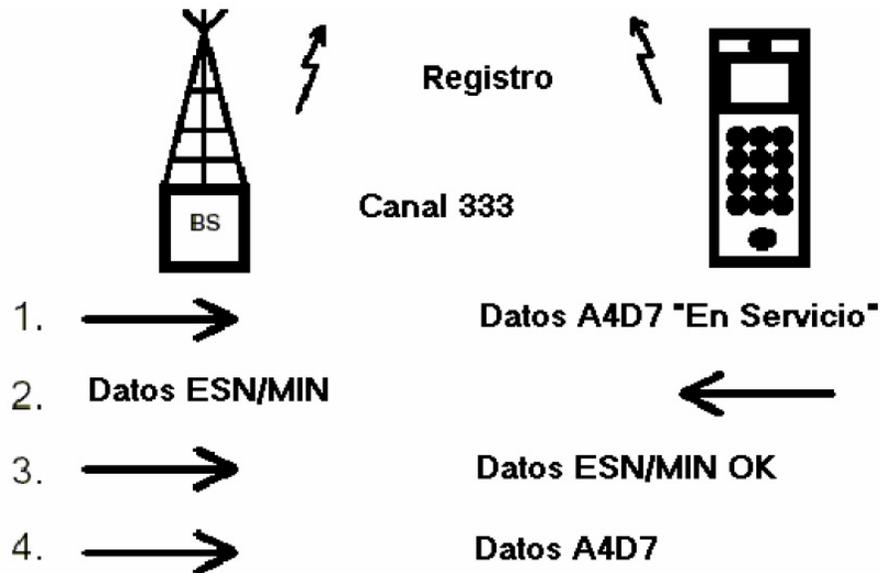


Figura 5.6: Proceso de Registro de la MS AMPS.

un canal de control disponible y esta en servicio dentro del área de la BS A4D7. En la línea 2 la MS envía el par ESN/MIN a la BS utilizando 10 Kbps vía el canal de control. En la línea 3 la BS envía un mensaje de que el registro ha sido completado. En la línea 4 la BS continuamente esta enviando su identificador, mientras la MS se encuentra en reposo.

Línea 1, la MS se encuentra en servicio. Línea 2, la MS envía sus identificadores y el numero al que desea hacer una llamada. Línea 3, la BS confirma los datos de la MS y da instrucciones al MS de sintonizarse en el canal de tráfico 121 y esperar un SAT de 5970 Hz. Línea 4, la BS y MS tienen una comunicación full duplex por el canal de trafico, hay que recordar que el SAT es utilizado para confirmar que el link full duplex entre la MS y BS opera correctamente. Línea 5, Cuando el usuario de la MS termina la llamada y presiona la tecla END, la MS envía la trama de ST para confirmar que la llamada ha terminado [5].

5.1.6. Itinerancia(Roaming)

Es la capacidad de seguimiento de la posición de las MS. Independientemente del punto en el que se haya originado ó recibido la llamada, facilita al usuario su movilidad por la red o redes, y a la operadora su facturación. Los sistemas deben ser capaces de cubrir porciones de territorio muy extensas.

El estándar IS-41 ha proporcionado la solución técnica al roaming entre redes llevado a cabo por los diferentes fabricantes de equipo celular. Antes de IS-41, toda la señali-

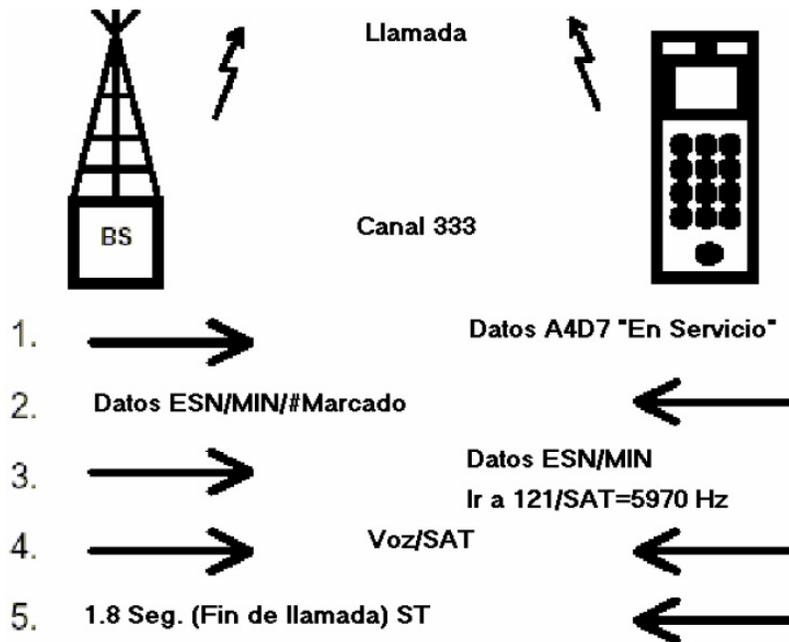


Figura 5.7: Proceso de solicitud de llamada AMPS.

zación entre los sistemas era propietario y la capacidad de roaming era administrado manualmente [2].

5.2. AMPS de Banda Estrecha (Narrow Band Advanced Mobile Phone System, NAMPS)

Este sistema esta basado en AMPS, se caracteriza en que el canal normal AMPS de 30KHz es dividido en tres canales de 10KHz, de esta manera se triplican los canales disponibles, el sistema utiliza FDMA.

La tecnología NAMPS maneja cuatro tipos de modulación, en este caso tres de ellas utilizan FSK y solo la voz es tratada mediante la modulación en frecuencia:

- Modulación de datos
- Digital Supervisory Audio Tones (DSAT)
- DST (Inverse logic of DSAT)
- Modulación de voz

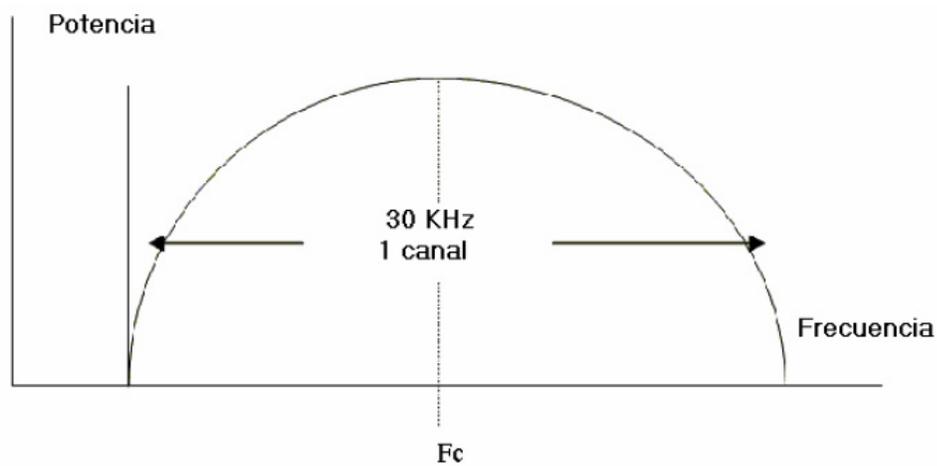


Figura 5.8: Canal de 30KHZ del sistema AMPS.

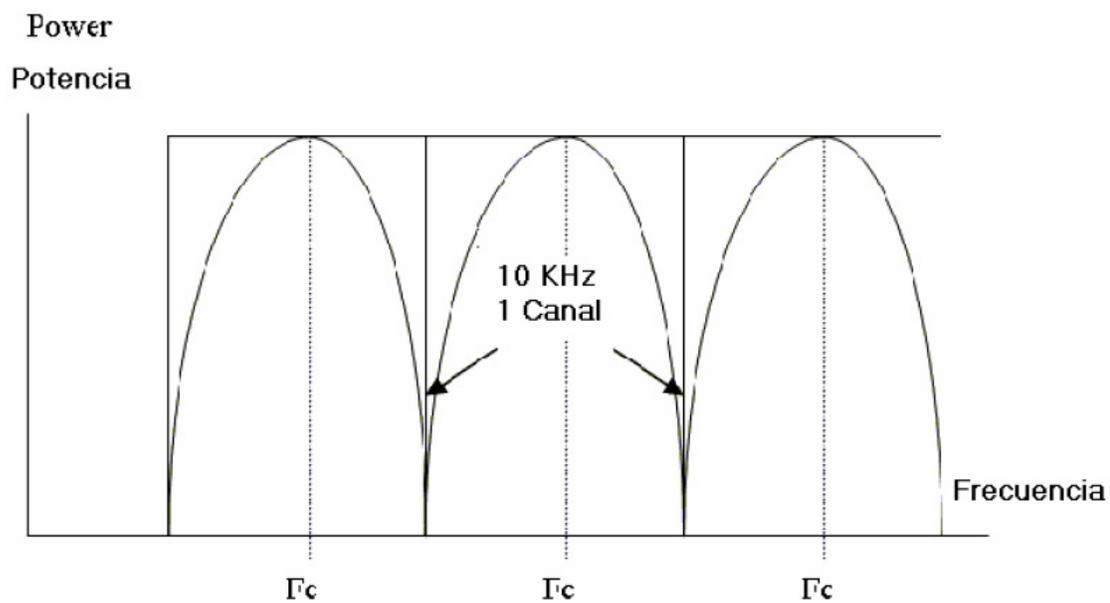


Figura 5.9: Tres canales del sistema NAMPS.

5.3. Total Access Communications Systems (TACS)

El Sistema de Comunicaciones de Acceso Total esta diseñado para telefonía móvil celular dúplex en la banda de 900 MHz. El precursor del sistema TACS es el sistema AMPS. El sistema TACS fue desarrollado por el Reino Unido, adaptando el sistema AMPS a los requisitos europeos (especialmente en los aspectos de banda de frecuencia y canalización), y puesto en servicio en 1985.

En el Reino Unido se concedieron dos licencias para operar cada una con su red propia. Para ello, la banda original (890-915 MHz y 935-960 MHz) de 1000 canales se dividió en dos segmentos de 300 canales cada uno, dejando la sub-banda 905-915 MHz y 950-960 MHz para la introducción posterior del sistema GSM, quedando de (890-905MHz y 935-950MHz). Posteriormente, se amplió la banda añadiendo los rangos 872-890 MHz y 917-935 MHz para otorgar la capacidad requerida. Esta nueva banda toma la denominación de E-TACS (Extended TACS).

Algo importante que se debe tener en cuenta es que el estándar TACS define tan sólo el protocolo de acceso radio entre una MS y su correspondiente estación base. La gestión de la movilidad que consiste en el handoff y roaming son soportadas por el sistema, así como la estructura y comunicaciones entre los distintos elementos de la red quedan a criterio del fabricante [4].

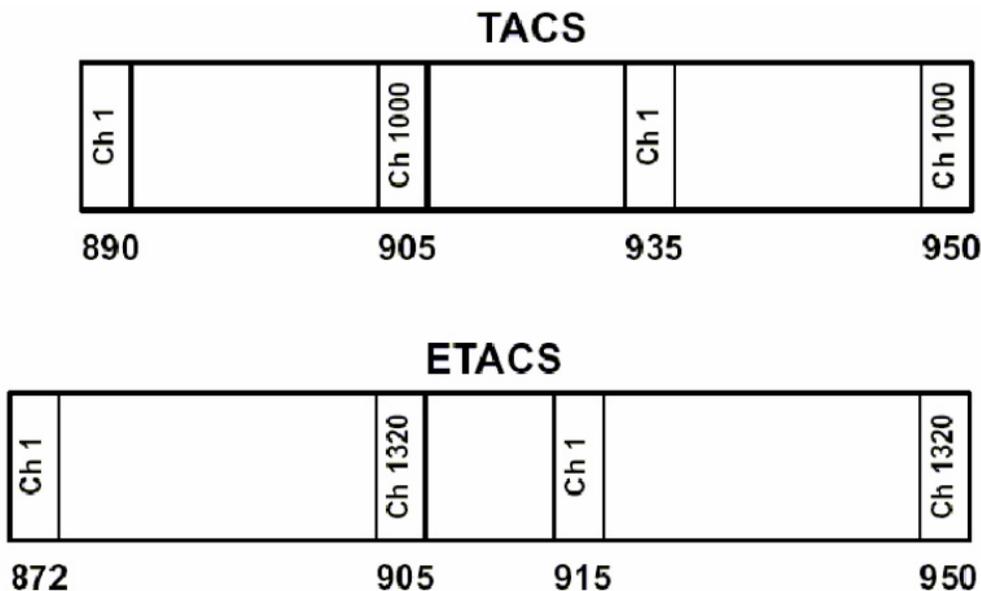


Figura 5.10: Asignación del espectro para TACS y ETACS.

La arquitectura de una red TACS se basa en una serie de Estaciones Base, cada una

de las cuales se compone de equipos de radio (transmisor y receptor) y un controlador de estación base encargado del interfaz entre el equipo de RF y el MTSO. Esta última debe proporcionar la capacidad de conmutar llamadas entre las distintas Estaciones Base, hacer de tránsito entre la red celular y otras redes a las que esta última se conecte, registrar todo el tráfico que gestiona el sistema y coordinar el proceso de handoff. Cada MTSO tiene la capacidad de interconectarse con la PSTN, para lo que utiliza enlaces dedicados a 2 Mbps. El sistema de señalización utilizado dependerá de la capacidad de las centrales a las que se conecta la MTSO. Esta señalización debe ser suficiente para soportar el control de la llamada. Además, cada MTSO se conecta directamente a otras MTSO's. La conexión entre centrales puede obedecer a un protocolo de señalización propietario. Si se requiere introducir centrales de otros fabricantes, o si se necesita que los clientes propios puedan hacer uso de otra red, es necesario implementar el protocolo estandarizado de señalización IS-41 entre las centrales [7].

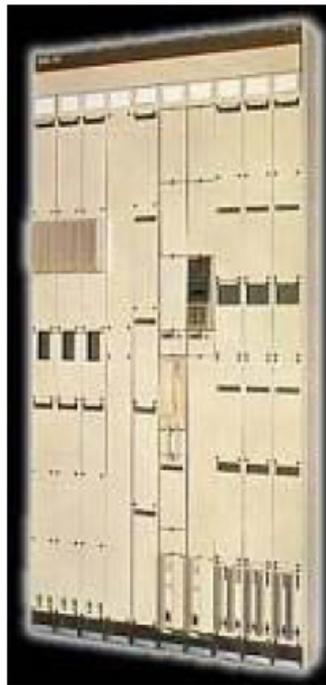


Figura 5.11: Equipo de almacenamiento de información del sistema TACS.

Las funciones de HLR y VLR están integradas en cada una de las MTSO, aunque en los últimos años se ha desarrollado la posibilidad de implementar un HLR independiente. Cada controlador de Estación base se encarga de una sola célula. Una MTSO se conecta, a través de líneas de voz y de datos a varias células. El subsistema de radio es el responsable de establecer el enlace entre la red y las estaciones móviles. Los elementos que componen el subsistema de radio son las Estaciones Bases. Otro elemento importante de la arquitectura TACS es la Estación Móvil (MS) en la cual es neces-

rio programar los datos específicos del cliente, entre los que se encuentra el número de abonado, número de serie del equipo así como códigos de programación del sistema [19].

El sistema de comunicaciones TACS en su funcionamiento básico contempla los siguientes procesos.

5.3.1. Handoff

Durante la conversación, la estación base comprueba el nivel de señal enviada por la MS y se envían mensajes para ajustar la potencia de transmisión de la MS. Si el nivel recibido llega a ser muy bajo, la MTSO muestrea las Estaciones Bases próximas para determinar cuál puede dar un mejor servicio. Se avisa a la MS sobre el nuevo canal que va a ser utilizado y la MTSO realiza la conmutación a la nueva estación base. La conmutación se realiza automáticamente y sin que la conversación se interrumpa. Este proceso se puede repetir tantas veces como sea necesario durante la llamada [35].

5.3.2. Servicios básicos que soporta el sistema

Los servicios estarán condicionados según las especificaciones del fabricante del equipo. Dado que el sistema TACS sólo especifica los accesos radio, todos los servicios que pueda soportar el sistema se basan en la capacidad de diseño e implementación del propio fabricante así como la utilización de los métodos de transmisión y señalización disponibles en el estándar entre la MS y la red. Los servicios que generalmente son implementados en los sistemas TACS son:

- Multiconferencia
- Llamada en espera
- Desvío de llamada, condicional o incondicional (previa programación del MS)

5.3.3. Operación y Mantenimiento

El sistema de operación y mantenimiento es particular del fabricante que haya suministrado el equipo. El fabricante podrá poner a disposición del operador herramientas o la interfaz que permitiría a este desarrollar su propio sistema de operación y mantenimiento, aunque no suele ser recomendable [16].

5.4. Nordic Mobile Telecommunications (NMT)

El sistema NMT 450 surge como un servicio normalizado en los países escandinavos en el año 1981; éste es un sistema ideal para cubrir la mayor extensión de terreno con la menor inversión. El sistema NMT tiene dos versiones; una, la conocida como NMT 450,

que opera en la banda de 450 MHz, y la otra, NMT 900, que lo hace en la banda de 900 MHz y proporciona un mayor número de canales y es utilizado en aquellos puntos en que el NMT 450 se halla saturado; las características técnicas de una y otra versión son similares salvo las correspondientes a la banda empleada. El NMT 450 es un sistema analógico que utiliza FDMA de banda ancha, esto significa que la anchura de banda disponible se divide en porciones, cada una de las cuales constituye un semi-canal, y hay que considerar que un canal completo consta de un semicanal Estación base/MS y de otro MS/Estación base. Por tanto, y para evitar interferencias, es necesario que cada Estación base utilice un juego de frecuencias diferente al de su colateral [14].

5.5. Global System for Mobile Communications (GSM)

La tecnología GSM también mejora respecto a los sistemas analógicos, la calidad, la confidencialidad de la información y de la identidad de los usuarios, seguridad de cara a usos fraudulentos del sistema, y la introducción de nuevos servicios, como los servicios de datos y el de mensajes cortos (mensajes alfanuméricos visibles por el usuario en su propio terminal). Más específicamente el servicio ofrece, respecto a los sistemas analógicos de telefonía móvil, menos riesgos de interferencia radioeléctrica en las comunicaciones y una mayor seguridad, tanto en los robos de tarjetas, mediante un código de seguridad requerido por el terminal cada vez que este sea activado, como de terminales mediante un sistema de control de equipos robados, y confidencialidad en las conversaciones, ya que incorpora potentes algoritmos de codificación, a la vez que permite nuevos servicios como la transmisión de datos (de hasta 9600 bps) y de fax. Este aspecto hace de un teléfono móvil y unos cuantos accesorios, una oficina o lugar de trabajo portátil, con las ventajas que esto representa para el mundo, sobre todo para el laboral. Otro servicio es el de la radiomensajería bidireccional con capacidad de enviar y recibir mensajes cortos (de hasta 160 caracteres) asegurando y confirmando la recepción de los mensajes, y además facilidades adicionales como el buzón de voz, desviaciones y restricciones de llamadas, multi-conferencia, etc. [18].

La elaboración del estándar GSM llevó casi una década. Algunos de los propósitos del sistema estaban claros desde el principio: uno de ellos era que el sistema debía permitir la libre circulación de los abonados en Europa (Roaming), esto significa que un abonado de una determinada red nacional pueda acceder a todos los servicios cuando viaja entre varios países. La propia estación móvil GSM debe permitir al usuario el llamar o ser llamado donde quiera que se encuentre dentro del área internacional de cobertura, también que la capacidad ofrecida por el sistema debería ser mejor que las existentes redes analógicas.

En 1982, los requerimientos básicos para GSM, estaban establecidos. Estos fueron revisados ligeramente en 1985, quedando establecidos principalmente como siguen:

Servicios:

- El sistema será diseñado de forma que las estaciones móviles se puedan usar en todos los países participantes.
- El sistema debe permitir una máxima flexibilidad para otros tipos de servicios como los servicios relacionados con la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).
- Los servicios ofrecidos en las redes PSTN e ISDN, así como otras redes públicas deben ser posibles, en la medida de las posibilidades, en el sistema móvil.
- Debe ser posible la utilización de las estaciones móviles pertenecientes al sistema a bordo de barcos, como extensión del servicio móvil terrestre. Se debe prohibir el uso aeronáutico de las estaciones móviles GSM.
- En lo referente a las estaciones, a parte de las montadas en vehículos, el sistema debe ser capaz de suministrar estaciones de mano así como otras categorías de estaciones móviles.

Calidad de los servicios y seguridad:

- Desde el punto de vista del abonado, la calidad de voz telefónica en el sistema GSM debe ser al menos tan buena como la que tenía la primera generación de sistemas analógicos a 900 MHz.
- El sistema debe ser capaz de ofrecer encriptación de la información del usuario pero debe permitir la posibilidad de que esto no influya en el coste de aquellos abonados que no requieran este servicio.

Utilización de la radio frecuencia:

- El sistema permitirá un gran nivel de eficiencia espectral así como la posibilidad de servicios para el abonado a un coste razonable, teniendo en cuenta tanto las áreas urbanas como rurales y el desarrollo de nuevos servicios.
- El sistema permitirá la operación en el rango de frecuencias comprendido entre los 890-915 MHz y entre los 935-960 MHz.
- El nuevo sistema de 900 MHz para comunicaciones móviles del CEPT, debe co-existir con los anteriores sistemas en la misma banda de frecuencias.

Aspectos de Red:

- El plan de identificación debe estar basado en la recomendación correspondiente del CCITT (Comité Consultivo Internacional de Telecomunicaciones).
- La numeración del plan estará basada en la recomendación correspondiente del CCITT.
- El diseño del sistema debe permitir diferentes estructuras de carga y velocidades para su utilización en diferentes redes.
- Para la interconexión de los centros de conmutación y los registros de localización, se usará un sistema de señalización internacionalmente estandarizado.
- No se debe requerir ninguna modificación significativa de las redes públicas fijas.
- El sistema GSM debe habilitar la implementación de la cobertura común de las redes públicas móviles terrestres (Public Land Mobile Network ó PLMN).
- La protección de la información y el control de la información de la red debe ser proporcionada por el sistema.

Aspectos de costo:

- Los parámetros del sistema deben ser escogidos teniendo en cuenta un coste límite del sistema completo, principalmente el de las unidades móviles.

5.5.1. Arquitectura GSM:

La arquitectura GSM distingue claramente dos partes: el BSS (Base Station Subsystem o Subsistema de Estación de Base) y el NSS (Network and Switching Subsystem o Subsistema de Red y Conmutación). El BSS está encargado de proporcionar y gestionar el interfaz radio entre las estaciones móviles y el resto del GSM. El NSS debe gestionar las comunicaciones y conectar las estaciones móviles a las redes adecuadas o a otras estaciones móviles. El NSS no está en contacto directo con las estaciones móviles y el BSS tampoco está en contacto directo con otras redes externas.

La interfaz entre el BSS y la estación móvil es el denominado interfaz radio (U_m) mientras que el interfaz entre el BSS y el NSS se ha denominado interfaz A en las especificaciones. En esta arquitectura una MS se comunica con el BSS a través de la interfaz de radio. El BSS está conectado al NSS comunicándose por medio de un centro de conmutación móvil (Mobile switching Center; MSC) usando la interfase A.

El número total de canales disponibles dentro de los 25 MHz es de 125. Dado que cada canal de radio está formado por ocho intervalos de tiempo, hacen un total de 1000 canales de tráfico en GSM.

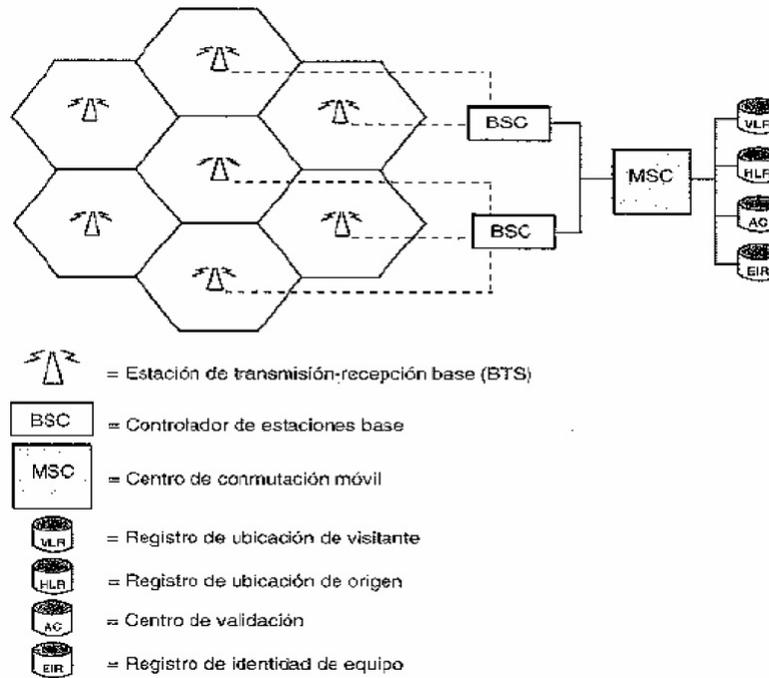


Figura 5.12: Arquitectura GSM.

Aunque la arquitectura de los sistemas celulares anteriores a GSM es similar, es importante retomar el concepto básico y complementarlo con las modificaciones que caracterizan esta tecnología [?].

La estación móvil

La estación móvil suele representar el único elemento del sistema que el usuario llega a ver. La estación móvil está compuesta por dos entidades diferentes: El módulo de identificación del suscriptor (Subscriber Identity Module; SIM), que es una tarjeta dotada de memoria y microprocesador removible la cual contiene toda la información que es específica para cada usuario. Sus funcionalidades, además de esta capacidad de almacenar información, se refieren también al tema de confidencialidad, entre la información del usuario se incluye el número único de identificación internacional del suscriptor móvil o IMSI (International Mobile Subscriber Identity), este número se utiliza para identificar al usuario dentro de la red GSM y consta de no más de quince dígitos decimales. La IMSI tiene la siguiente estructura:

$$\text{MCC} / \text{MNC} / \text{MSIN}$$

donde

MCC = Mobile Country Code
MNC = Mobile Network Code
MSIN = Mobile Station Identification Number (max 13 cifras)

Los primeros tres dígitos forman el código de país (MCC) y sirve para identificar la red local del usuario. Los cargos al usuario siempre serán por medio de su red local aunque incurra en gastos en redes externas. Los siguientes dos dígitos forman el Código de Red Móvil (MNC) que identifica la red a la que el usuario esta inscrito en su país.



Figura 5.13: La tarjeta SIM contiene información específica del usuario en la red GSM.

Con la SIM se pueden resolver algunos problemas de Roaming, aunque GSM900 y DCS1800 son la misma red a diferentes frecuencias, un usuario de estas redes no puede continuar con el servicio en la otra a menos que tenga una unidad con modo dual. Por ultimo se tiene el MSIN, que es la identificación del equipo y esta formado por un máximo de trece dígitos. Además del PIN CODE el SIM puede contener una lista de números telefónicos, mensajes cortos, etc. La otra entidad se trata de el equipo móvil (Mobile Equipment; ME), el equipo móvil contiene información que no es específica al usuario, esta información esta relacionada con la interfaz de radio. Cada que se establece una conexión entre el ME y la red, se envía la identificación del SIM y las características del equipo empleado.

El equipo móvil está inequívocamente identificado dentro de cualquier red GSM por el International Mobile Equipment Identity (IMEI). El IMEI es un número de 15 cifras que contiene codigos de aprobación para operar en la red GSM, así como un código que es generado por el fabricante del equipo y un numero serial unico para ese equipo.

Los terminales GSM están subdivididos en cinco clases basándose en la misma potencia con la que pueden transmitir sobre el canal radio, que varía desde un máximo de 20 Watt a un mínimo de 0.8 Watt. La Tabla 5.4. resume las características de estas cinco clases.

Clase	Potencia Máxima	Tipo
I	20 Watts	Vehicular
II	8 Watts	Transportable
III	5 Watts	Portátil
IV	2 Watts	Portátil
0.8	Watts	Portátil

Tabla 5.4: Clases de potencia para la MS GSM.

La potencia del MS determina la capacidad de ésta última para alejarse de la estación transmisora/receptora (BTS) de la red y poder seguir contando con el servicio. Una peculiaridad de las MS es la capacidad de variar la potencia de emisión de la señal sobre el canal radio de forma dinámica en 18 niveles, con el fin de poder mantener en cada momento la potencia de transmisión óptima, limitando así las interferencias co-canal inducidas sobre las celdas adyacentes y por tanto reduciendo los consumos del terminal. Estos dos últimos aspectos están mejorados por el Transmisor Discontinuo (Discontinuos Transmit, DTX) que inhibe la transmisión cuando el usuario no habla, gracias a la función del Detector de Actividad Vocal (Voice Activity Detection, VAD) que verifica la presencia o no de actividad vocal. El aumento o la disminución de la potencia de la señal transmitida por la MS es monitoreada por la BSS para determinar la calidad de la comunicación [12].

Una estación móvil además de permitir el acceso a la red a través de la interfaz de radio con funciones de procesado de señales y de radio frecuencia, debe ofrecer también una interfaz al usuario humano (un micrófono, altavoz, display y tarjeta, para la gestión de las llamadas de voz), y una interfaz para otro tipo de equipos (Computadora Personal o fax).

Subsistema de Estación Base (BSS)

Es el equipo físico que cubre el radio de cobertura del área geográfica conocida como célula, para manejar el tráfico de señalización y de información hacia los móviles situados en la interior de ésta.

El BSS es responsable de las funciones de radio dentro del sistema celular como son: gestión de las comunicaciones de radio, manejo del traspaso de llamadas entre células, control del nivel de potencia de la señal tanto de las estaciones base como de las estaciones móviles, entre otras. Una BSS esta integrada por una o más Estaciones Base Transceptoras (BTS) y un Controlador de Estación Base (BSC), según tipo de cobertura que se necesite.

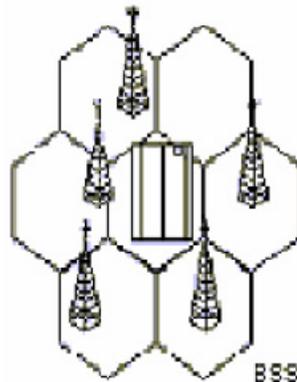


Figura 5.14: Subsistema de Estación Base.

CONTROLADOR DE ESTACIÓN BASE (BSC)

La función primordial del Controlador de Estación Base (BSC) es administrar la movilidad de los suscriptores y los recursos de radio para una o más BTS, mediante el manejo de los canales de radio, supervisión de las BTS, el traspaso entre los canales del BSC, la gestión de la transmisión hacia las BTS, la localización de las estaciones móviles y la vinculación del suscriptor móvil, por medio del Centro de Conmutación de Servicio Móvil (MSC) a la red telefónica pública contratada.

El Controlador de Estación Base sirve de interfaz entre el Subsistema de Estación base y el de red, separando las funciones de cada uno. El BSC cuenta con las siguientes unidades funcionales:

1. *Equipo de Control de Estación Base (BCE: Base Control Equipment).*

El Equipo de Control de Estación Base (BCE), es el elemento central de control en el BSS, donde se administran los recursos de radio y las radiofrecuencias; reúne datos para la gestión de la red, los cuales, son recibidos por la BTS, además gestiona el proceso de Hand-off y controla el interruptor digital interno que es el corazón del BSS.

El BCE provee de una capacidad de conmutación dinámica ruteando canales individuales de tránsito entre el BST y el MSC por medio de la TRAU. También desempeña las funciones de operación, administración y mantenimiento asociadas con las BSTs.

2. *Unidad Adaptadora y Transcodificadora de Velocidades (TRAU: Transcoder Rate Adapter Unit).*

La TRAU realiza las funciones de codificación y decodificación de la palabra

o mensaje, además adapta la velocidad para la transmisión de los datos y la submultiplexación. El BSC puede conectarse a varios BTSs, estas comunicaciones se hacen empleando el protocolo ISDN por medio de la Interfaz A-Bis

ESTACIÓN BASE TRANSCEPTORA (BTS).

La Estación Base Transceptora, incluye la interfaz de radio y los equipos de transmisión necesarios para cubrir una o varias células. Sus funciones más importantes son: controlar la conexión vía radio de las terminales móviles, teniendo permanentemente localizados a los distintos suscriptores, por medio de un equipo de radio comunicación, sirviendo de enlace con la Estación Móvil (MS), que está dentro del área de cobertura de la célula. Por otro lado, realiza la codificación y decodificación de los canales, el cifrado y descifrado del camino de radio, las medidas de intensidad de la señal, la búsqueda de la MS y la recepción de las peticiones del canal desde la MS.

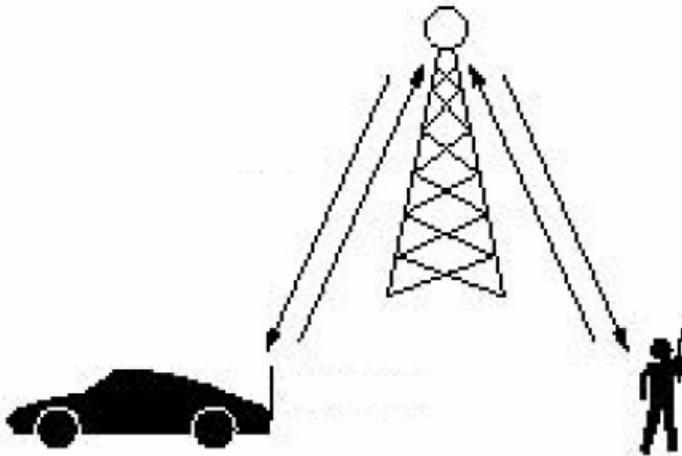


Figura 5.15: Estación Base Transceptora.

El Subsistema de Red y conmutación (NSS).

Realiza las funciones normales en telefonía, como son la gestión de llamadas, control de tráfico, análisis de numeración, tarificación y estadísticas de llamadas. Todo esto con ayuda de las siguientes unidades funcionales:

Subsistema de Estación Base (BSS)

Es la entidad que asegura el inter-funcionamiento del sistema celular con las redes de telecomunicaciones públicas de voz y datos. El cual establece, enruta, controla y termina

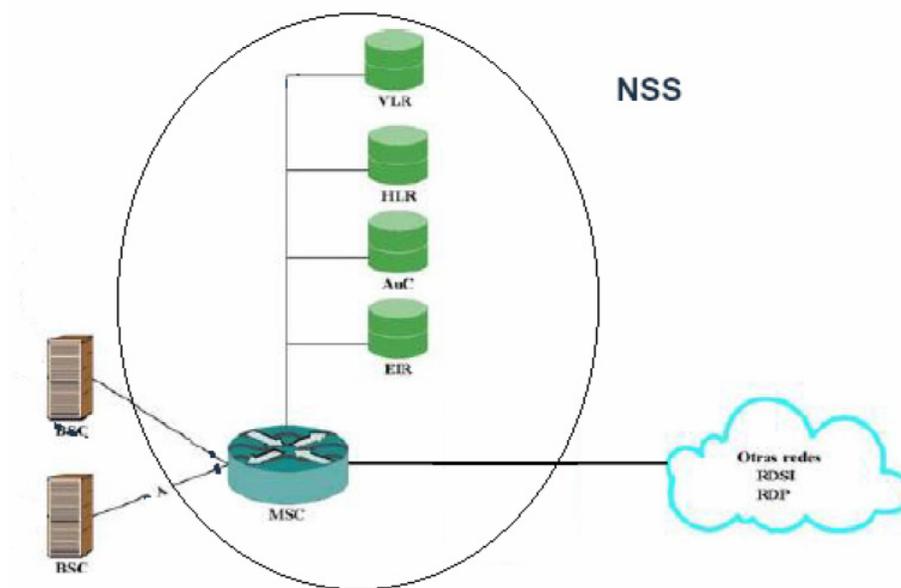


Figura 5.16: Subsistema de Red y Conmutación.

las llamadas; administra el del proceso de Hand-off entre las centrales; gestiona los servicios suplementarios y recolecta los datos de Tarificación. Estos servicios se proveen en conjunción con cuatro bases de datos inteligentes que juntas con el MSC forman el subsistema de red. El MSC realiza su tarea con ayuda del Punto de Control de Radio Móvil el cual maneja todas las funciones de radio móvil incluyendo la administración del móvil y los recursos de radio en el centro de conmutación, el registro de localización de suscriptores visitantes y la interfaz entre el MSC y el BSS.

- **VLR : Visiter Location Register:** El Registro de Localización de Móviles Visitantes (VLR) es una base de datos, donde se almacena la información de todos los suscriptores que se encuentran dentro del área de servicio del VLR. Cuando el suscriptor cambia de área de servicio, el nuevo VLR debe actualizar los datos de este suscriptor y pide a HLR todos los datos necesarios para el establecimiento de llamadas, ya sea hacia o desde el suscriptor móvil. En otras palabras, cuando la estación móvil entra por primera vez en la zona de localización administrada por un VLR se realiza un proceso automático de localización entre la Estación Móvil y la infraestructura del sistema celular. El VRL, anota la zona de localización correspondiente y atribuye un número de re-enrutamiento a este móvil, el cuál podrá ser utilizado por las redes de comunicación para re-enrutar la llamada de este suscriptor vía el MSC visitado. El VLR entra entonces en relación con el HLR de este suscriptor y así enviar la información necesaria para la gestión de comunicación transmitiendo el número de re-enrutamiento. El desplazamiento de

un suscriptor al interior de una misma zona de conmutación depende del VLR, se traduce por la actualización, sin necesidad de interactuar con el HLR. El MSC y el VLR pueden estar implementados en el mismo equipo.

- Home Location Register: El Registro de Localización de Posición Base (HLR) es una base de datos, donde se almacenan los parámetros necesarios en la administración de la comunicación de los suscriptores móviles y la información de localización en la forma de un número de re-enrutamiento. Un sistema celular puede tener uno o más HLR dependiendo de la capacidad del equipo y de la organización de este. Entre los datos almacenados podemos encontrar: o Información del suscriptor. o Información para el enrutamiento de llamadas hacia la central donde el móvil está localizado o Número Internacional de la Estación Móvil (IMSI) o Número de suscriptor. o Información sobre tele-servicios y servicios portadores. o Restricciones o Servicios Suplementarios o Tripletas

Centro de Autenticación (Authentication Center, AuC).

El Centro de Autenticación (AuC) es una base de datos protegida que almacena las copias de las claves secretas en la tarjeta SIM del suscriptor, usada para la autenticación y cifrado sobre el canal de radio. Es decir maneja la seguridad de los datos para identificar al suscriptor. El AuC genera tripletas para cada suscriptor, las cuales constan de: un número aleatorio (RAND), una respuesta (SRES) y una clave de cifrado (Kc). Las tripletas se utilizan para autenticar una llamada y obtener las claves de cifrado del camino de radio. Cuando un suscriptor móvil intenta acceder al sistema para hacer o recibir una llamada, o porque cambia de área de localización, se arranca de forma automática el proceso de autenticación. En este proceso, La estación Móvil envía el número de identificación del suscriptor dentro de la red móvil (IMSI) hacia el MSC/VLR que tiene almacenadas una serie de tripletas para cada suscriptor visitante. El MSC/ VLR envía el RAND hacia la MS que a su vez calcula la SRES y lo envía hacia el MSC/VLR que controla si coincide con Kc que ya tenía. Después de este control el MSC/VLR decide si o no continuar con la llamada. Independientemente de que este proceso, el MS también calcula la clave de cifrado Kc para cifrar o descifrar el camino de radio.

Registro de Identificación de Equipo (Equipment Identity Register,EIR).

El registro de Identificación de Equipo es una base de datos, que almacena los datos del equipo móvil válido sobre la red, donde cada equipo es identificado por su Identidad Internacional del equipo Móvil (IMEI). Un IMEI se marca inválido si se ha informado hurtado o no aprobado. [34].

Interfaces del sistema celular GSM.

Las interfaces son también una parte importante del Sistema Celular, ya que soportan la comunicación entre los diferentes elementos del equipo, facilitando su interconexión. La estandarización de las interfaces garantiza la inter-operabilidad de los diferentes equipos. El GSM usa la interconexión de sistemas abiertos (OSI), estandarizando las siguientes interfaces: La interfaz de radio U_m , la cual está situada entre la estación móvil y la estación base, y es la interfaz más importante en el sistema celular. La interfaz A - bis, esta enlaza una estación base a su controlador vía un circuito digital. La interfaz A, existe entre el controlador y el conmutador y es enlazado vía un circuito digital a 64 Kbit/s. La interfaz de aplicación móvil, MAP (Mobile Application Part) define las operaciones entre el MSC y la red telefónica, así como el MSC, el HLR, el VLR y el EIR. Un enlace X.25, este conecta el controlador a el centro de operaciones por medio de una Red de Datos. La interfaz entre el conmutador y la Red Pública, es la que está definida por el sistema de señalamiento CCITT No. 7. [18].

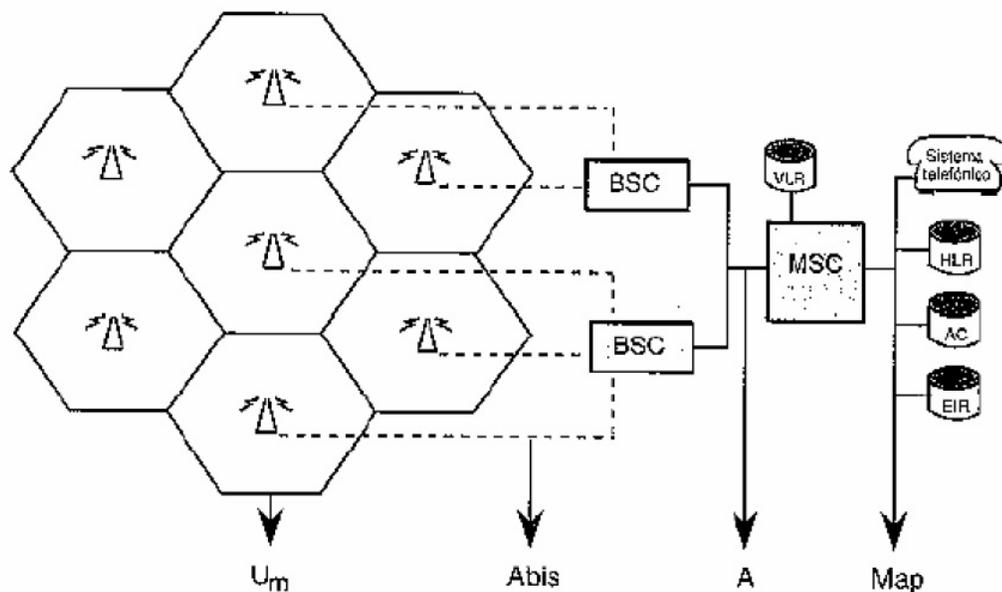


Figura 5.17: Subsistema de Estación Base.

La interfaz de radio.

Usa FDMA y TDMA. La frecuencia para el enlace descendente es 935-960 Mhz y para el enlace ascendente es de 890-915 Mhz, cada una de estas bandas se encuentran divididas en 124 canales del 200khz cada uno. La combinación de una ranura de tiempo y una frecuencia portadora forman lo que se conoce como canal físico. Un canal de

RF soporta ocho canales físicos en GSM. La información, ya sea tráfico de usuario o de control, se mapea en los canales físicos designando canales lógicos. Debido a la estructura del paquete se pueden definir varios canales lógicos:

- Canales de Tráfico (Traffic Channels, TCHs): Están diseñados para transportar información del usuario (voz o datos). Se han definido dos clases de canales de tráfico: El Full Rate Traffic Channel (TCH/F) que da transmisión de voz a 13 kbps o de datos a 6 kbps El Half Rate Traffic Channel (TCH/H) que da transmisión de voz a 7 kbps o de datos a 3.6 Kbps
 - Canales de Control (Control Channels, CHS): Se encargan de transportar información de control. Se han definido varios tipos de estos canales:
 - Frequency Correction Channel (FCCH). Es el canal de control más sencillo de GSM, los bits de información están compuestos únicamente de ceros lógicos. Este canal de control se utiliza al principio de la conexión para corregir su frecuencia interna y recobrar la fase de la portadora que transmite la radio base.
 - Synchronization Channel (SCH). El propósito de este canal es el de sincronizar las transmisiones dentro de la estructura de cada segmento de GSM. Este canal contiene también un número de seis bits que sirve para la identificación de la radio base dentro del sistema.
 - Broadcast Control Channel (BCCH). Este canal transmite a todos los móviles asociados a la zona cubierta por la radio base información de control. Esta información incluye detalles de la configuración de los canales de control en la BTS, una lista de los canales de control de las células adyacentes y parámetros que son necesarios para la unidad móvil al acceder a la BTS.
 - Cell Broadcast Channel (CBCH). Se utiliza para enviar mensajes alfa numéricos cortos para todos los móviles en una célula en particular.
 - Canales de control asociados:
 - Slow Associated Control Channel (SACCH). Empleado para procedimientos que no son urgentes, principalmente para información del estado de la señal. Los mensajes de este canal pueden ser enviados cada 480 ms
 - Fast Associated Control Channel (FACCH). Empleado para procedimientos como el establecimiento de las llamadas, autenticación de los usuarios, proceso de handoff. Cada bloque de señalización está diseñado para reemplazar exactamente un bloque de voz y un mensaje completo puede ser enviado una vez cada 20 ms.
 - Dedicated Control Channel (SDCCH). Es empleado únicamente para señalización y mensajes cortos.
-

- Canales de control comunes:
 - Paging Channel (PCH). Utilizado únicamente en el enlace de bajada y este manda un voceo de un móvil en específico cuando es requerido para una llamada.
 - Access Grant Channel (AGCH). Este canal utiliza los mismos recursos físicos que el canal de voceo, pero no simultáneamente. La red lo utiliza para otorgar o negar acceso a la red a un móvil.
 - Random Access Channel (RACH). Utilizado únicamente en el enlace de subida, cuando un móvil intenta acceder a la red utiliza este canal, sin embargo, si dos intentan entrar al mismo tiempo, aparece una colisión en la BTS al recibir dos señales en el mismo canal al mismo tiempo. Para evitar este tipo de colisiones si un móvil no recibe respuesta espera un tiempo aleatorio para volverlo a intentar.

Todos estos canales son canales comunes, ya que son enviados por la red a todos los móviles. Adicional a estos canales GSM soporta canales de control dedicados, para ser usados por una estación móvil específica. [17].

Manejo del Hand-off.

Debido a la movilidad de las estaciones móviles, a menudo es necesario realizar un cambio de célula, para poder garantizar una conexión continua y con buena calidad, este proceso se denomina hand-off Durante una conversación, la estación móvil mide continuamente la calidad de su enlace (downlink) y la calidad de las señales de las células adyacentes. Estas mediciones son enviadas al BSS el cual mide el uplink y emplea los resultados para determinar si se requiere el hand-off.

Dependiendo de la nueva célula seleccionada hay 3 tipos de hand-off :

- Intra-BSC: la nueva y la antigua célula se encuentran conectados al mismo BSC.
- Inter-BSC: la nueva célula y la antigua se encuentran conectados a diferentes BCS pero al mismo MSC.
- Inter-MSC: la nueva célula y la antigua pertenecen a MSC diferentes.

[18].

Manejo del Hand-off.

Servicio de mensajes cortos. Es un sistema para enviar y recibir mensajes de texto para y desde teléfonos móviles. El texto puede estar compuesto de palabras o números o una combinación alfanumérica. SMS fue creado como una parte del estándar GSM

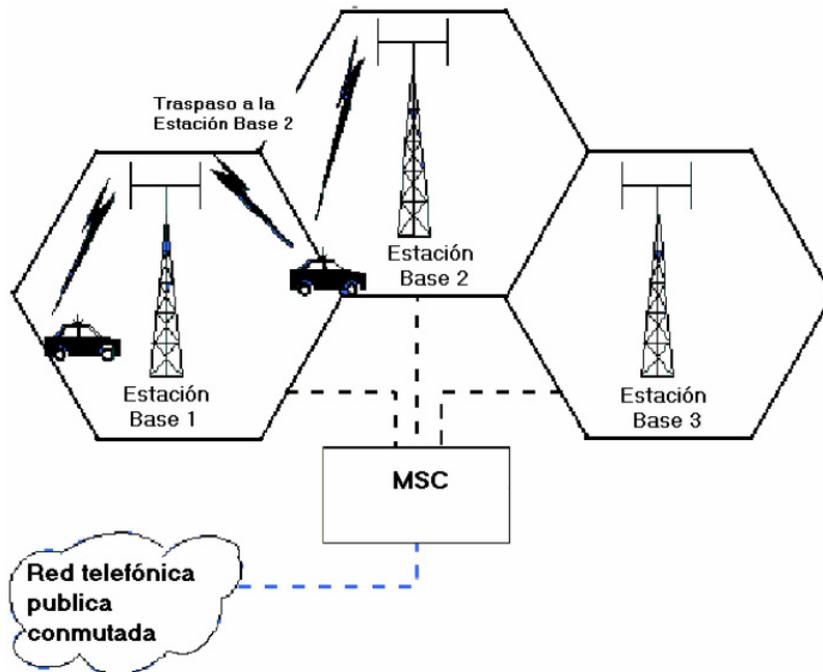


Figura 5.18: Traspaso de llamada entre células adyacentes.

fase 1. El primer mensaje corto, se cree que fue enviado en Diciembre de 1992 desde una computadora personal (PC) a un teléfono móvil a través de la red GSM Vodafone del Reino Unido. Cada mensaje puede tener hasta 160 caracteres cuando se usa el alfabeto latino, y 70 caracteres si se usa otro alfabeto como el árabe o el chino. Las principales aplicaciones basadas en SMS son:

- "Simples mensajes de persona a persona. - Los usuarios de telefonía móvil, para comunicarse con otro, utilizan rutinariamente el Servicio de Mensajes Cortos.
- "Notificaciones del buzón de voz y fax - El uso más común de SMS, es para notificar al usuario de telefonía móvil que tiene un nuevo mensaje de voz o fax. Cuando un nuevo mensaje nos llega a nuestro buzón, una alerta en forma de SMS, nos informa de este hecho.
- "Mensajes Unificados - Se trata de un emergente servicio de red de valor añadido particularmente convincente, ya que proporciona una interfase a la gente, para acceder a las diferentes clases de SMS que recibe (voz, fax, e-mail). El usuario recibe un mensaje corto, notificándole que tiene un nuevo mensaje en su buzón de mensajes, incluyendo éste a menudo una indicación del tipo del nuevo mensaje que ha sido depositado.
- .Alertas de e-mail - Uniendo el correo electrónico con SMS, los usuarios pueden

ser notificados cada vez que reciben un e-mail.

- "Descarga de Melodías.
- Chat basado en SMS, se trata de una aplicación que está emergiendo.
- "Servicios de Información - Solicitas a una fuente pública o privada que te envíe periódicamente información sobre algún tema en concreto a tu terminal móvil. El rango de información que puedes recibir es muy amplio.

[39].

Capítulo 6

CONCLUSIONES

En el cúmulo de información expuesta, se dieron a conocer los elementos básicos y técnicos más importantes usados en una red de telefonía celular, así como diversas ventajas y desventajas que han caracterizado este tema tan amplio, de esta forma el lector es capaz de tener un concepto más acertado de la manera en cómo operan este tipo de sistemas tan frecuentes en la vida actual. Por ello se ha mostrado un panorama amplio, desde su nacimiento, la arquitectura de los sistemas de telefonía celular, la evolución de los sistemas celulares, así como los estándares que dieron vida a esta tecnología, que son los puntos más importantes. Toda la información contenida aquí es un punto de partida para cualquier investigación que esté relacionada con las redes de telefonía celular e incluso puede tomarse como un texto de consulta para quienes estudian cuestiones relacionadas con este tema tan amplio.

Glosario.

ACCH (Associated Control Channel). Canal de control asociado en el sistema GSM. Canal de control utilizado siempre en conjunción con un canal dedicado. Transporta información necesaria para la comunicación. Se divide en dos clases de canales: FACCH y SACCH.

ADC (American Digital Cellular). Sistema celular digital utilizado en EEUU (IS-54).

AGCH (Access Grant Channel). Canal de acceso. Canal de control común en el sistema GSM, transmitido en el sentido base-móvil y utilizado para la asignación de recursos al móvil que previamente solicitó el establecimiento de la comunicación y tras el proceso de autenticación.

AMPS (Advanced Mobile Phone System). Corresponde al servicio de Telefonía móvil en EEUU.

ANCHO DE BANDA Capacidad de transmisión de un sistema de comunicación. Se mide en bits por segundo ó mediante sus múltiplos (Kbps, Mbps, etc). Se considera banda estrecha a aquella que soporta un caudal máximo de 64 Kbps; banda ancha, cuando esta entre 64 Kbps y 2 Mbps.

ANTENA Transductor que convierte energía de radiofrecuencias en espacio libre a señales de transmisión y viceversa.

AUC (Authentication Center). Elemento que contiene las claves y algoritmos de verificación para el acceso de un usuario a una red de telefonía celular.

BCCH (Broadcasting Control Channel). Canal de control de difusión. Canal de control común en el sistema GSM. Se transmite en el sentido base-móvil. Está permanentemente en el aire para permitir la transferencia de parámetros del sistema e información general de la red, la célula actual y las adyacentes, así como para el envío de ráfagas de sincronización. Permite a la estación móvil orientarse en el entorno del sistema.

BS (Base Station). Estación base.

BSC (Base Station Controller). Controlador de estaciones base.

BSS (Base Station Subsystem). Subsistema de estaciones base.

- BTS** (Base Transceiver Station). Traseptor de estación base.
- CCCH** (Common Control Channels). Canales de control común en el sistema GSM. Sirven para regular el acceso de los terminales al sistema y utilizan un par de portadoras.
- CDMA** (Code Division Multiplex Acces) Acceso múltiple por división de código.
- CDPD** (Cellular Digital Packet Data). Servicio de Datos Celulares
- COBERTURA** Área geográfica que una estación base es capaz de brindar el servicio de telefonía inalámbrica, limitada por las capacidades del equipo.
- CRC** (Cyclic Redundancy Check). Código redundante cíclico. Código protector de errores utilizado en sistemas celulares.
- DCCH** (Dedicated Control Channels). Canales de control dedicados en el sistema GSM. Permiten funciones específicas y se asocian a cada comunicación. Utilizan un par de portadoras.
- DCS** (Digital Cellular System). Sistema de telefonía celular digital de Y generación similar al sistema GSM, pero que opera en la banda de 1800MHz.
- DTX** En la transmisión discontinua (DTX) la estación móvil desconecta el transmisor o disminuye el nivel de portadora transmitido en las pausas de la conversación.
- EIR** (Equipment Identity Register). Registro de identidad de equipo. Base de datos que guarda información relativa al equipo móvil (fabricante, nº de serie,.).
- ETSI** (European Telecommunication Standard Institute). Organismo de normalización europeo en materia de telecomunicaciones.
- FACCH** (Fast Associated Control Channel). Canal lógico de control utilizado en el sistema digital IS-54 y en el sistema GSM. Se usa para transmitir órdenes urgentes como una orden de handoff. Está asociado de forma transitoria a un canal de tráfico y se materializa mediante robo"de intervalos de tráfico
- FCCH** (Frequency Correction Channel). Canal asociado al canal de tráfico en el sistema GSM transmitido desde la red hasta el móvil. Por él se envía la información de corrección de frecuencia para sincronización de la portadora en el móvil.
- FDD** (Frequency Duplexion Division). Técnica de separación en frecuencia entre la transmisión en sentido base-móvil y móvil-base.
- FDMA** (Frequency Division Multiplex Access). Técnica de multiplexación de canales radio-eléctricos por división en frecuencia, utilizada en los sistemas analógicos de primera generación.
-

- FH** (Frequency Hopping). Salto de frecuencia. Se utiliza en GSM. Posibilidad de que los móviles puedan realizar la transmisión en la modalidad de saltos de frecuencia, bajo mandato de la red, para lograr una mayor protección gracias a la diversidad de frecuencia.
- FM** (Frequency Modulation). Modulación analógica de frecuencia, utilizada en los sistemas celulares analógicos.
- FPLMTS** (Future Public Land Mobile Telecommunications Systems) Anterior denominación del futuro sistema de telefonía móvil de tercera generación, propuesto por la ITU.
- FoCC** (Forward Control Channel). Canal de control dedicado utilizado en el sistema TACS en el sentido base-móvil.
- FSK** (Frequency Shift Keying). Modulación de frecuencia digital utilizada en la transmisión de información de control en el estándar TACS.
- GMSK** (Gaussian Minimum Shift Keying). Modulación digital de frecuencia con filtro gaussiano de premodulación, utilizada en el sistema celular GSM.
- GOS** (Grade of Service). Grado de servicio. En sistemas con espera es la probabilidad de que una llamada arbitraria tenga una espera superior a un tiempo especificado en segundos.
- GSM** (Groupe Special Mobile o Global System for Mobile Communications). Sistema de telefonía celular digital de segunda generación estandarizado en Europa pero cuyo uso se ha extendido a otras zonas del planeta.
- HANDOFF** Procedimiento a través del cual se cambian los canales de transmisión de radio a medida que una unidad móvil se mueve del área de cobertura de una célula a otra.
- HLR** (Home Location Register). Base de datos local que contiene información de todos los abonados móviles, relativa a su suscripción y servicios suplementarios.
- HUELLA** Área geográfica iluminada por la señal de RF de salida de una estación base.
- IMEI** (International Mobile Equipment Identity). Identidad del equipo móvil internacional.
- IMSI** (International Mobile Subscriber Identity). Identidad de abonado móvil internacional. Se incorpora en el módulo de identidad de abonado (SIM) cuando un abonado utiliza un terminal.
- ISDN** (Integrated Services Digital Network). Red digital de servicios integrados.
- IS-54** Norma que recoge las características del sistema celular digital de segunda generación TDMA surgido en EEUU.
- IS-95** Norma que recoge las características del sistema celular digital de segunda generación CDMA, propuesto por la compañía Qualcomm.
-

ITINERANCIA Del inglés Roaming, es la forma de definir la conexión de una línea GSM de un país con los operadores de otros países que también cuentan con el sistema GSM, sin necesidad de cambiar el número de teléfono.

ITU (International Telecommunications Union). Unión Internacional de Telecomunicaciones.

JDC (Japanese Digital Cellular). Sistema de telefonía celular digital de segunda generación TDMA usado en Japón.

LPC (Linear Prediction Codes). Codificadores de predicción lineal de coeficientes, utilizados en la compresión digital de voz en los sistemas digitales celulares.

MAHO (Mobile Assisted Hand Over). Handoff asistido por el móvil. El terminal móvil es capaz por sí mismo de medir la calidad de las señales procedentes de estaciones base adyacentes, enviarla a la red y ayudar así en la ejecución del handoff.

MAP (Mobile Application Part). Formato que define los métodos y mecanismos de comunicación en las redes sin hilos.

MIN (Mobile Identification Number). Registro que contiene el número telefónico codificado en binario.

MS (Mobile Station). Estación móvil.

MSC (Mobile Switching Center). Centro de Conmutación de Móviles. Su función principal es la de conmutación y encaminamiento de llamadas.

NAMPS (Narrowband Advanced Mobile Phone System). Variación del estándar celular analógico AMPS con canalización estrecha a 10KHz.

NMT (Nordic Mobile Telephone). Sistema celular analógico de primera generación surgido en los países nórdicos.

OMS (Operation & Maintenance System). Sistema de operaciones y mantenimiento.

PAGING Término utilizado para denominar a los sistemas de radiolocalización.

PCH (Paging Channel). Canal de búsqueda. Canal de control común en el sistema GSM. Se transmite desde la base hasta el móvil e informa a la estación móvil de una llamada destinada a la misma.

PIN (Personal Identification Number). Número de identificación personal.

PSTN (Public Switched Telephonic Network). Red telefónica pública conmutada.

QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Modulación digital de fase en cuadratura, utilizada en los sistemas americanos IS-54, IS-95 y japoneses PDC.

- RACH** (Random Access Channel). Canal de acceso aleatorio. Canal de control común en el sistema GSM. Transmite en el sentido móvil-base las peticiones de la estación móvil no programadas de antemano en el sistema, por ejemplo para el registro o establecimiento de la llamada.
- RDS** (Radio Data System). Sistema para el envío de datos a través de la interfaz radio.
- RECC** (Reward Control Channel). Canal de control en el sentido móvil-base en el estándar británico TACS.
- RELP** (Residual Term Excited Long Term Prediction). Técnica de compresión LPC utilizada en el sistema celular digital GSM, en la que se codifica la señal error de predicción mediante técnicas vectoriales.
- ROAMING** Inicio de servicios en un área diferente de aquella a la cual el usuario ha sido asignado.
- RSS** (Received Signal Strength). Nivel de potencia recibida en un canal.
- SACCH** (Slow Associated Control Channel). Canal de control asociado lento. Se utiliza en los sistemas TDMA IS-54 y GSM fundamentalmente para transmitir información recurrente, como ajuste de potencia o de trama, medidas de calidad del canal, información de tarificación.
- SAT** (Signal Audio Tone). Se trata de un tono modulado en frecuencia transmitido en el canal vocal de los sistemas analógicos TACS que sirve para controlar la continuidad del enlace base-móvil y móvil-base.
- SCH** (Synchronization Channel). Canal de sincronización asociado al canal de tráfico en el sistema GSM. Su sentido es desde la red al terminal móvil. Cursa la información de sincronización de trama e identificación de la estación base.
- SID** (System Identification). Identificación digital del operador celular.
- SIM** (Subscriber Identity Module). Módulo de identificación de usuario. Tarjeta que se inserta en el terminal móvil y se asocia a una abono celular. SMS Servicio de mensajes cortos.
- ST** (Total Access Communication System). Sistema celular analógico de primera generación estandarizado en el Reino Unido, versión modificada del estándar americano AMPS adaptado a la canalización europea.
- TCH** (Traffic Channel). Canal lógico de tráfico en el sistema GSM.
- TDMA** (Time Division Multiplex Access). Técnica de multiplexación de canales radioeléctricos por división en tiempo, utilizada en algunos sistemas digitales de segunda generación.
- TIA** (Telecommunication Industry Association). Asociación de Industrias de Telecomunicación norteamericana.
-

TRÁFICO Volumen de la demanda en un sistema de telecomunicaciones.

VLR (Visitor Location Register). Base de datos que utiliza una NISC para todos los abonados que en un momento dado están en su área de servicio.

VSELP (Vector Sum Excited Long Prediction). Técnica de compresión LPC.

WAP (Wireless Application Protocol). Protocolo basado en los estándares de Internet que ha sido desarrollado para permitir a teléfonos celulares navegar a través de Internet.

WARC (World Administrative Radio Conference) Conferencia mundial donde se definen las normas de uso del espectro radioeléctrico.

Bibliografía

- [1] *AMPS - NAMPS CELLULAR THEORY*, NOKIA MOBILE PHONES
- [2] *AMPS SYSTEM TRAINING*, NOKIA
- [3] *ANALOG CELLULAR SYSTEMS TRAINING*, NOKIA MOBILE PHONES
- [4] *ANALOG SYSTEMS TACS CHAPTER 2*, NOKIA MOBILE PHONES
- [5] *BASICS AMPS*, NOKIA MOBILE PHONES
- [6] *BASICS OF DIGITAL COMMUNICATIONS*, MOTOROLA WIRELESS
- [7] C. GÓMEZ & J. TELLEZ, *TDMA THEORY*, NOKIA MOBILE PHONES
- [8] C. MARTÍNEZ, *FUNDAMENTOS DE TELEFONÍA CELULAR*, MOTOROLA
- [9] *CDMA CELLULAR THEORY*, DEPARTAMENTAL WORK INSTRUCTION
- [10] *CELLULAR COMMUNICATIONS*, THE INTERNATIONAL ENGINEERING CONSORTIUM
- [11] *COMUNICACIONES MÓVILES, CAPITULO 3 CAPACIDAD SCG*, MOTOROLA
- [12] *CURSO BÁSICO DE TELEFONÍA CELULAR*, SERVICIO TÉCNICO
- [13] E. S. SPEARS, *GSM CELLULAR THEORY*, DEPARTMENTAL WORK INSTRUCTION
- [14] F. PALMA, *MANUAL DE SERVICIO TÉCNICO, HISTORIA, COMPONENTES Y TECNOLOGÍAS*, MOTOROLA
- [15] H. LEIJON, *FORMULA DE ERLANG*, UIT
- [16] *INTRODUCTION TO CELLULAR CONCEPTS*, NOKIA MOBILE PHONES
- [17] J. ACUÑA & G. DUTRA, *SEMINARIO DE TECNOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES, INTRODUCCIÓN A LA ARQUITECTURA GSM*, ABRIL 2003
- [18] J. M. HERNANDO RÁBANOS, *COMUNICACIONES MÓVILES GSM*, FUNDACIÓN AIRTEL, 1999
- [19] M. HANSEN *INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS INALÁMBRICOS*, MOTOROLA

- [20] M. HANSEN, *SISTEMAS CELULARES, TDMA Y GSM*, MOTOROLA
 - [21] M. HANSEN & R. LORENZEN-SHELL, *TELEFONÍA CELULAR, TERMINOLOGÍA, MANUAL DE SERVICIO TÉCNICO*, MOTOROLA 2001
 - [22] M. MÁRQUEZ SEPÚLVEDA, *EVOLUCIÓN DE SISTEMAS INALÁMBRICOS*, FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
 - [23] *MINIMUM PERFORMANCE STANDARDS FOR BASE STATIONS*, ANSI/TIA 1998
 - [24] *MOBILE STATION-BASE STATION COMPATIBILITY STANDARD*, SPREAD SPECTRUM SYSTEMS, OCTOBER 1998
 - [25] *MOBILE STATIONS MINIMUM PERFORMANCE*, ANSI/TIA
 - [26] *PERSONAL COMMUNICATIONS SERVICES*, AT&T WIRELESS
 - [27] R. MARE, *INTRODUCCIÓN A LA TELEFONÍA CELULAR*
 - [28] R. ORDÓNEZ, *COMUNICACIONES INALÁMBRICAS*, UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
 - [29] R. ROMERO VERA & F. IBARRA MANZANO, *EVOLUCIÓN DE LA TELEFONÍA CELULAR*, CAPÍTULO 3
 - [30] R. SÁENZ PEÑA, *TEORÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES*
 - [31] SERVICE SUPPORT GROUPE, *MOBILE STATION CHAPTER 2*, MOTOROLA
 - [32] SERVICE SUPPORT GROUPE, *TELEFONÍA CELULAR EN MÉXICO*, MOTOROLA
 - [33] *SISTEMAS DE RADIOTELEFONÍA MÓVIL*, ETSIT
 - [34] *SISTEMA GLOBAL PARA COMUNICACIONES MÓVILES, CAPÍTULO 1; ARQUITECTURA*, ANÓNIMO
 - [35] T. FARLEY, *CELLULAR TELEPHONE BASICS*, NOKIA MOBILE PHONES
 - [36] W. C. Y. LEE, *MOBILE CELLULAR COMMUNICATIONS SYSTEMS*, McGraw-Hill Book Company
 - [37] <http://www.gsmonline.com/>
 - [38] <http://www.pcs.gov.co/>
 - [39] <http://www.telcel.com.mx/>
-