

Capítulo 2

Contenido

FUNDAMENTOS DE LA TELEFONÍA MÓVIL.....	40
OBJETIVOS DEL CAPÍTULO	40
2.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA.....	40
2.2 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVIL.....	41
2.3 EL CONCEPTO CELULAR	44
<i>Sistemas de radio teléfono convencionales</i>	<i>44</i>
<i>Los conceptos.....</i>	<i>46</i>
<i>Arquitectura y características</i>	<i>46</i>
2.4 COMPONENTES Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA.....	51
2.5 LOS PRIMEROS SISTEMAS	53
2.6 AMPS.....	54
<i>Características</i>	<i>54</i>
<i>Funcionamiento.....</i>	<i>56</i>
<i>Transmisión de datos – CDPD.....</i>	<i>61</i>
<i>Limitaciones de AMPS.....</i>	<i>61</i>
NOTAS HISTÓRICAS – INVENTOS QUE REVOLUCIONARON LAS TELECOMUNICACIONES	62

Fundamentos de la telefonía móvil

Objetivos del capítulo

Este capítulo presenta los conceptos básicos de la telefonía móvil, iniciando con un breve repaso histórico sobre el desarrollo de ésta tecnología en el mundo, desde los primeros sistemas de comunicación móvil y la evolución gradual a los sistemas de telefonía celular. Se estudia AMPS, el primer sistema comercial de telefonía celular en los Estados Unidos que constituye el estándar para telefonía móvil en ese país, para presentar los conceptos generales y entender la operación básica de estos sistemas. Se analiza cómo la telefonía móvil, por varias décadas una tecnología latente, se activó convirtiéndose en lo que es, probablemente, el más importante instrumento de comunicaciones de la sociedad moderna.

Después de estudiar el capítulo el estudiante deberá:

- Conocer los orígenes de la telefonía móvil.
- Entender la evolución de los sistemas de comunicación móvil en el mundo.
- Comprender los conceptos básicos de la telefonía móvil
- Distinguir la arquitectura y características de un sistema de telefonía móvil.
- Conocer las especificaciones y funcionamiento de AMPS

2.1 Perspectiva histórica

La telefonía móvil comercial se inició en los Estados Unidos en 1946, después de la Segunda Guerra Mundial. Ya a mediados de 1945 los ingenieros de la AT&T¹ tenían la idea de la radio celular como se evidenció por un artículo publicado en una revista popular en los Estados Unidos, la *Saturday Evening Post*. En 1947, unos ingenieros de los Laboratorios Bell, D. H. Ring y W. R. Young, publicaron en un memorando interno de la compañía el concepto del radio celular. La concepción general del radio celular en el medio era considerarlo como una evolución de los radio teléfonos; simplemente una mejor manera de proveer a un nicho de personas con un teléfono para sus vehículos. Efectivamente, en las siguientes décadas las aplicaciones de telefonía móvil fueron orientadas al radio teléfono vehicular. Ciertamente no se pensó que el celular revolucionaría las comunicaciones. Hacia el final de la década de 1960, todas las compañías de telecomunicaciones y proveedores importantes en el mundo conocían la idea del radio celular, pero los sistemas instalados eran de radio teléfonos convencionales. Más de treinta años después, hasta 1978, la AT&T inició pruebas para

¹ AT&T – *American Telephone & Telegraph*, fue la compañía dominante en el sector de las telecomunicaciones en el mundo y líder en investigación por medio de sus Laboratorios Bell, por más de un siglo (de 1885 a 2005). Después de la adquisición y fusión con SBC Communications, una de sus filiales, surgió AT&T, Inc., que es actualmente el mayor proveedor de servicio telefónico local y de larga distancia, inalámbrico y acceso DSL a Internet en los Estados Unidos.

salir al mercado con lo que sería el primer sistema de telefonía celular y sólo hasta 1984 la telefonía móvil comienza en forma en los Estados Unidos. Esta demora en implementar el servicio parece extraña, comparada con lo ocurrido con otras tecnologías como el telégrafo, el teléfono fijo y en los últimos años el crecimiento desorbitado de las tecnologías inalámbricas, pero hubo muchas razones. El progreso del radio celular se vio entorpecido por los organismos de regulación, la inercia de la compañía dominante en la industria (AT&T) y limitado por la tecnología de la época². Sólo desde 1995 están disponibles en el mercado mundial los dispositivos móviles de bajo costo, con alta funcionalidad y la capacidad que requiere un sistema de telefonía móvil.

2.2 Sistemas de comunicación móvil

La telefonía móvil evolucionó de la radiotelefonía móvil. En 1924 los Laboratorios Bell ya estaban probando un radioteléfono, para utilizar en un automóvil.



Fig. 2.1 – Radio teléfono móvil³

En junio de 1946 entró en servicio el primer sistema comercial de radio teléfono móvil en Saint Louis, Missouri (EU), el MTS o *Mobile Telephone Service*. Motorola construía los radios y la Bell System (AT&T) los instalaba en los vehículos; un transmisor central transmitía a los móviles que circulaban por la ciudad, varios receptores instalados dentro de la ciudad proveían la cobertura y un operador en una oficina central conectaba el tráfico de los receptores al transmisor. El sistema utilizaba seis canales de 60 kHz en la banda de 150 MHz; eventualmente se instaló en 25 ciudades donde rápidamente agotó su capacidad y se formaron listas de espera.

² Para lograr la portabilidad manual de los dispositivos móviles y copar con la complejidad técnica del sistema se requerían avances tecnológicos en la industria electrónica que no existían en 1947. Estos desarrollos cruciales se dieron entre 1948 y 1971. Los más notables fueron el invento del transistor, los circuitos integrados y los microprocesadores. Ver notas al final del capítulo.

³ De <http://www.bell-labs.com/history/75/gallery.html>

Fuera de los Estados Unidos la telefonía móvil se desarrolló lentamente. En Holanda y Suecia se instalaron sistemas de radiotelefonía. En 1951 ingenieros suecos diseñaron un novedoso sistema de telefonía móvil automático llamado MTA que instalaron en varias ciudades y eventualmente entró en operación en 1956. Los equipos se instalaban en vehículos, eran grandes y usaban mucha energía. El transmisor y receptor se acomodaban en el baúl y el aparato telefónico en la cabina. Las luces del vehículo se extinguían cuando se utilizaba el sistema.

En los Estados Unidos, la Bell Telephone introdujo en 1964 el “servicio telefónico móvil mejorado” o IMTS (*Improved Mobile Telephone Service*) para reemplazar el antiguo MTS. Con el nuevo sistema el usuario no tenía que oprimir un botón para hablar; la conversación era fluida, en dos vías. Ahora el sistema permitía discado directo con selección automática de canal. Había demanda por el sistema pero los canales disponibles no eran suficientes para acomodar más usuarios.

A mediados de los años 60 la Administración de Telecomunicaciones Sueca comenzó a reemplazar el MTA por un nuevo sistema, el MTB, que utilizando transistores funcionaba con equipos más pequeños, que consumían menos energía y eran más económicos. MTB se ofreció al público desde 1965, pero el sistema se saturó rápidamente con 660 usuarios.

En 1967 se fundó la compañía finlandesa Nokia. Por las condiciones favorables del mercado libre y su experiencia en el desarrollo de centrales telefónicas digitales la compañía se posicionó más adelante como una de las más importantes en la industria de telefonía móvil.

Es evidente que a finales de la década (de los años 60) todas las compañías de telecomunicaciones y proveedores importantes de la industria en el mundo conocían los conceptos del radio celular. Por ejemplo, la NT&T (*Nippon Telephone & Telegraph*) por esa época comenzó el desarrollo de un sistema celular nacional en la frecuencia de 900 MHz. Los aspectos técnicos estaban identificados y varios estaban más o menos resueltos, pero faltaba desarrollo en la electrónica (hardware). Los aspectos prácticos de instalación de un sistema celular de cobertura amplia, por la logística y los altos costos, estaban lejos de ser resueltos.

En enero de 1969 la Bell Telephone instaló lo que sería el primer sistema comercial de radio celular, funcionando por primera vez con reutilización de frecuencias en una zona limitada. Usuarios del *Metroliner*, un servicio de tren entre la ciudad de Nueva York y Washington, D. C., podían hacer llamadas telefónicas mientras el tren viajaba a 160 kph. El sistema utilizaba 6 canales en la banda de 450 MHz, repetidamente en 9 zonas por la ruta de 360 km. Un sistema computarizado controlaba el sistema. Así el primer sistema de telefonía celular utilizó teléfonos públicos.

En 1973, un equipo técnico bajo la dirección de Martin Cooper en Motorola anunció el invento del primer teléfono celular portátil de mano. El primer celular, no portátil, lo había desarrollado la Bell Telephone para su sistema del *Metroliner*. Para esta época la demanda por sistemas móviles ya era evidente, pero las restricciones en el espectro

regulado no permitían el crecimiento. En los Estados Unidos la Bell Telephone tenía 44,000 subscriptores de servicio móvil, pero había 20,000 en listas de espera de 5 a 10 años.

En 1977 y 1978 fabricantes suecos y japoneses realizaron pruebas de sistemas celulares analógicos en Estocolmo y Tokio, respectivamente. El sistema japonés lo implementó la NTT con equipos fabricados todos en el Japón.

En julio de 1978 la AT&T inició pruebas con el sistema AMPS o *Advanced Mobile Phone Service* en dos ciudades de los Estados Unidos; seis meses después se liberó comercialmente. Tenía 2,100 terminales móviles que se instalaban en vehículos, usaba la banda de 800 MHz, un conmutador central electrónico, terminales construidos con circuitos integrados. La experiencia demostró la viabilidad de un sistema celular comercial.

A finales de los años 70 y principios de los 80 se instalaron sistemas celulares en Tokio (88 celdas, 1979), Ciudad de México (1 celda, 1981) y Arabia Saudita (20 celdas, 1981). En Suecia, Noruega, Dinamarca y Finlandia (1982) los suecos instalaron el sistema celular más avanzado, el NMT 450 (*Nordic Mobile Telephone*), con 600 celdas, con traslado de llamadas entre operadores (países) o *roaming*, ofrecido por primera vez, operando en la banda de 450 MHz y usando tres centrales de conmutación de Ericsson. Fue el primer sistema celular multinacional.

A mediados de los años 80, se instalaron en Gran Bretaña (TACS – *Total Access Communications System*, en la banda de 900 MHz), Alemania occidental, Francia e Italia sistemas de radio teléfono analógicos. Todos incompatibles.

En octubre de 1983 una subsidiaria de la Bell Telephone inició un servicio celular comercial en Chicago, Illinois, con el sistema AMPS, usando teléfonos celulares de Motorola, el Dyna-TAC⁴. A partir de entonces el mercado de la telefonía celular creció rápidamente; de 100 mil usuarios de radio teléfonos móviles antes de 1983, a más de 1.3 millones de usuarios de teléfonos celulares en 1987. Esto despertó interés por la tecnología en muchos países.

En 1984 se creó en Corea del Sur la KMT o *Korea Mobile Telecommunications Company*, que ha resultado ser una de las compañías líderes mundiales en radio celular.



Fig. 2.2 – El Motorola Dyna-TAC

⁴ El primer teléfono celular móvil, manual. La imagen es de <http://www.motorola.com/mediacenter/graphics/>

2.3 El concepto celular

La telefonía móvil moderna, no es simplemente una mejora de los sistemas de radio teléfono de los años 50 con equipos portátiles más pequeños, resultado de los avances en la electrónica. El concepto del radio celular es una idea revolucionaria, desarrollada por ingenieros de los Laboratorios Bell a mediados de la década de 1940.⁵

Sistemas de radio teléfono convencionales

Todos los sistemas inalámbricos con transmisión por ondas de radio hasta esa fecha operaban bajo los mismos principios: un sistema típico, como el MTS instalado en varias ciudades de los Estados Unidos en 1946, o su siguiente versión el IMTS instalado 18 años después en 1964, se muestra en la Fig. 2.2. La antena transmisora irradia la señal en todas las direcciones (antena omnidireccional) sobre un área determinada por la potencia de la señal transmitida. La mayor cobertura con la antena, a una frecuencia específica, se logra transmitiendo a la mayor potencia permitida. Para reducir la potencia de los transmisores móviles, varios receptores fijos se distribuían por el área donde se prestaba el servicio. Los radioteléfonos se instalan en vehículos, con suficiente potencia para transmitir hasta una de las antenas receptoras.

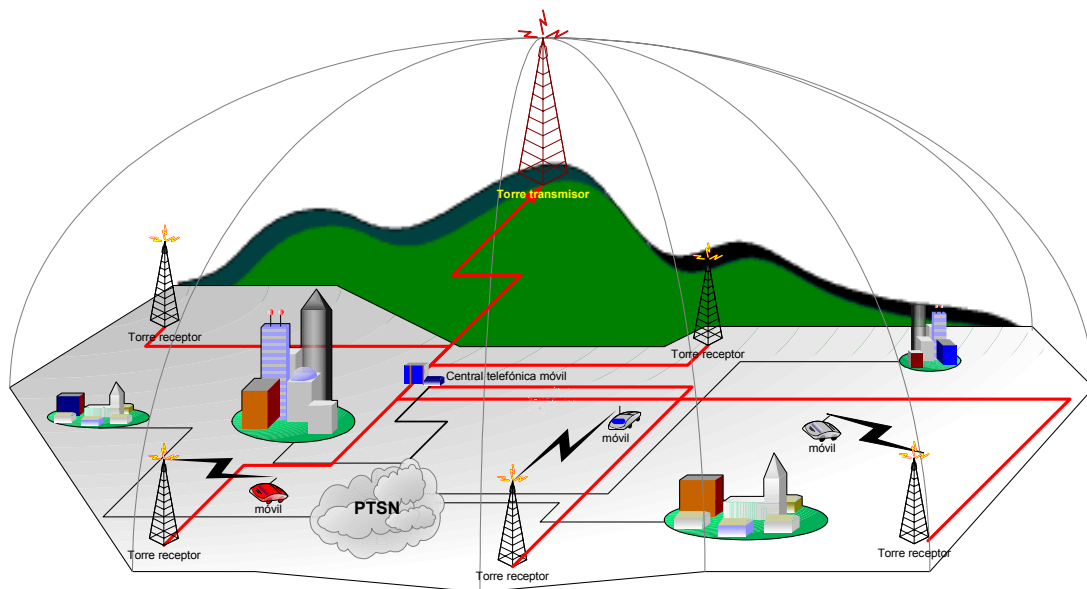


Fig. 2.3 – Sistema de radio teléfono móvil

El transmisor y los receptores están conectados a la central telefónica móvil que controla el tráfico y conecta las llamadas de los usuarios; también da acceso a la red telefónica fija (PTSN o *Public Telephone Switching Network*). Para todo el sistema hay una banda de

⁵ La primera reseña documentada de la tecnología, como ya se había comentado, fue publicada en diciembre del 47, en un memorando interno de la compañía por D.H. Ring, probablemente con la colaboración de W.R. Young.

frecuencias asignada que se divide en n canales. Cada canal transporta una conversación de voz y el número de canales determina la capacidad del sistema y el número de usuarios simultáneos.

Como el espectro es reducido, n es un número pequeño; por ejemplo, el primer sistema MTS usaba 6 canales para transmisión. En MTS el móvil se comunicaba con la operadora por medio de la torre receptora; la operadora conectaba la llamada con otro usuario móvil por medio de la torre transmisora, o hacía la llamada por la red telefónica fija a otro usuario; estas conversaciones eran por intermedio de la operadora. Las comunicaciones eran semidúplex (*half-duplex*); el usuario oprime un botón para hablar y sólo habla una de las partes a la vez. IMTS funcionaba *full-duplex* y utilizaba discado directo, sin intervención de la operadora.

Los sistemas móviles de radio modernos, utilizan centrales automáticas, pero esencialmente operan de la misma manera. La Fig. 2.4 muestra dos casos típicos, de redes de radio móviles PMR (*Private Mobile Radio*), con comunicación directa entre los móviles o con comunicación por medio de una estación base, utilizando unas pocas frecuencias y sirviendo pocos usuarios. Esta es la mayor limitación de sistemas de radioteléfono, que una pequeña y limitada banda de frecuencias atiende toda el área.

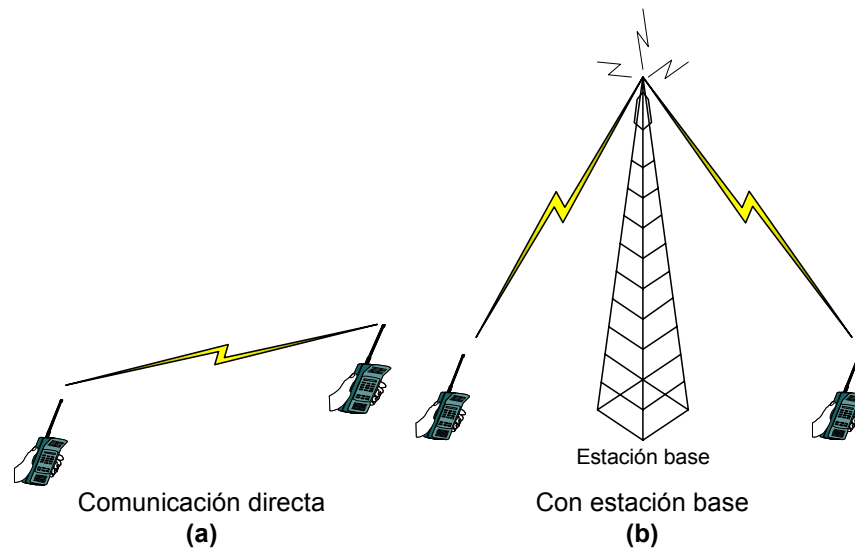


Fig. 2.4 – Comunicación en redes móviles privadas (PMR)

Para extender el área de servicio y limitar la potencia de transmisión de los móviles, se puede utilizar una configuración de antenas receptoras distribuidas como en la Fig. 2.3. Un rango típico es de 70 km con 25 canales de voz para uso simultáneo y no se reutilizan las frecuencias. Usualmente no provee acceso a la red telefónica pública en forma directa, si no a través de la operadora..

Los conceptos

Los sistemas de telefonía móvil se fundamentan en algunos conceptos propios que los diferencian de otros sistemas inalámbricos o de radiotelefonía. Podemos identificar dos conceptos fundamentales:

- La estructura de celdas y
- La reutilización de frecuencias.

Los sistemas convencionales de radio telefonía presentan dos grandes limitaciones: en primer lugar, están restringidos en el área geográfica que pueden cubrir porque utilizan una sola antena para la transmisión, que transmite a alta potencia pero con un alcance siempre limitado. La otra restricción es en el número de usuarios que puede atender el sistema, lo cual depende de las frecuencias asignadas y que, necesariamente, son un número pequeño. Es decir, no pueden cubrir un área muy extensa y sólo pueden atender unos pocos usuarios. Estas dos restricciones no existen en los sistemas de telefonía celular. En la telefonía móvil moderna el área donde se presta el servicio, prácticamente no tiene restricciones y el número de usuarios en el sistema puede crecer en forma ilimitada. De hecho ya el número de usuarios de los sistemas de telefonía móvil es mucho mayor que los usuarios de telefonía fija.

Arquitectura y características

La arquitectura de las redes de telefonía móvil permite aplicar los conceptos para cubrir un área arbitrariamente extensa y un gran número de usuarios.

El área de servicio (por ejemplo, una ciudad) se divide en pequeñas áreas geográficas contiguas llamadas **celdas** o células. Celdas típicas pueden cubrir un área de 28 km² (equivalente a un área circular con radio de 3 km, aproximadamente). Cada celda contiene una **estación base** que consta de los equipos electrónicos para comunicación con un transmisor/receptor, torre y antenas. La estructura celular requiere un número grande de estaciones base cubriendo el área, de tal manera que en una ciudad pueden existir cientos de celdas. Todas las estaciones base se conectan por el medio más adecuado (fibra óptica o canal de microondas) con una **oficina central de conmutación** para los teléfonos móviles, o *Mobile Telephone Switching Office* (MTSO). La MTSO es el centro neurálgico de la red y está conectada, además, por un canal de banda ancha a la red pública de teléfonos fijos, o *Public Telephone Switching Network* (PTSN). Finalmente están los dispositivos móviles o teléfonos celulares que se comunican directamente con la estación base de la celda en la cual se encuentran. La Fig. 2.4 muestra los componentes y la arquitectura de la red.

La red de telefonía móvil moderna exhibe tres características importantes:

- **Movilidad:** tránsito libre de los móviles o teléfonos celulares dentro de la celda y por diferentes celdas, con mecanismos para transferir el control de las comunicaciones de una celda a otra sin perder la llamada y movimiento a velocidades de los medios usuales de transporte (hasta cientos de kilómetros por hora).

- **Accesibilidad:** comunicación entre móviles, del mismo operador o de otros operadores (*roaming*) y con la red telefónica fija.
- **Escalabilidad:** crecimiento (sin límite teórico) del sistema, en extensión geográfica y número de usuarios. Facilidad para adicionar capacidad y atender mayor demanda ocasional.

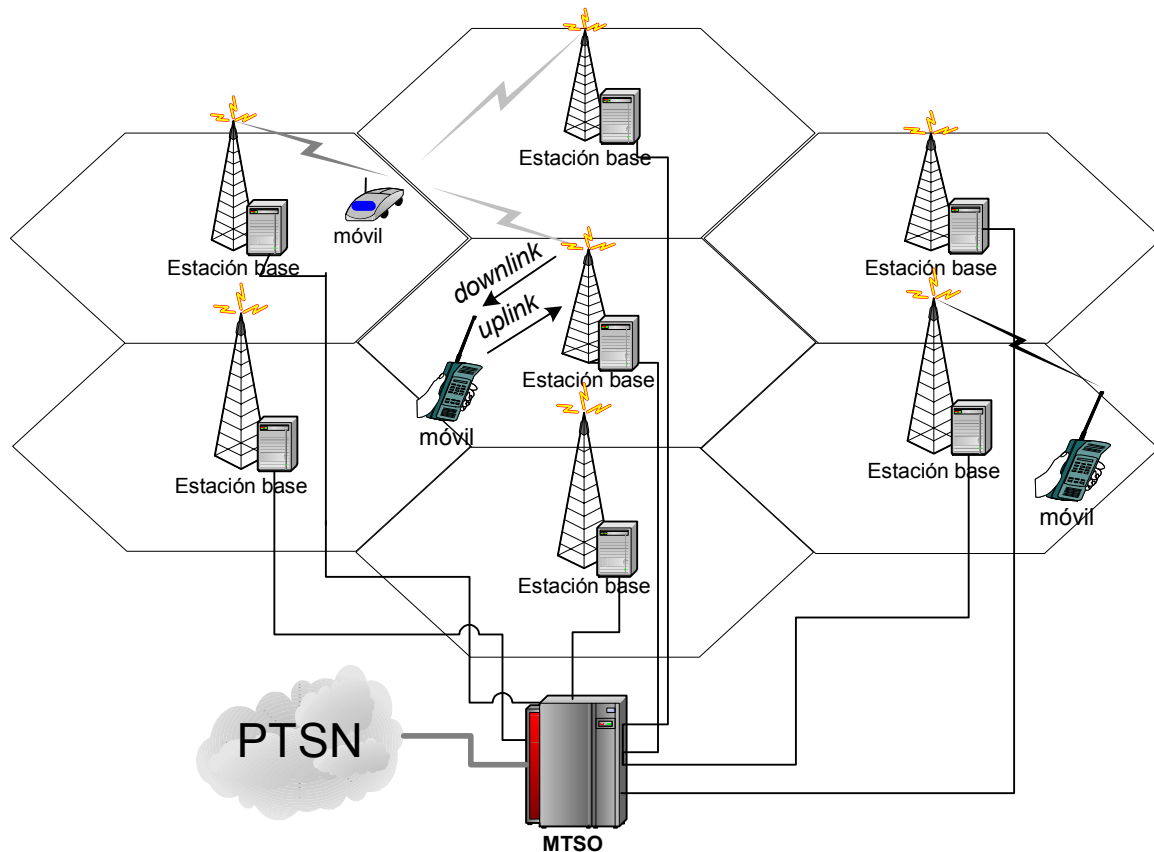


Fig. 2.5 Arquitectura de una red de telefonía móvil

La celdas

Un concepto central en las redes de telefonía móvil es la celda. La celda representa, con una geometría ideal, el área geográfica dentro del radio de acción de la estación base. En principio, a cada celda corresponde una estación base fija que provee el servicio de comunicación a los usuarios móviles localizados dentro de la celda.

El patrón de irradiación de las antenas es irregular pues depende de la conformación del terreno y los accidentes geográficos pero su geometría es más o menos circular. Las celdas se organizan contiguas unas a otras, cubriendo la superficie geográfica dentro de la que se presta el servicio a los usuarios como en la Fig. 2.6(a), en el cual las células circulares están superpuestas (de lo contrario habrían pequeñas regiones o “huecos” sin servicio). Para expresar la idea que toda el área de servicio queda totalmente cubierta, es

más conveniente un diseño de mosaico, en el cual las piezas se ajustan con precisión. Con círculos no es posible, pero con hexágonos si, en forma similar a la organización de un panel. Esta geometría es útil para ilustrar el concepto de la red celular, pero se debe comprender que solo es un modelo ideal.

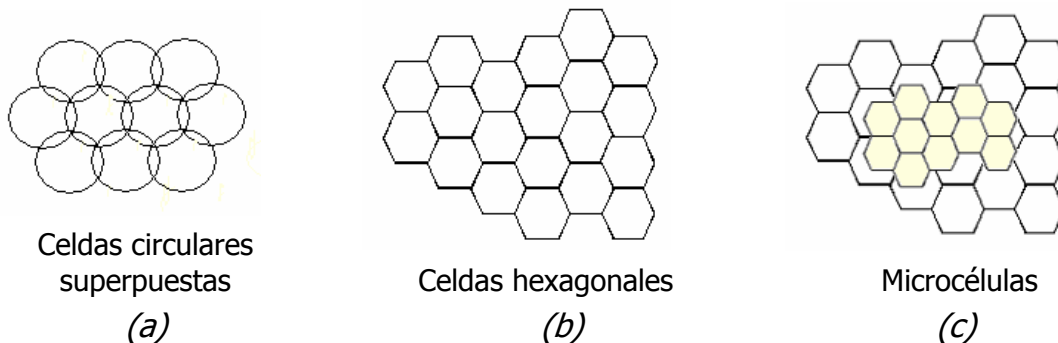


Fig. 2.6 – Representación gráfica de una superficie dividida en celdas

En las redes celulares es necesario hacer modificaciones frecuentemente, en el número y tamaño de las celdas, para atender la mayor demanda por el servicio y la calidad del mismo.

El tamaño de las celdas varía y es uno de los factores importantes en el diseño de la red celular. Por un lado, depende de las frecuencias en las cuales debe operar el sistema y estas están reguladas. La banda de frecuencias es determinada por la licencia de operación que otorga el gobierno u organismo regulador y no la puede cambiar el operador a voluntad. Las frecuencias que se han utilizado por los sistemas de comunicación móviles son microondas de 450 a 2000 MHz, sobre la banda UHF que utiliza la TV para los canales 14 a 83 (470 a 890 MHz). Las frecuencias más altas se obstruyen más que las más bajas y por consiguiente tienen menor alcance. El efecto es que redes que operan con bandas de frecuencias más bajas pueden usar celdas de mayor tamaño y requieren menos estaciones base, lo cual hace más económica la instalación.

Las celdas se configuran en tres tamaños básicos: macroceldas, microceldas y picoceldas. No hay una definición exacta de cada una de éstas, sólo la idea de su tamaño relativo: macrocelda es mayor que microcelda y picocelda es la más pequeña. Dentro de las limitaciones que le impone la banda de frecuencias de operación, el operador puede reducir el tamaño de la celda graduando la potencia del transceptor⁶. Las macroceldas son representativas de los primeros sistemas celulares; las otras han sido desarrollos más recientes que han resultado de la subdivisión de las celdas mayores para adicionar capacidad. Las áreas urbanas tienen mayor densidad de dispositivos móviles que las áreas rurales. Para mantener el servicio los operadores instalan microceldas superpuestas como lo indica la Fig. 2.6 (c). En zonas muy densas, como un conjunto de edificios en un sector financiero o comercial, se pueden instalar picoceldas. Esto permite al operador ajustar la infraestructura a la demanda por el servicio.

⁶ Significa transmisor-receptor.

Reutilización de frecuencias

En una celda cualquiera el sistema utiliza un número pequeño de las frecuencias que le han sido asignadas para prestar el servicio. Es evidente que cada usuario, debe utilizar una frecuencia distinta para la comunicación y el número de frecuencias diferentes asignadas determina cuántos usuarios se pueden atender simultáneamente. Si el sistema consta de una sola celda, como los sistemas convencionales de radio teléfono, el número de usuarios total del sistema y el número de llamadas simultáneas está limitado por las frecuencias asignadas y es la mayor limitación del sistema. El sistema no es escalable: no puede crecer al menos que se asignen más frecuencias.

Al pasar de un sistema unicolor a otro multicelular, las celdas contiguas deben utilizar frecuencias diferentes o de lo contrario se presentará interferencia. El operador puede repartir las frecuencias asignando frecuencias diferentes a cada celda del sistema, pero ésta no es una solución práctica pues el número de usuarios concurrentes en cada celda será inversamente proporcional al número de celdas en la red.

La clave del sistema celular es el concepto de reutilización de frecuencias. Conociendo la restricción que en las celdas contiguas se deben utilizar frecuencias diferentes, ¿cómo se deberán distribuir las frecuencias en las celdas para poder reutilizarlas? Para visualizar el problema la geometría del panal con hexágonos es ideal. La solución está en agrupar las celdas de forma tal que las frecuencias no se interfieran.

En la Fig. 2.7 (a) observamos que al hacer un grupo con tres celdas, cada una con frecuencias distintas, supongamos A, B y C, se puede replicar el grupo en toda la red y no se presentan dos celdas contiguas con las mismas frecuencias. El grupo se denomina un “cluster” y se dice que el cluster es de tres celdas ($n = 3$, donde n representa el número de celdas en el cluster).

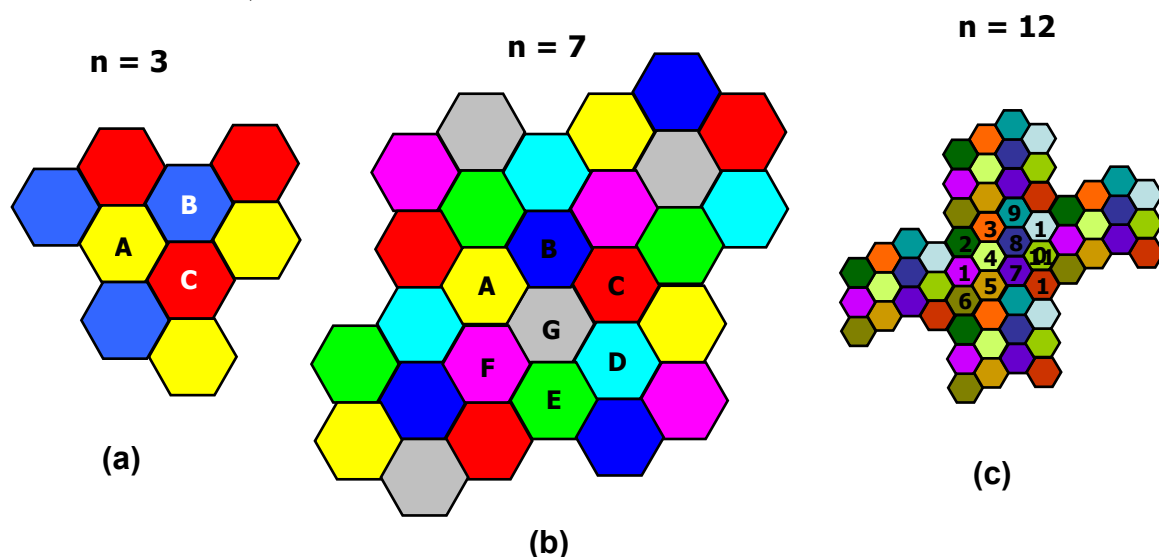


Fig. 2.7 – Reutilización de frecuencias utilizando clusters

En un cluster de 3, celdas que utilicen las mismas frecuencias están separadas por una celda con frecuencias diferentes. Con un cluster de 7, la distancia entre dos celdas que

utilicen las mismas frecuencias es el equivalente a dos celdas, como se puede observar en la *Fig. 2.7 (b)*. Para el cluster de 12, la separación entre celdas con las mismas frecuencias es de tres celdas, y así sucesivamente. Lógicamente entre mayor sea el número de celdas en el cluster es menor el número de frecuencias disponibles para los usuarios en cada celda. Por ejemplo, si el operador tiene asignados 395 canales para prestar el servicio, con un cluster de 3 puede atender 131 usuarios simultáneos en una celda del cluster y 132 en las otras dos celdas. Pero si aumenta el cluster a 7, solo podrá atender a 56 usuarios por celda, aproximadamente, o 32 si el cluster es de 12. Son pocos usuarios por celda, pero es evidente que el sistema es escalable, según la demanda de servicio.

Sin embargo, el número de canales dentro de una celda o un sector de una celda pueden variar bastante, dependiendo de muchos factores y no tienen que ser iguales en todas las celdas del *cluster*.

Movilidad [5]

La característica que distingue la telefonía móvil de otras aplicaciones inalámbricas es el requerimiento que la unidad móvil cambie el transceptor con el cual está conversando dinámicamente. En la comunicación inalámbrica fija hay dos transceptores que establecen una comunicación y no cambian durante todo el evento. En la telefonía móvil, el transceptor móvil debe cambiar repetidamente entre los transceptores localizados en celdas diferentes, con los cuales se comunica mientras se mueve. Esta operación es compleja y requiere gran capacidad de procesamiento y sincronización.

Handoff

Es el proceso de transferir una llamada activa de una celda a otra, siendo diferentes las frecuencias utilizadas en las dos celdas. El *handoff* es central para la movilidad que requiere el sistema. Idealmente, el proceso debe realizarse en forma totalmente transparente para el usuario, pero es complejo y requiere la tecnología apropiada.

Hay varios tipos de *handoff*: en un extremo está el caso donde el móvil simplemente corta la llamada al cambiar de celda y efectúa otra llamada a la estación base de la nueva celda. El problema con este procedimiento es que se interrumpe la llamada y el retardo puede ser largo. Este tipo de *handoff* ya no ocurre en los sistemas de telefonía móvil modernos. El más común es el *hard handoff* (o transferencia brusca), en el cual el móvil interrumpe la comunicación con la estación base antes de conectarse a la siguiente. La dificultad radica en que el transceptor móvil sólo puede escuchar o hablar por una frecuencia y debe cambiar de frecuencias al pasar a otra celda.

Otro tipo es el *soft handoff* (o transferencia suave), en el cual el dispositivo móvil asegura que el enlace exista en la nueva celda antes de deshacer el actual. Es un proceso muy confiable pero no es factible en la mayoría de los sistemas actuales por la tecnología que utilizan. Requiere la conexión simultánea con dos bases diferentes y, por lo general, el móvil sólo puede sintonizar una frecuencia a la vez.

Control del nivel de potencia

Fundamental para la telefonía móvil es el control del nivel de potencia en los transceptores. En la práctica la señal del transceptor móvil la pueden detectar varias estaciones base, es decir, los transceptores fijos de las celdas. No es como sugiere el modelo de celdas, que un móvil lo detecta solamente la estación base de la celda en la cual se encuentra.

Todas las estaciones base que detectan la señal del móvil reciben diferentes niveles de potencia. El sistema debe proveer la capacidad para comparar los niveles de potencia recibidos por los diferentes transceptores. La estación que detecta la mayor potencia indica la celda donde se localiza el móvil.

2.4 Componentes y características del sistema

Resumiendo, los componentes básicos de un sistema de telefonía móvil se muestran en la Fig. 2.5 (o 2.10), y son:

- Una **red** extensa de pequeñas áreas geográficas denominadas celdas o células, cada una de las cuales contiene una **estación base** transmisora/receptora (*base station*) de baja potencia para prestar el servicio de comunicación a los dispositivos móviles dentro de la celda.
- Una oficina central de conmutación o **MTSO** (*Mobile Telephone Switching Office*) que controla el tráfico de las celdas, coordina la actividad de las estaciones base y los móviles y provee la accesibilidad dentro de la red y a otras redes.
- Usuarios, suscriptores del servicio, que utilizan dispositivos transceptores móviles (teléfonos celulares) para la comunicación.

La celda y sectores

Veamos la Fig. 2.8. Es común considerar las celdas como los hexágonos azules, definidos por una estación base o torre transceptor, con las antenas dirigidas en la dirección indicada por las flechas. Realmente, la celda es el hexágono rojo, con las torres en los vértices.

La mayoría de las celdas se han dividido en sectores para hacerlas más eficientes y aumentar la densidad de usuarios (atender más llamadas). Las antenas transmiten hacia el centro de la celda (ver diagrama), cubriendo un sector de cada celda. En el diagrama de la Fig. 2.8, la celda está compuesta por tres sectores, de forma romboide, y está cubierta por tres antenas. En la práctica se pueden tener desde dos sectores hasta seis, pero lo más frecuente es tres sectores por celda. Una antena típica se muestra en la Fig. 2.9. Esta torre

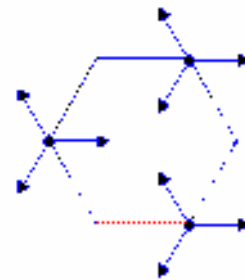


Fig. 2.8 – Celda, antenas y sectores



Fig. 2.9– Antena para tres sectores

puede atender tres sectores; en cada brazo hay una antena para transmitir la señal de voz, otra para el “*setup*” o canal de control y dos antenas para recibir. Para ilustrar el concepto de las celdas, es irrelevante si las celdas son los hexágonos azules con la estación base en el centro, o el hexágono rojo con antenas en los vértices (Fig. 2.8). La importancia de la sectorización de las celdas es que permite más control sobre los problemas de interferencia. Al transmitir hacia el centro de la celda, y no en todas las direcciones como con una antena omnidireccional, se puede mejorar la reutilización de frecuencias. En todo caso, las antenas de la estación base transmiten a baja potencia para reducir los problemas de interferencia.

Además de las antenas, la estación base contiene toda la electrónica necesaria para actuar como transmisor y receptor (o transceptor).

En la red todas las estaciones base se conectan a una oficina central de conmutación o *Mobile Telephone Switching Office* (MTSO). La MTSO coordina las estaciones base y los móviles para proveer las siguientes funciones básicas:

- Comunicación de móvil a móvil, *full-duplex*.
- Comunicación de móvil al sistema público de telefonía fija o PTSN
- Contabilización del uso del servicio por los usuarios (para posterior facturación).

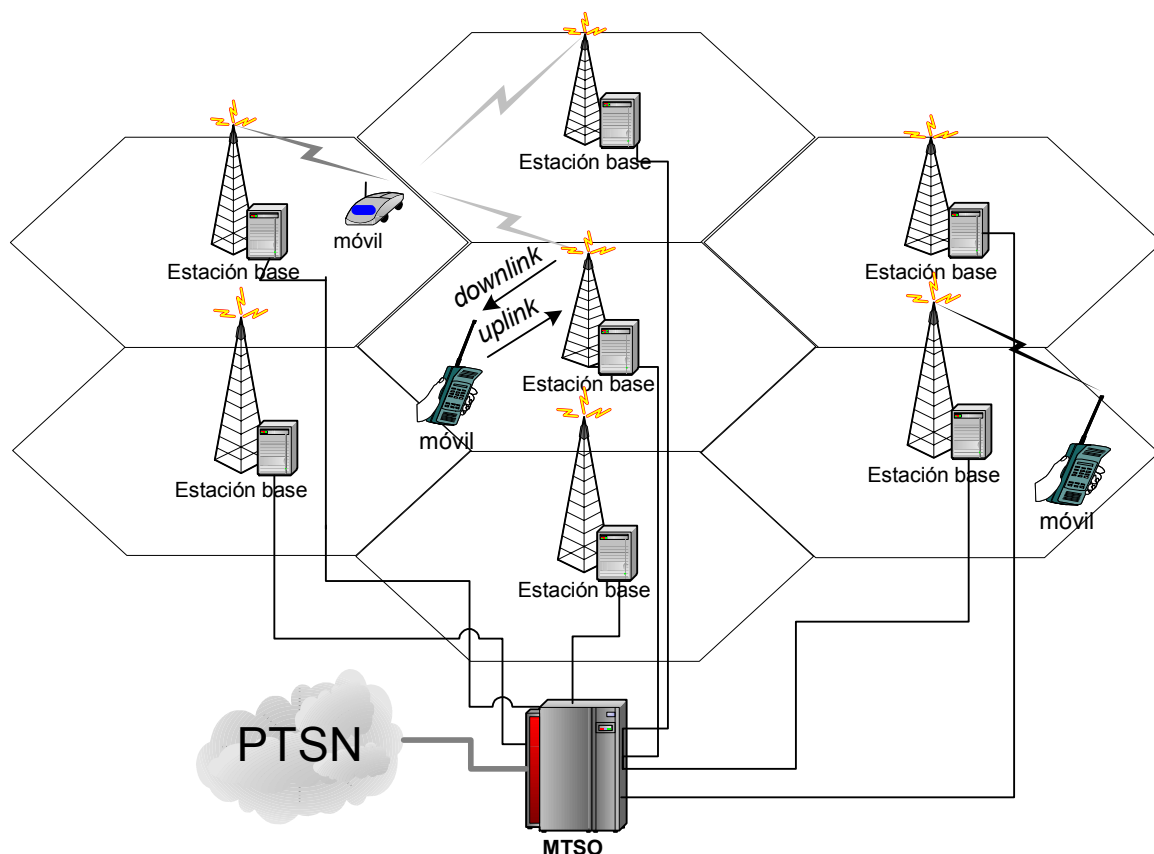


Fig 2.10 – Componentes del sistema

Todas las llamadas se enrutan y se coordinan por la MTSO; como se observa en la *Fig. 2.10*, todas las estaciones base y la PTSN se conectan a la oficina central de conmutación por algún medio conveniente de banda ancha.

Recapitulando, las características más destacadas de los sistemas de telefonía móvil son las siguientes:

- **Movilidad:** tránsito libre de los móviles dentro de la celda y por diferentes celdas, con mecanismos para transferir el control de las comunicaciones de una celda a otra y desplazarse a velocidades normales de los medios de transporte.
- **Accesibilidad:** comunicación entre móviles (del mismo operador o de otros operadores) y con la red telefónica fija.
- **Escalabilidad** del sistema para atender crecimiento en cobertura, número de abonados y facilidad para adicionar capacidad. por demanda ocasional.

2.5 Los primeros sistemas

Alrededor de 1975, la NTT probó el primer sistema celular en Tokyo, utilizando equipos fabricados todos en el Japón. En Suecia, entre 1977 y 1978 la NMT realizó pruebas con un sistema celular en Estocolmo, el primero de Europa. En mayo de 1978 Batelco (*Bahrain Telephone Company*) inició operaciones con el primer sistema de telefonía móvil comercial en Bahrein, en el golfo pérsico. Era “un sistema sencillo de dos celdas, con 250 suscriptores, operando 20 canales en la banda de 400 MHz y utilizaba equipo Matsushita de Panasonic” [6]

Entre 1979 y 1981 se instalaron sistemas de telefonía celular en Tokio, Ciudad de Méjico y Arabia Saudita. Entre octubre de 1981 y marzo de 1982 la NMT sueca instaló la primera red multinacional en Suecia, Noruega, Dinamarca y Finlandia. La NMT450 tenía 600 celdas, operaba en la banda de 450 MHz, utilizaba tres conmutadores Ericsson y ofrecía *roaming* o transferencia de llamadas entre los conmutadores (MTSO). Era en ese entonces el sistema celular más avanzado del mundo.

En 1985 la Gran Bretaña inició el servicio de *Total Access Communications System* o TACS en la banda de 900 MHz. Poco después siguió Alemania Occidental con C-Netz, Francia con Radiocom 2000 e Italia con RTMI/RMTS, cubriendo así buena parte de la Europa Occidental con sistemas de telefonía móvil. Estos sistemas eran todos analógicos, los móviles se instalaban en vehículos y no eran compatibles entre sí.

El 12 de octubre de 1983 inició el servicio en Chicago, Illinois, el primer sistema de telefonía móvil en los Estados Unidos. Se llamó *American Mobile Phone Service*, o AMPS (después se le cambió el nombre a *Advanced Mobile Phone Service*). En el mismo año Motorola anunció el Dyna-Tac, el primer teléfono celular manual para uso personal. En los tres años siguientes AMPS y Dyna-Tac estaban operando en 90 redes en los Estados Unidos. El sistema eventualmente se expandió por todos los Estados Unidos, América del Sur, Corea del Sur, China y Australia.

2.6 AMPS

AMPS es el sistema celular analógico desarrollado por Bell Systems (AT&T) en 1983, que ha servido como el estándar (EIA/TIA-553) para la industria de telefonía móvil en los Estados Unidos. Está diseñado para telefonía móvil y específicamente comunicaciones de voz, por lo cual la capacidad para transmitir datos es reducida; sin embargo el sistema es funcionalmente completo y se ha instalado con éxito en las Américas, Asia y Australia. Este sistema, y otros de tecnología semejante, constituyen la primera generación de telefonía celular, o **1G**. La tabla de la *Fig. 2.11* muestra las características de los principales sistemas celulares analógicos en el mundo.

Sistema	Frecuencias (MHz)		Espectro por canal	Tamaño del canal	Capacidad de datos	Utilizado en ...
	Downlink	Uplink				
AMPS	869-894	824-849	24 kHz	30 kHz	9.6 kbps	Norte y Sur América, Corea del Sur, China, Australia
C-Netz	461-466	451-456	8 kHz	20 kHz	5.3 kbps	Alemania Occidental
J-TACS	925-940	870-885	10 kHz	25 kHz	0.3 kbps	Japón
NMT	463-467.5 935-960	453-457.5 890-915	9.4 kHz	25 kHz	1.2 kbps	Suecia, Noruega, Dinamarca, Finlandia, Asia
TACS	935-950 917-033	890-905 872-888	19 kHz	25 kHz	8.0 kbps	Gran Bretaña, Asia

Fig. 2.11 Los principales sistemas celulares analógicos [4]

La tabla anterior muestra las diferencias entre los diversos sistemas analógicos; aparte de estas, el funcionamiento de todos estos sistemas es muy similar.

Características

AMPS permite la conversación en dos vías, en forma simultánea, o *full-duplex*. Para ello, cada canal de voz tiene asignado un par de frecuencias (o *paired spectrum*) que el móvil y la estación base utilizan para la comunicación (véase la *Fig. 2.10*). El enlace utilizado para comunicar la estación base con el teléfono móvil se denomina **enlace descendente** (*forward link* o *downlink*); para la comunicación entre el móvil y la estación base se usa el **enlace ascendente** (*reverse link* o *uplink*). Los dos enlaces o frecuencias constituyen el canal (doble).

Resumiendo: es importante tener en cuenta que los móviles y las estaciones base se comunican por pares de frecuencias dedicadas que se denominan canales. Las estaciones usan una frecuencia del canal y los móviles la otra. Estas frecuencias están separadas por un segmento de banda (llamado el *offset*) para evitar la interferencia.

AMPS es un sistema analógico pero también puede transmitir información digital, utilizando modulación FSK (véase Capítulo I). Como indica la tabla anterior, la tasa de transferencia de datos es 9.6 kbps.

Frecuencias

Para instalar AMPS se requiere un espacio en el espectro de 50 MHz. El gobierno u organismo regulador asigna dos bandas de 25 MHz, separadas por un espacio de 20 MHz⁷. La primera banda comprende de 824 a 849 MHz⁸ y se utiliza para el enlace ascendente; 20 MHz más adelante se asigna la banda para el enlace descendente, de 869 a 894 MHz. Cada banda se divide en canales de 30 kHz, resultando en 832 canales, cada uno con un par de frecuencias, separadas por 45 MHz. La Fig. 2.12 muestra el esquema de asignación de frecuencias. El número grande de frecuencias asignadas y el tamaño amplio del canal se requieren para atender el número considerable de usuarios que puede llegar a tener una red celular y también proveer buena calidad de voz en las comunicaciones.

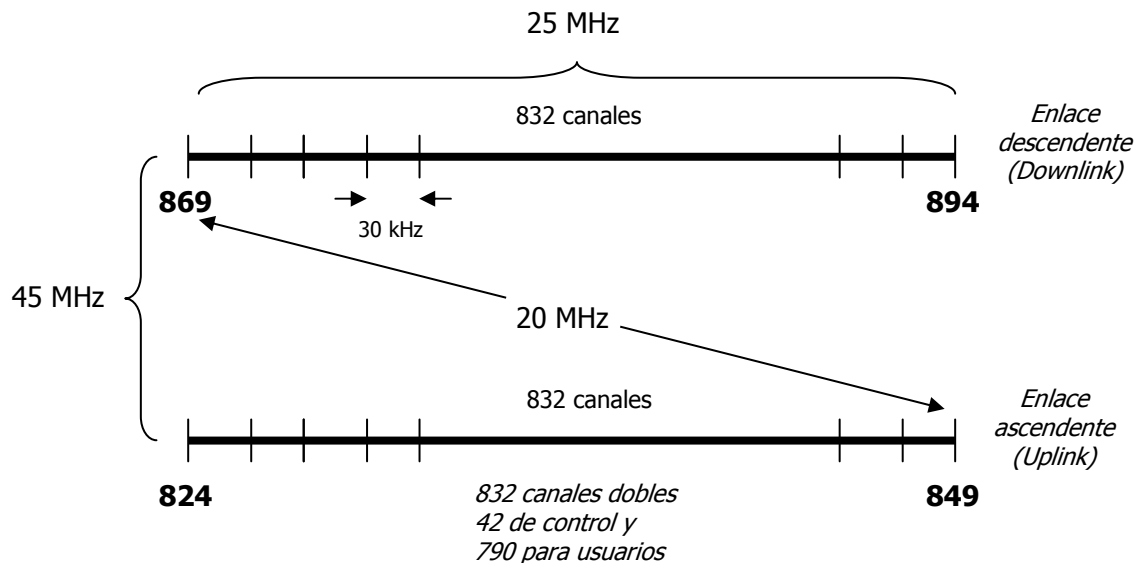


Fig. 2.12 Asignación de frecuencias para AMPS

El espectro efectivo por canal es de 24 kHz para permitir un espacio entre canales. De los 832 canales se utilizan 790 para voz (usuarios) y 42 para información de control (red). Usualmente se reparte el espectro entre dos operadores, lo cual significa que cada operador dispone de una capacidad máxima para atender 395 llamadas simultáneas.

Los canales de control sólo transportan datos del sistema celular. Por lo general el primer canal en cada celda es un canal de control. Su principal función es habilitar la llamada

⁷ La banda de 20 MHz entre los dos bloques de 25 MHz asignados a los canales de AMPS, en los Estados Unidos la FCC los tiene separados para redes de radioteléfono privadas, seguridad social y otros servicios.

⁸ Más exactamente, las frecuencias son de 824.04 a 848.97 MHz para el teléfono móvil y de 869.04 a 893.97 MHz para las estaciones base. Los números se redondean para simplificar la explicación.

(*call setup*). Los canales de voz son los pares de frecuencias que transmiten el tráfico de la llamada: ya sea voz o datos, o señalización sobre la misma llamada.

Clusters

Ninguna celda puede transmitir/recibir en todos los 395 canales, al menos que sea la única o esté aislada. En el sistema celular el operador debe asignar las frecuencias a cada celda de tal manera que ninguna celda contigua utilice las mismas frecuencias para evitar la interferencia. Esto se logra utilizando *clusters* con un determinado número de celdas. Un *cluster* de 3 permite usar hasta 131 canales dobles de voz por celda, pero por diversos fenómenos relacionados con la transmisión inalámbrica se pueden presentar interferencias. Se mejora la transmisión con un *cluster* de 7, pero entonces el número de usuarios concurrentes en cada celda del cluster es 56 y ésta configuración es la más corriente. *Clusters* de 12 celdas sólo permiten 32 usuarios simultáneos por celda, pero la interferencia es mínima. Utilizando *clusters* se cubre toda el área de servicio reutilizando las 395 frecuencias asignadas, cuantas veces sea necesario.

Acceso múltiple al medio

En la telefonía móvil el medio es el espectro electromagnético asignado que es compartido por todos los usuarios del sistema. Para utilizar el medio y realizar la comunicación se utiliza el esquema de distribución de canales arriba descrito. El método utilizado es acceso múltiple por división de frecuencias, o FDMA (*Frequency Division Multiple Access*). El principal inconveniente de FDMA es que frecuencias contiguas se interfieren, por lo cual es necesario separarlas desaprovechando segmentos del espectro, como lo indica la Fig. 2.13. FDMA se utiliza fundamentalmente en sistemas analógicos y como en todos los sistemas inalámbricos las señales son analógicas es el método básico para acceder la medio en la telefonía móvil.

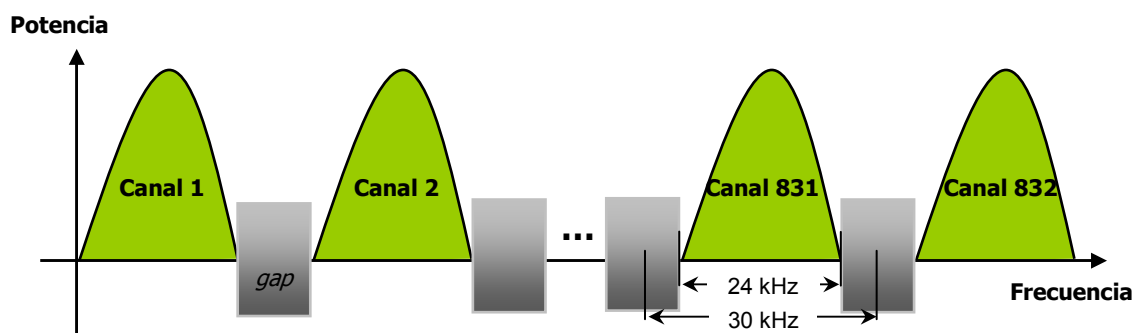


Fig. 2.13 Utilización del espectro con FDMA

Funcionamiento

Identificación de los móviles

El sistema de telefonía móvil AMPS utiliza tres códigos específicos:

- El código de identificación del sistema o SID (*System ID Code*) para identificar al operador. Este es un código único de 5 dígitos, asignado por el operador.

- El número de identificación del móvil o MIN (*Mobile Identification Number*) para identificar al suscriptor (o abonado). Es un número de 10 dígitos, derivado del número telefónico asignado al suscriptor; no incluye el código del país.
- El número serial del aparato o ESN (*Electronic Serial Number*) para identificar el dispositivo móvil. Es un número de serie de 32 bits programado en el teléfono por el fabricante (en ROM). Es permanente y propio del aparato. Este número sólo se transmite por el enlace ascendente de control (*reverse link*). Una persona monitoreando números seriales sólo tiene que escuchar en una de las 21 frecuencias de control; no es necesario escuchar en toda la banda.

Cuando se contrata el servicio y se activa el teléfono celular, los dos números MIN y SID se programan en el aparato por un representante o agente del operador.

Funcionamiento del sistema

Registro

- La función de “registro” comienza cuando se enciende el teléfono móvil [*on*]. El proceso solo dura unos cientos de milisegundos y es un proceso que se realiza continuamente, cuando el móvil cambia de celda, o cada 10 o 15 minutos, o antes de hacer una llamada.
- El dispositivo escucha por un canal de control buscando detectar el SID (código del operador). Si el móvil no detecta el canal de control sabe que está fuera del alcance de cualquier estación base y muestra un mensaje “fuera de servicio” o algo similar.
- Cuando el móvil detecta el SID, lo compara con el registrado y si coincide sabe que la celda en la que se encuentra es parte del territorio de su operador. De lo contrario sabe que está en una celda de otro operador, *roaming*.
- También el móvil ha transmitido, por el canal de control, una “solicitud de registro” que incluye, entre otros datos, el MIN, el ESN y el SID para la MTSO que la recibe por intermedio de la estación base y la registra en su base de datos. Esto le permite ubicar el móvil cuando sea necesario. De esta manera, la central telefónica móvil siempre conoce la localización de todos los móviles, activados y en funcionamiento, de la red.
- El móvil se encuentra listo para recibir llamadas pues el sistema lo tiene identificado y localizado.

Recibiendo una llamada

- La central telefónica móvil recibe una llamada para un teléfono móvil. La MTSO localiza el móvil en su base de datos y la celda en la que se encuentra.
- La MTSO busca un canal de voz (par de frecuencias) disponible en la celda y lo asigna para pasar la llamada. Si no hay canales disponibles en la celda, envía un tono de ocupado al teléfono que está haciendo la llamada.
- La MTSO informa, por el canal de control (*call setup*), a la estación base y al teléfono móvil que va a recibir la llamada, el canal de voz que deben utilizar. Cuando la estación base y el teléfono celular se sintonizan en el canal, la MTSO

- conecta la llamada y los usuarios pueden comunicarse. La MTSO inicia el contador de tiempo para facturar el servicio.
- Una vez asignado el canal de voz por la MTSO, las dos frecuencias del canal transmiten también la señalización requerida para administrar la llamada.
 - Terminada o interrumpida la llamada se libera el canal de voz y la estación base informa a la MTSO. La MTSO detiene el contador de tiempo y genera el registro de tiempo utilizado en la llamada para la facturación.

Resumiendo, se utilizan dos canales por cada llamada, que involucran 4 frecuencias. Un canal de control con enlace ascendente (del móvil a la estación base) y enlace descendente (de la estación base al móvil); un canal de voz con enlace ascendente y enlace descendente.

Cambio de celda

- Cuando el usuario se aproxima a un extremo de la celda, su estación detecta que la intensidad de la señal disminuye.
- Al mismo tiempo las estaciones de las otras celdas están escuchando en todas las frecuencias y la MTSO detecta que la intensidad de la señal del usuario está aumentando hacia una estación en particular.
- La MTSO coordina las dos estaciones y en el momento preciso el celular recibe una instrucción por el canal de control que le ordena cambiar de frecuencias, para continuar la conversación por otro canal de voz. La llamada se transfiere a la estación base de la otra celda.

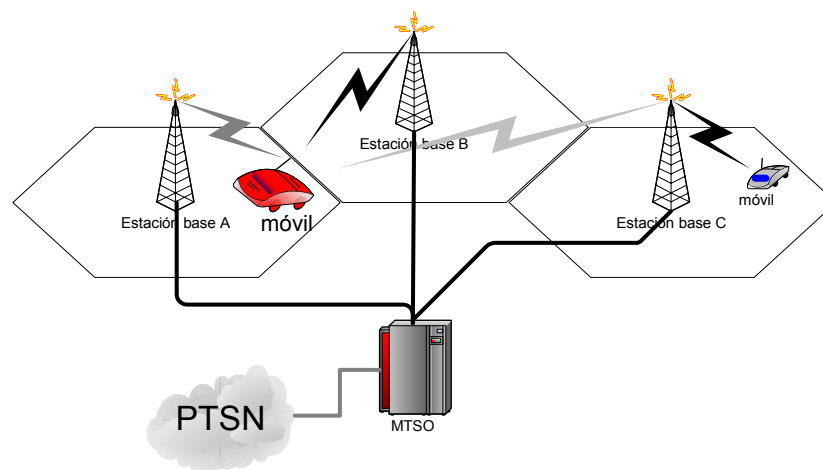


Fig 2.14 Handoff

Handoff

La transferencia de una llamada activa, de una celda a otra se denomina *handoff*. Este proceso es complejo y requiere el monitoreo continuo de la intensidad de la señal desde varias estaciones base y la coordinación del uso de los canales de voz con el móvil y dos estaciones base para, en el momento preciso, cambiar los canales y mantener la llamada activa. Los sistemas analógicos como AMPS no pueden conmutar un móvil que viaje a más de 100 kph.

Como ya hemos visto, hay varias formas hacer el *handoff*. La más sencilla es no hacerlo; simplemente el móvil cancela la llamada y efectúa otra cuando se sale de la celda. Esta opción no es conveniente porque el retardo puede ser alto.

Otra manera es hacer el cambio abruptamente, o *hard handoff*. En este caso el móvil interrumpe la conexión con la estación base antes de conectarse a la siguiente por otro canal, sin cancelar la llamada. Usando FDMA el móvil no puede conversar por un canal de voz con dos estaciones base simultáneamente, por consiguiente este es el método aplicado en sistemas analógicos.

La manera más conveniente es cambiar suavemente, o con un *soft handoff*. Aquí se asegura que el enlace esté habilitado con la estación base de la nueva celda antes de deshacer el enlace actual. Es transparente para el usuario, pero no es factible en sistemas de primera generación porque requiere la conexión simultánea con dos estaciones base diferentes y el móvil sólo puede sintonizar un canal a la vez.

Roaming

Cuando un móvil hace una llamada a un móvil de otro operador, o estando comunicado se desplaza fuera del territorio de su operador y entra a una celda de otro operador sin interrupción del servicio, ocurre *roaming*. Además de los aspectos técnicos similares a los del *handoff*, se requieren acuerdos de interconexión y tarificación entre los operadores. El procedimiento es como sigue:

- Cuando el SID recibido por el canal de control no coincide con el SID del teléfono móvil, el aparato y la estación base saben que se está haciendo *roaming*
- La estación base de la celda a la que está entrando el móvil contacta al MTSO del sistema base para confirmar la validez del SID detectado
- El MTSO base confirma el número de identificación del móvil (MIN) al nuevo MTSO que ahora controla la operación mientras el móvil se desplaza por sus celdas.

Originando una llamada

En el proceso de hacer una llamada se siguen varios de los pasos necesarios para recibir llamadas. El proceso básico es el siguiente:

- El usuario digita el número telefónico y oprime el botón de “enviar” (*send*).
- El móvil transmite el número del teléfono, con una solicitud de servicio y toda la información necesaria para registrarse con la estación base. Esta información se transmite por el canal ascendente de control con señal más fuerte (el móvil selecciona el canal de control por la señal más intensa)
- La MTSO verifica esta información y asigna un canal de voz para la comunicación. Le informa el canal asignado al móvil por medio de la estación base y el enlace descendente del canal de control.

- La estación base activa el canal de voz y transmite un SAT⁹ (*Supervisory Audio Tone*).
- El móvil la registra y la retransmite a la estación base. La MTSO detecta la confirmación y envía un mensaje al móvil que puede ser una señal de ocupado, de timbre, u otro tono que haya recibido el conmutador.

Sin embargo para originar una llamada se utilizan más recursos y se presentan otras dificultades que no se encuentran al recibir llamadas. El problema está en que iniciar una llamada presenta riesgos de fraude tanto para el usuario como para el operador, especialmente si el móvil se encuentra fuera del territorio de su operador (*roaming*).

Las llamadas recibidas (de entrada) no presentan riesgos para el operador pues alguien en el otro extremo está pagando por ellas, pero el operador es responsable por el costo de llamadas fraudulentas que se originan en su territorio. Muchos sistemas cancelan el *roaming* en ciertas áreas o interceptan la llamada si no están seguros de su origen para evitar el riesgo. Por ejemplo, la operadora puede solicitar un número de tarjeta de crédito a quien origina la llamada, antes de autorizarla. ¿Cuáles son los riesgos en ésta operación?

Validación previa de llamadas

Al registrarse para hacer una llamada, la MTSO verifica que la combinación ESN/MIN sea válida. El usuario no se autoriza al menos que el número del teléfono (de la línea) corresponda al número de serie del aparato móvil. La MTSO verifica su propia base de datos, pero si el aparato es de otro operador, debe buscar en bases de datos externas y ahí es donde está parte del riesgo, además que tiene un costo. Por tal razón puede ser más conveniente para el operador negar el servicio de *roaming*.

La otra parte del riesgo está en la clonación. En sistemas AMPS la clonación de los celulares era común en los años 90, especialmente con unos modelos de Motorola.

Clonación del teléfono móvil

El propósito de clonar un teléfono es hacer llamadas fraudulentas desde el aparato clonado, donde la factura le llega al suscriptor original. Se usa especialmente para llamadas de larga distancia, que siempre implican una operación de *roaming*.

La clonación de un teléfono móvil consiste en copiar la identidad de un aparato telefónico a otro. La identidad del teléfono está en el número de serie ESN y el número de identificación MIN. Se modifica o se cambia el EPROM del dispositivo móvil por uno nuevo que permita configurar el ESN por software. El MIN se puede modificar por el teclado del teléfono, en modo programación. Una vez cambiados los códigos ESN y MIN, el aparato modificado es en efecto un gemelo idéntico (*clone*) del otro teléfono.

⁹ Un tono inaudible de alta frecuencia que permite al sistema distinguir entre llamadas, por el mismo canal, pero en diferentes celdas.

Esta operación requiere acceso a números ESN y MIN válidos, que los delincuentes los obtienen por diversos medios: escuchando (*sniffing*) en las redes celulares, o en forma fraudulenta de las compañías de celulares o representantes de venta.

Transmisión de datos – CDPD

AMPS y en general los sistemas 1G de telefonía móvil son fundamentalmente sistemas para comunicación analógica de voz y la transmisión de datos es deficiente. Se desarrolló una tecnología para transmitir datos que utiliza las frecuencias de estos sistemas celulares denominada CDPD, o *Cellular Digital Packet Data*. CDPD utiliza canales de voz libres para transmitir paquetes de datos, con tasas de transferencia hasta 19.2 kbps, *setup* rápida de la comunicación y mejor corrección de errores que utilizando módems o el canal de voz analógico con modulación FSK.

Desde 1995, CDPD fue una de las principales tecnologías inalámbricas de área extensa, o WWAN (*Wireless Wide Area Network*), utilizada para transmitir datos por el sistema de telefonía celular compatible con TCP/IP y acceso a Internet. Opera como un servicio independiente (prestado por otra compañía diferente del operador del sistema celular) que se ofrece a los usuarios de telefonía celular con necesidad de transmisión de datos.

Su oferta de servicios fue muy limitada y no logró penetración importante en el mercado antes que tecnologías más rápidas, modernas y más difundidas como GSM y GPRS se volvieran dominantes. Actualmente el servicio ya no se ofrece en los Estados Unidos.

Limitaciones de AMPS

AMPS es un sistema representativo de la primera generación. Estos sistemas sentaron las bases para los sistemas modernos de telefonía móvil. La tecnología ha evolucionado, mejorando las limitaciones que presentaban los primeros sistemas analógicos y atendiendo la demanda por servicios, de unos usuarios más exigentes.

Algunas de las limitaciones de AMPS se relacionan a continuación:

- Espectro limitado
- No hay espacio para aumentar la banda de frecuencias.

Estas limitaciones son externas al sistema y se deben al espectro asignado por el ente regulador. Las siguientes limitaciones resultan de la naturaleza analógica del sistema:

- Baja capacidad de llamadas. Está limitada por el método de acceso múltiple por división de frecuencias, FDMA; como se explicó anteriormente, hay desaprovechamiento del espectro y un canal de voz solo se puede utilizar para una llamada, por un móvil, en un momento dado.
- Es deficiente para la comunicación de datos. El sistema está diseñado para comunicación analógica de voz y no provee mecanismos adecuados para transmisión de datos.

- La privacidad es mínima. Es un sistema de radio y como tal es fácil detectar, escuchar y grabar las conversaciones de los teléfonos celulares. La seguridad es inadecuada.

Por otro lado, la calidad de voz es muy buena, comparada con algunos sistemas más modernos.

AMPS ha sido reemplazado en su mayoría por sistemas de segunda generación, pero todavía está activo en algunas partes, actuando como respaldo (*backup*) de sistemas más modernos, o como sistema primario en muchas áreas rurales.

Las empresas que tienen licencias para proveer AMPS en los Estados Unidos deben ofrecer el servicio por lo menos hasta el primero de marzo de 2008.

En Europa, el servicio de TACS (versión europea de AMPS) se discontinuó el 31 de mayo de 2001. Este sistema y NMT fueron reemplazados, casi en su totalidad por GSM.

En el siguiente capítulo estudiaremos la siguiente generación de telefonía móvil, liderada por el sistema europeo, GSM.

Notas históricas – inventos que revolucionaron las telecomunicaciones

Para el desarrollo de la telefonía móvil fueron necesarias varias innovaciones tecnológicas. Los más notables se describen a continuación.

1. **El transistor.** El primero de julio de 1948, los Laboratorios Bell anunciaron el transistor, un invento de tres científicos del laboratorio, William Shockley, John Bardeen y Walter Brattain. El transistor, compacto, resistente y de bajo costo, revolucionó la industria electrónica y las telecomunicaciones, reemplazando los frágiles y voluminosos tubos de vacío. Sin embargo pasaron 20 años antes de que estos fueran reemplazados totalmente.
2. **El circuito integrado.** Diez años después, en julio de 1958, Jack Kilby de Texas Instruments, inventó el circuito integrado en Dallas, Texas. Una pieza de germanio, de tamaño diminuto, contenía un circuito eléctrico completo, con resistencias, condensadores, diodos y transistores, sin soldaduras y todo elaborado del mismo material; estable, confiable y de muy bajo costo.
3. **El microprocesador.** Trece años después, en noviembre de 1971, Intel anunció el primer microprocesador comercial, el 4004, un computador en miniatura en un bloque de silicio, o *silicon chip*. El original contenía 2,300 transistores y hacía 60,000 operaciones por segundo. Los actuales pueden tener 5.5 millones de transistores y realizar cientos de millones de operaciones por segundo. El microprocesador es un componente esencial de los conmutadores telefónicos y los teléfonos celulares.
