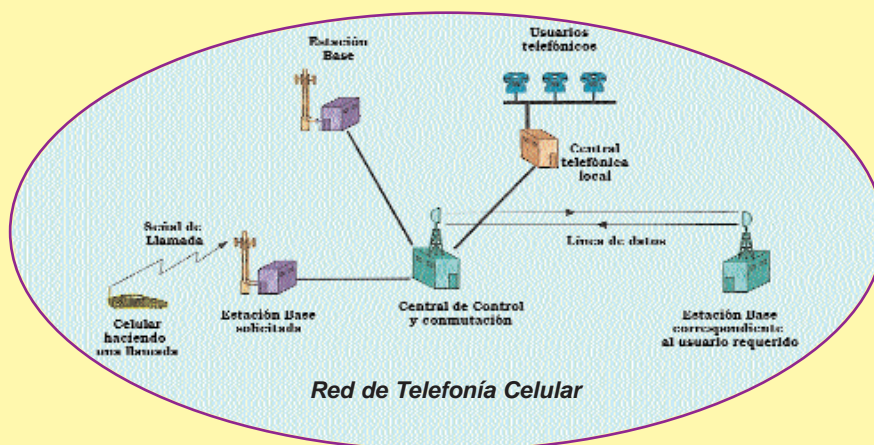


TELEFONIA CELULAR

En la actualidad, es muy común encontrarse con personas que hablan por teléfono desde un aparato celular en el supermercado, en un estadio o caminando por la calle. El sistema que posibilita estas transmisiones se ha popularizado en Argentina hace menos de una década y tiene sus orígenes en el sistema móvil que ya se usaba en los Estados Unidos en 1921. Esta nota es el resultado del estudio de varios artículos publicados en diferentes revistas especializadas y de la bibliografía entregada por las empresas proveedoras del servicio de telefonía celular en nuestro país. Para una mejor comprensión del tema, comenzaremos por analizar el sistema tradicional que derivó en lo que hoy es la red telefónica celular y daremos datos cronológicos sobre el avance de este tipo de comunicaciones.



COMO FUNCIONAN LAS COMUNICACIONES CON LOS TELEFONOS CELULARES

Por: Horacio D. Vallejo

1) Introducción

En la década del 70 comenzó a emplearse el sistema IMTS en los Estados Unidos de Norte América, que permitía la comunicación entre abonados movilizadas a bordo de diferentes automóviles, quienes también podían establecer comunicación entre abonados fijos de la red telefónica convencional (con tendido de cables).

Para una mejor definición **ITMS** significa "Sistema de telefonía móvil mejorado" y es bastante similar al sistema de telefonía celular que hoy es ampliamente utilizado tanto en nuestro país como en el resto del mundo.

Para una mejor comprensión, comenzaremos la explicación con el sistema de telefonía móvil que era empleado hace unos años para establecer comunicaciones entre abonados que poseían sus teléfonos en vehículos.

En el sistema de telefonía fija se necesita un par de "hilos conductores" para conectar el teléfono al sistema.

El patrón IMTS es similar, pero se utiliza un par de canales de radio para interconectar un terminal móvil a una red de telefonía móvil. Este patrón se fue adoptando a las necesidades de la época y en principio tenía las siguientes características:

- se instalaba un transmisor potente en el centro del área a cubrir, figura 1, en un lugar lo más

alto posible para que la señal transmitida superase el ruido ambiental.

- cada canal tenía una potencia irradiada alrededor de 200W, que alcanzaba una distancia de hasta 40 km y un número limitado de canales. La cantidad de abonados por canal estaba entre 25 y 50.

La cuestión es que cada abonado contaba con un canal constante para la transmisión y otro para la recepción. A pesar de esto, el sistema completo estaba formado por algo más de 20 canales y tenía una capacidad máxima del orden de los 1.000 usuarios y servía a los propósitos por un tiempo

Como la potencia de transmisión también es alta, se necesitan equipos especiales. El abonado, mejor dicho, el teléfono móvil tiene su transmisor/receptor alojado dentro del vehículo, que también posee alta potencia en las señales de transmisión, lo que exige equipo relativamente grande. La EBRF recibe la señal proveniente del teléfono móvil, decodifica esa señal y la vuelve a pasar a la central telefónica, así completa la conexión y queda como intermediaria entre los abonados.

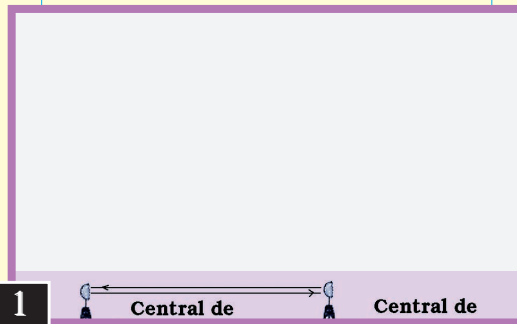
Por otra parte, la potencia elevada en el transmisor del abonado hace que la fuente de radiación sea altamente perjudicial,

porque el teléfono se coloca junto al oído. Al principio las conexiones telefónicas caían con mucha frecuencia con el desplazamiento del abonado de una área hacia otra.

El sistema tiene su área de cobertura directamente relacionada con la potencia irradiada por las antenas y la altura de

la antena fija. En una área con muchos edificios altos, la calidad de la señal queda muy comprometida. Y en una región con pocos edificios altos y topografía sin accidentes, la señal llega con calidad aceptable.

Por lo tanto, es necesario crear una Zona de Seguridad, tal como se muestra en la figura 2, la cual se ubica entre varios sistemas implantados que reutilizan las frecuencias disponibles en la faja. Esto se hace necesario para evitar



po razonable. En este sistema todos los usuarios se comunican con la red telefónica fija o entre sí por intermedio de una Estación Base de radiofrecuencia (EBRF o ERB), que tolera todos los equipos de radio, transmisión y control.

La altura de la torre debe ser considerable, para que la señal alcance la mayor distancia posible y tape los ruidos de fondo que pudieran interferir mientras el usuario recibe la señal.

TELEFONIA CELULAR

interferencias entre las mismas frecuencias de dos sistemas que cubran una misma área.

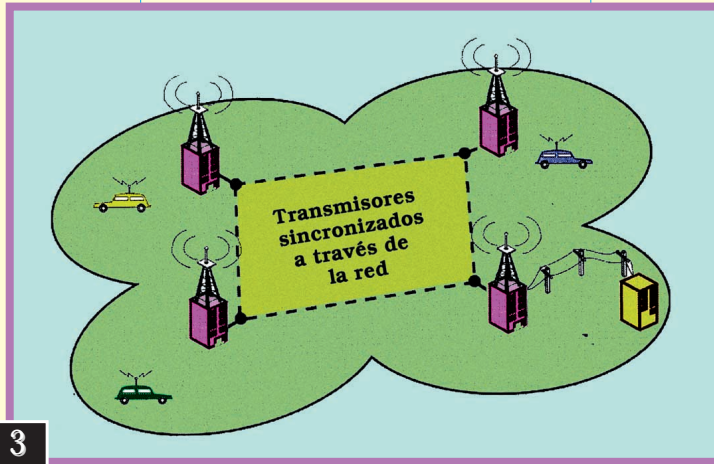
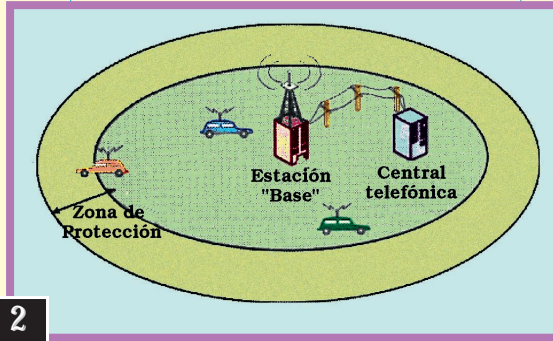
A pesar de las zonas de protección, solían ser muy frecuentes las interferencias de canales entre las Estaciones Móviles (EMs) que estaban muy próximas.

Debe tener en cuenta que a partir de la década del 80 la demanda de este tipo de servicio aumentaba día a día y no había suficiente número de canales disponibles, razón por la cual se comenzó a pensar en diferentes alternativas que derivaron en el sistema celular actual.

Tenga en cuenta que al comienzo en una extensa área de cobertura, se deben instalar varios transmisores para posibilitar el desplazamiento de abonados y aumentar el número de usuarios. Todos esos transmisores deben estar sincronizados para que no haya degradación de señal (vea la figura 3), pero esto no resuelve el problema del número limitado de usuarios en el área de cobertura, con lo cual también resulta limitado el número de quienes sacan beneficios del sistema.

2) Algunas Consideraciones

Si bien el entendido en electrónica posee nociones básicas de telefonía, damos a continuación algunas apreciaciones que nos per-



mitirán abordar el tema objeto de esta nota con mayor comodidad. Como primera medida, daremos un listado "cronológico" sobre cómo se fueron sucediendo los diferentes eventos que hicieron a las comunicaciones por RF:

2.1) Cronología sobre las Comunicaciones por RF

1921 - El Departamento de Policía de Detroit transmite órdenes a los policías mientras conducen los patrulleros.

1932 - La Policía Civil de la ciudad de Nueva York adopta la misma técnica que opera en la banda de onda corta de 2MHz.

1933 - La Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos autoriza la utilización de 4 canales en la banda de 30MHz a

40MHz, en forma experimental.

1945 - La empresa Bell desarrolla osciladores que alcanzan la banda de los 150MHz, frecuencia muy elevada para la época, y propone aplicarla en la telefonía móvil.

1946 - La empresa Bell emprende un servicio comercial de telefonía móvil en la banda de 35MHz y otro en la de 150MHz, este último con intervalo de 60kHz entre canales, con 6 canales de voz liberados para uso comercial.

1947 - Se inaugura un Sistema de Telefonía Móvil a lo largo de la ruta Nueva York-Boston, que opera en la banda de 35MHz a

44MHz. El método empleado era el "Simplex Push-to-Talk" y una telefonista lo auxiliaba, con un procedimiento poco utilizado por el asistente de teléfono común. Además el abonado tenía que conseguir una vía (canal) desocupada, antes de solicitar su llamada. Pese a los inconvenientes presentados, la demanda por este tipo de servicio era muy grande y la poca oferta originaba una larga lista de espera de los que pretendían usarlo. El sistema era sencillo, el abonado debía solicitar un canal a la operadora para que se haga la comunicación. Establecido el contacto, cada abonado podía hablar a su debido tiempo dado que se empleaba una sola portadora, de ahí que cada vez que un abonado terminaba la oración empleaba el término "cambio"

que le indicaba al abonado remoto que podía oprimir su botón del micrófono para empezar a hablar.

1955 - Se crean nuevas técnicas y los circuitos electrónicos ya permiten la incorporación de nuevos canales de transmisión dentro de los ya existentes. Así, de 6 canales originales, se incorporan otros 5 canales, con intervalos de 30kHz entre unos y otros.

1956 - La técnica anterior se aplica en la banda de los 450MHz y el gobierno norteamericano autoriza la creación de 12 canales en ese sistema .

1964 - Se crea una nueva técnica, denominada de MJ, en la que se permite el mejor aprovechamiento del uso de los canales existentes y ya no se utiliza más el Push-to-Talk (tener que apretar un botón para poder hablar), ahora el usuario puede entablar una comunicación sin pausa.

1969 - Extienden la automatización hasta la banda de los 450MHz (MTS o Mobile Telephone Service), bautizado como sistema MK. Estos dos sistemas, el MJ y el MK, fueron los precursores del IMTS (Improved Mobile Telephone System), estandarización adoptada hasta que surge el modelo AMPS.

Presionado por el mercado y, lógicamente, por las empresas operadoras, el gobierno norteamericano pega un salto al vacío y libera la banda de los 75MHz en las operaciones de la telefonía fija, y la banda de los 40MHz en las operaciones de telefonía móvil.

1971 - La Bell acepta el

desafío y presenta un trabajo que demuestra que puede lograrlo.

1974 - La FCC (Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos) reglamenta la operatividad de la banda, con pequeñas alteraciones.

1975 - La empresa Illinois Bell recibe autorización para operar el sistema recién adoptado.

1983 - Nace el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service), con la implementación, en la ciudad de Chicago, del Sistema Celular, completamente diferente a todo lo desarrollado hasta entonces.

2.2) Trunking

Se llama "trunking" un conjunto de varios canales combinados, que ofrece automáticamente la estación móvil de cualquier canal que esté libre, para que origine o reciba llamadas. Con esta técnica se aprovechó mucho mejor el espectro de frecuencias y así aumentó la eficiencia del tráfico telefónico. El sistema funcionó bien en la década del setenta, tras la construcción de sintetizadores de frecuencia que sintonizaban varias frecuencias al mismo tiempo.

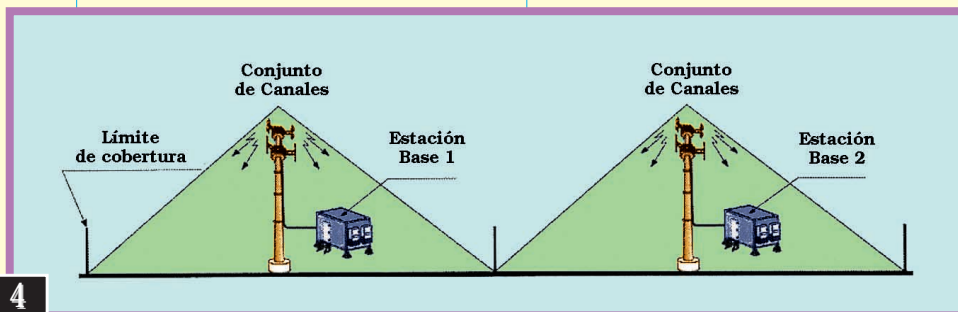
2.3) Sistema Móvil Celular

En enero de 1997, había aproximadamente 150 millones de abonados en telefonía celular en

el mundo y se calcula que para el inicio del próximo siglo habrán unos 500 millones en todo el planeta.

Con el surgimiento de la telefonía móvil celular se amplió considerablemente el número de usuarios, debido al tipo de técnica usada que ha permitido que la telefonía móvil se convierta en un producto de gran consumo. Como consecuencia del avance tecnológico, los aparatos celulares son cada día más pequeños y livianos, al mismo tiempo que mejoran los equipos y rinden más las baterías, son más baratos y tienen más autonomía de uso, sin contar que ofrecen los mismos tipos de servicios que la telefonía fija. Y algo más, se sabe que es mucho más fácil y barato implantar un sistema de telefonía celular que un sistema de telefonía fija tradicional, resulta más rápida y el usuario ve incrementados los beneficios.

La solución para todos los problemas presentados en el sistema móvil convencional residen en la creación estructural de las celdas, que contienen transceptores que operan en potencia baja, en que poseen frecuencias distintas y consiguen capturar la señal de un abonado que esté dentro de su radio de acción. Surgió entonces el SMC (Sistema Móvil Celular), en el que son distribuidas celdas





que contienen, cada una, un equipo de radio transmisor/receptor denominado EBRF (Estación Base de Radiofrecuencia), tal como se observa en la figura 4.

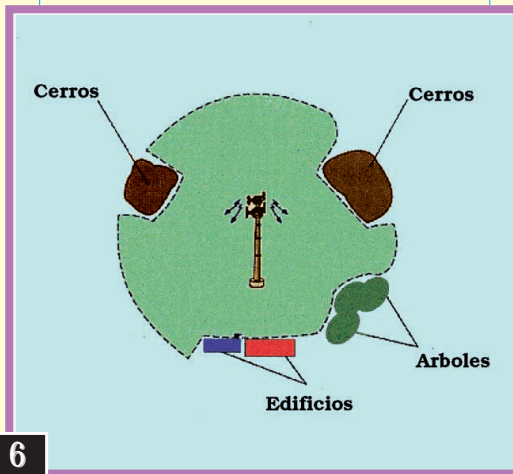
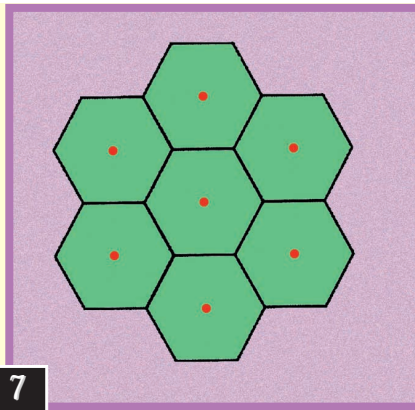
2.4) Celdas

Una celda es una área determinada que recibe la cobertura de una EBRF y que mantiene la calidad de transmisión y recepción dentro de los estándares establecidos por el sistema.

Para entender mejor el tema, imaginemos que el terreno que rodea la antena de la EBRF es todo plano y que no hay obstáculo alguno, el área abarcada por el transmisor será circular (figura 5).

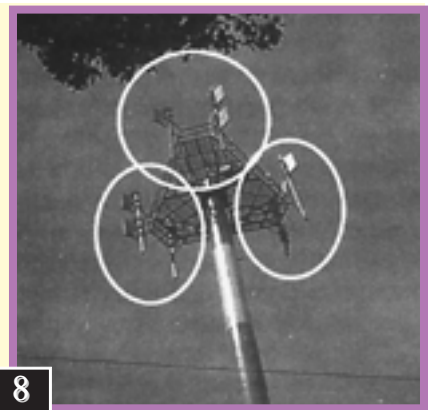
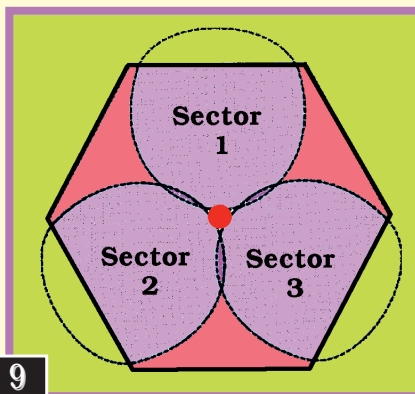
Sin embargo, en la práctica, no es así, porque tenemos edificios, desniveles, árboles, etc. y la situación se presenta diferente. Aparecen regiones donde la EM (Estación Móvil) no consigue captar la señal proveniente de la EBRF, llamadas Regiones de Sombra (figura 6).

Como representación gráfica se adoptó el formato de un hexágono y los hexágonos agrupados uno al lado del otro tal como podemos observar en la figura 7.



Existen celdas sectorizadas. En este tipo de celda, las antenas se montan de tal forma que tengan 3 sectores de actuación, o sea, la torre posee 3 grupos de antenas, cada una cubre 120 grados. En la figura 8 se describe la dirección de cada grupo de antenas.

De esta forma, un grupo de

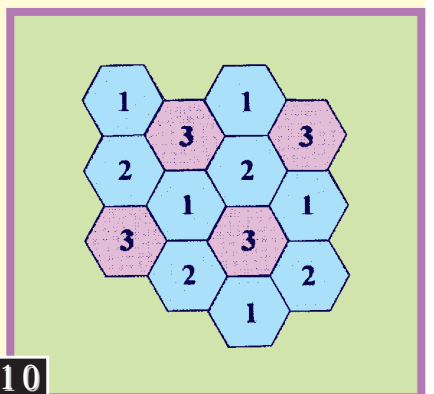


antenas será responsable por el primer grupo de canales, otro lo será por el segundo y el último por el tercer grupo de canales, queda la EBRF como responsable por 3 sectores (figura 9). Pero no siempre funciona de esa forma, puede ocurrir que se quiera cubrir solamente una determinada área, ahí se utilizará, por ejemplo, un solo sector. Para cubrir una ciudad, por ejemplo, se aglomeran varias celdas.

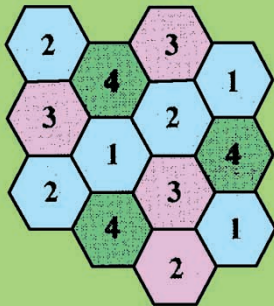
2.5) Cluster

La cantidad total de los canales que la banda de frecuencias requiere se distribuye entre varias celdas.

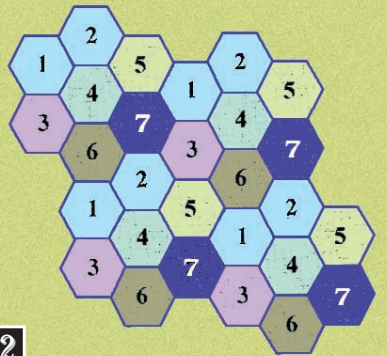
(Continúa en página 73)



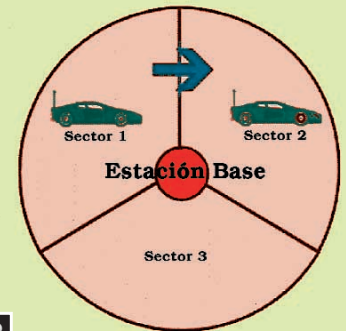
TELEFONIA CELULAR (viene de página 8)



11



12



13

A ese aglomerado de celdas se le da el nombre de cluster, que puede ser de distintos tipos o patrones de reutilización, a saber: $K = 3$ (figura 10), $K = 4$ (figura 11), $K = 7$ (figura 12), etc.

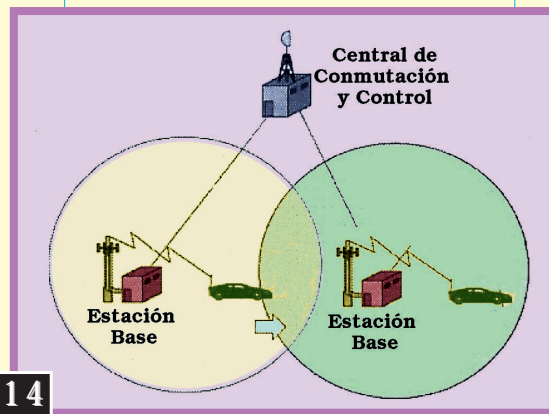
2.6) Hand-off

Término usado cuando el canal de voz de una EM es desviado hacia otro canal, mientras dura el movimiento de esa EM, efecto controlado por la CCC. Esto ocurre en el momento en que hay degradación en la señal enviada por la EM a EBRF, en las siguientes situaciones:

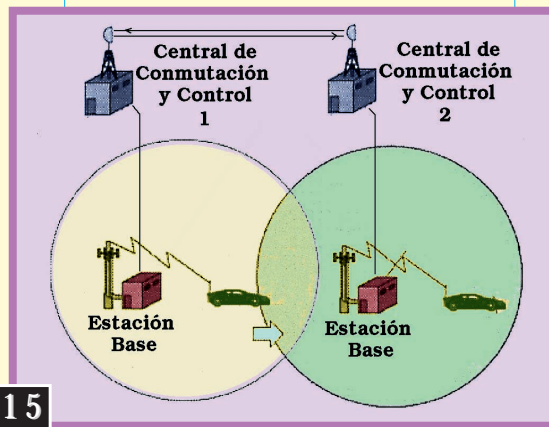
1 - Cuando la EM sale de los límites de la celda/sector, o la señal queda debajo de la CCC, como constantemente está midiendo esa señal, conmuta la EM hacia otro canal perteneciente a la nueva celda/sector, con niveles más altos para la comunicación.

En esta situación el hand-off puede ocurrir entre sectores (figura 13), entre células (figura 14) y entre sistemas (figura 15).

2 - Cuando hay degradación



14



15

en la RSR (Relación Señal/Ruido); o sea: el ruido continuo en el canal de voz es mayor que la señal de referencia emitida.

2.7) Roaming

Término que significa desplazarse e indica la utilización de una

llamada telefónica celular móvil, en una CCC que no es la original del abonado celular móvil.

En otras palabras, es cuando un abonado móvil utiliza una CCC que no es la propia, en la que está debidamente registrado para efectuar y para recibir una llamada telefónica. Es como si el abonado alquilara un canal de la CCC visitada y se lo llama "visitante". La CCC visitada recibirá el anuncio de llegada del visitante a través del roaming automático; es decir: el aparato celular manda una señal hacia la CCC de alquiler y ésta le devuelve, a través del canal de control, la identificación del área visitada y en el display del ROAM aparece el mensaje.

Ya reconocido el visitante, al solicitar o recibir una llamada,

la CCC visitada entra en contacto con la CCC de registro del abonado (figura 16) y obtiene su archivo de abonado, que contiene informaciones personales, como ESN (Electronic Serial Number), el número de serie del aparato celular, que fue grabado por el fabri-

cante, la categoría del abonado, etc. Ese reconocimiento se hace con el número telefónico del visitante, y las dos CCC son conectadas mediante un canal apropiado para el intercambio de informaciones.

2.7.1) Roaming no automático

Hay regiones donde la validez del roaming debe hacerse manualmente, esto es: el abonado debe entrar en contacto con la central de atención celular de la compañía telefónica local y solicitar una pre-autorización.

2.7.2) Roaming nacional

Si el visitante, por ejemplo, oriundo de Buenos Aires está en Córdoba y desea hacer una comunicación local en esta ciudad, necesita antes discar el código DDD de esta localidad, tal como lo haría un DDD en Buenos Aires que también debiera discar el DDD antes.

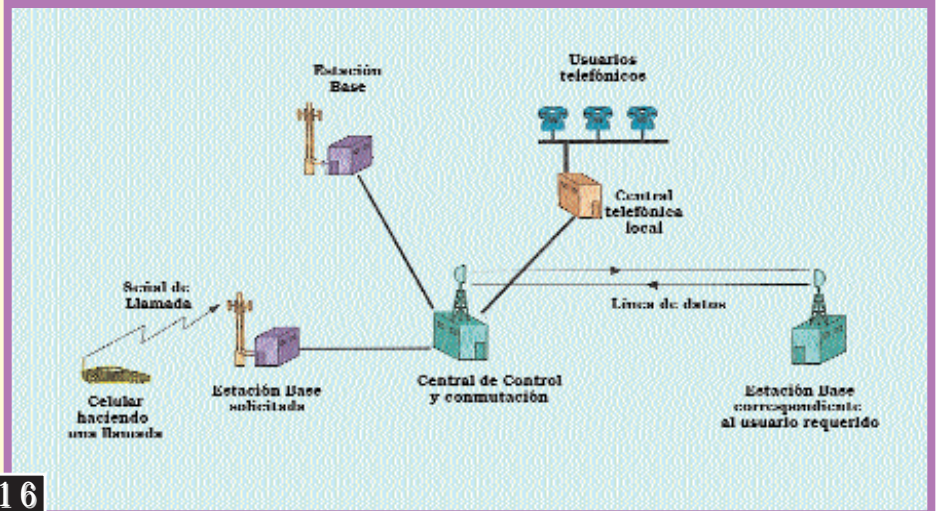
3) El Sistema Móvil Celular

Un sistema móvil celular (SMC) básicamente está formado por 3 partes:



18

16



Estación Base de Radiofrecuencia (EBRF),
 Central de Conmutación y Control (CCC) y
 Estación Móvil (EM).
 El SMC y las conexiones se muestran en la figura 17.

3.1) La EBRF

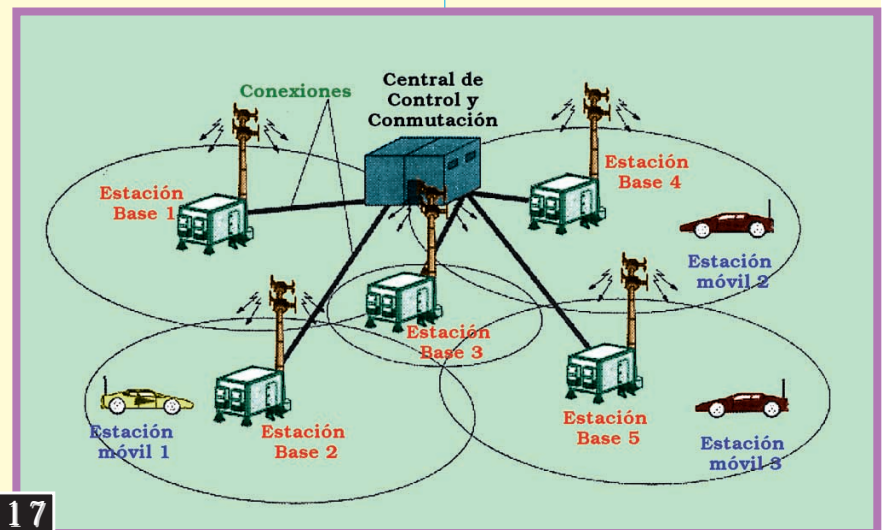
Es una interface entre la CCC y las EMs; sus funciones básicas son:

- para datos: convierte la señalización propietaria que la une a CCC en el protocolo AMPS entre EBRF y EMs.
- para voz: convierte las seña-

les digitalizadas de voz que transitan en los enlaces entre CCC y EBRF, en señales analógicas para la transmisión FM entre EBRF y EMs.

- para supervisión de canal de radio: monitorea los canales de voz en conversación para comparar la intensidad RF de la señal y la RSR de la señal de voz, que indica a la CCC cuando los valores medidos están fuera de las especificaciones, para que ésta aplique los procedimientos de Handoff.

La EBRF, figura 18, puede conectarse a la CCC en forma analógica o digital. Si es conectada en



17

forma analógica, los datos se transmiten vía MODEM a una velocidad de hasta 9,6kbit/s, considerada muy lenta; por lo tanto, la preferida es la forma digital, que consigue transmitir a una tasa de 64 kbps (64.000 bits por segundo). La cantidad de canales de voz que puede tener una EBRF varía conforme el modelo, pero tienen una media de 128 canales de voz.

Las EBRFs generalmente se instalan en lugares altos dentro del centro geométrico del área a cubrir, en montañas si es zona rural, con su potencia de transmisión controlada para que no interfieran las celdas vecinas. Las celdas de una misma EBRF trabajan con frecuencias de transmisión diferentes y el agregado de grupos de celdas se hace de forma que nunca haya coincidencia de frecuencia en la proximidad.

Todas las EBRFs tienen sus controladoras (CSC). Su función es recibir los datos y la voz de las unidades de canales y enviarlos a la CCC, a través de un enlace exclusivo EBRF - CCC.

En dirección opuesta, recibe los datos y la voz de la CCC a través de un enlace de comunicación CCC - EBRF y los envía hacia la unidad del canal o control correspondiente.

3.2) Central de conmutación y control (CCC)

La CCC es una central telefónica automática del tipo CPA (central de programa almacenado), que tiene las mismas funciones que una central de la red fija, pero con software apropiado para SMC. Como se trata de una central telefónica que tiene que monitorear las EMs, que se desplazan entre las celdas, controlar sus EBRFs y hacer todo el procesamiento de las informaciones, contiene equipamiento adicional. Una CCC ejecuta muchas funciones además de las conexiones telefónicas:

- administración de todo el sistema
- análisis estadístico del tráfico telefónico
- habilitación de servicio y tarificación
- supervisión de las EBRFs y de los canales de radio correspondientes
- testeo y localización de fallas en el sistema
- análisis de los datos de las EMs y control de funciones

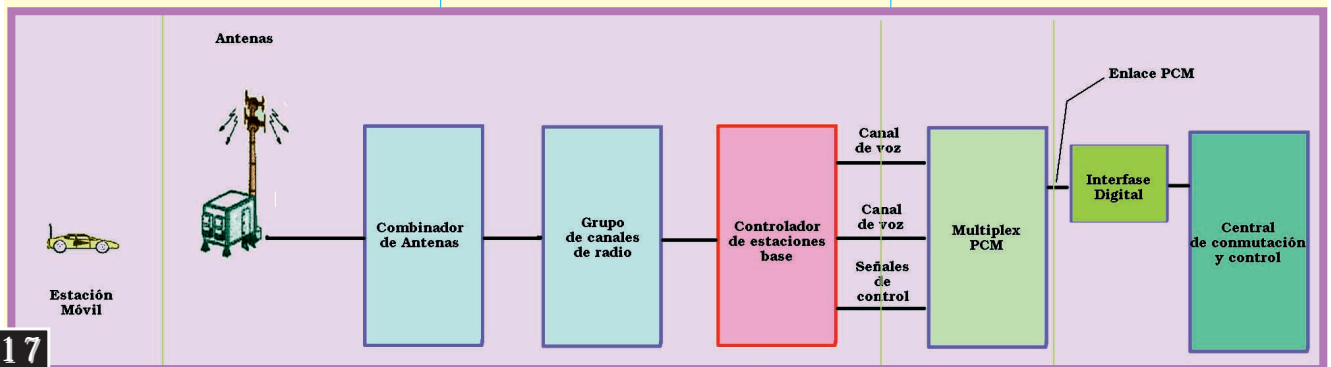
La CCC se comunica con las EBRFs por líneas telefónicas o líneas de datos privados, en que se emplean canales de PCM (Modulación por Código de Pulso), fi-

bras ópticas o radiofrecuencia digitales. Vea en la figura 19 un esquema simplificado del enlace CCC - EBRF donde:

- GCR - Grupo de Canales de Radio (voz y control)
- CSC - Controladora de EBRF
- ID - Interface Digital

La CCC mantiene una constante comunicación con los componentes del sistema; en el caso de los datos esto sucede en los siguientes casos:

- a) Cuando la CCC origina un mensaje para una EM que será enviado en el canal de control o en el canal de voz.
- b) Cuando la CCC recibe un mensaje de la EM.
- c) Cuando la CCC recibe un pedido de la EBRF como, por ejemplo, un pedido de "handoff".
- d) Cuando la CCC envía un mensaje hacia la EBRF como, por ejemplo, pedido de los resultados de las mediciones en un proceso de handoff.
- e) Cuando la CCC recibe un mensaje de alarma debido a una falla en la parte de radio.
- f) Cuando un alarma externo se activa, por la acción de un intruso en la EBRF, incendio, etc. (por lo tanto, aquí va un aviso para quien intente penetrar una EBRF, sin invi-



tación: el dispositivo detecta la presencia de persona no grata, dispara la alarma en la CCC e, inmediatamente, se acciona la seguridad).

g) Cuando alguna rutina de mantenimiento deba ejecutarse, como por ejemplo, testeo de los procesadores, carga de las unidades de canal a partir del bando de memoria en la CCC, etc.

3.3) Estación móvil (EM)

La EM es el usuario con la correspondiente terminal móvil (teléfono celular), terminal ésta que está formada por un transceptor, una unidad de control y una antena. Actualmente existe infinidad de modelos en el mercado, con varias funciones incorporadas. Sin embargo, existen algunas funciones que son comunes a todos los aparatos, a saber:

- teclado para escritura del número a llamar y acceso a las funciones de servicios especiales
- discado con el auricular en la posición de reposo
- discado abreviado
- rediscado del último número llamado
- autobloqueo, se trata de una llave o código que impide el uso del aparato por personas no autorizadas, a menos que se ingrese una señal
- los dígitos tecleados aparecen en el visor
- visor que indique las funciones:

- out of service (fuera de servicio)
- roamer (inspección)
- in use (en uso)
- lock (indica que el aparato está bloqueado)

Y existen las funciones optativas:

- parlante externo
- capacidad de enviar dígitos durante una conversación
- modo "manos libres"
- indicación de tiempo transcurrido
- indicación del número llamador
- extensión hasta el otro asiento del vehículo
- modo scrambler para desembarrullar las señales de voz.

Las EMs son de estos tipos: portátil, vehicular o transportable.

El tipo vehicular de EM se usa exclusivamente en vehículos, su formato y peso son apropiados para esto, y por el momento es imposible su utilización en otros casos, porque la potencia que irradia está alrededor de los 3W. Tiene un alcance mayor que el del portátil y algunos accesorios que facilitan la vida del usuario.

Por su pequeña dimensión y peso reducido el equipo portátil es apropiado para llevar en bolsos o puesto a la cintura del usuario. Su autonomía es de algunas horas y debe recargarse la batería en cuanto

la señal debilitada se presente en el aparato.

4) Establecimiento de una Comunicación

A partir del momento en que un abonado móvil establece una comunicación con un abonado fijo, la conversación será transmitida vía radio entre la EM y la EBRF más próxima. Luego la llamada se encamina hacia una CCC y desde allí hacia una RTPC (Red Telefónica Pública de Conmutación), desde la que es llamado el abonado fijo, figura 20.

Debido al desplazamiento de las EMs, surgen algunos defectos dentro del área de cobertura del sistema. Es evidente que la antena del equipo móvil queda a una altura de aproximadamente 1,5 m del suelo y que muchos obstáculos se cruzan en el trayecto de la onda que conecta la EM y la EBRF. La compresión de la onda portadora tiene 33 cm por vuelta, medida bastante menor que la de los obstáculos con que al chocar en el camino, produce ondas reflejas. Además con el movimiento constante de la EM, la variación de la señal es muy acentuada.

Hasta aquí una breve descripción sobre el funcionamiento de la telefonía celular con un detalle de los equipos involucrados y las frecuencias en que operan. En futuros artículos describiremos en detalle el funcionamiento de las diferentes bandas (A = analógica, B = digital) y los planos de numeración establecidos para las diferentes localidades y empresas proveedoras del servicio. ⚡

