

TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

SISTEMAS AMPS Y TACS

ESTUDIO COMPARATIVO

Por: David Fernández M., Ana María Cárdenas S., Andrés Marín L.*

INTRODUCCIÓN GENERAL

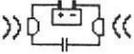
 Este trabajo pretende mostrar a grandes rasgos una propuesta de compatibilización de los sistemas de comunicación móviles denominados AMPS y TACS. Para lo cual se inicia con una breve introducción a los Sistemas Móviles Celulares, su estructura básica, arquitectura y gestión.

Luego se hace una presentación de los sistemas AMPS y TACS desde el mismo punto de vista utilizado para los Sistemas Móviles en general haciendo énfasis en aquellas instancias que los diferencian, como el uso del espectro radioeléctrico y la gestión del sistema.

Se pretende llevar el análisis de las diferencias y las compatibilidades hasta un nivel conceptual general, dado que cada fabricante adapta finalmente sus sistemas hacia la aplicación específica requerida.

INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS MÓVILES CELULARES

Telefonía por Alambre Conductor

 Los lectores de la revista L'illustration se encontraron en el número del 26 de agosto de 1854, un artículo titulado "Transmisión de la Palabra", en el que, entre otras cosas, podía leerse lo siguiente: «Imagínesse que alguien está hablando junto a una placa móvil lo

suficientemente elástica como para no perder ninguna de las vibraciones provocadas por el habla sobre ella proyectada, y que esta placa produce e interrumpe alternativamente la conexión con una batería: así puede disponer de otra placa a cierta distancia, que al mismo tiempo ejecutara las mismas vibraciones».

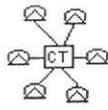
A principios del presente siglo, después del uso del telégrafo, la telefonía alambrada se consolidaba como un medio eficaz de comunicación interpersonal. Estos sistemas consistían en uniones eléctricas controladas por las que un transductor convertía las ondas mecánicas producidas por la voz en ondas eléctricas que viajaban por cables conductores hasta otro sitio donde eran convertidas nuevamente en ondas mecánicas.

Una vez el sistema fue perfeccionado y puesto en funcionamiento de forma masiva, un nuevo elemento tuvo un papel determinante: la gestión del sistema.

Inicialmente esta gestión estaba a cargo de uno o varios operadores que de forma manual se encargaban de conectar los circuitos que separaban a los abonados que deseaban entablar comunicación. Este lugar recibe el nombre de lo que hoy conocemos como Central Telefónica. Esta operación consistía en unir físicamente dos circuitos mediante un conector.

* Docentes Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia
dfernan@atenea.udea.edu.co - acardena@eeppm.epm.com.co - amarin@nutibara.udea.edu.co

En la medida en que los abonados fueron creciendo, nuevos sistemas de gestión se implementaron. Entraron en funcionamiento las centrales electromecánicas y los sistemas de conmutación automática activados por lo que hoy conocemos como el sistema de marcación. Inicialmente las centrales telefónicas cubrían las necesidades de comunicación de usuarios cercanos entre sí y la central. En la medida en que el cubrimiento fue mayor, se incluyeron elementos como amplificadores, regeneradores y adecuadores de señal para permitir que las redes telefónicas por alambre tuvieran el cubrimiento que hoy conocemos.



El avance de los elementos electrónicos en términos de su tamaño, velocidad y economía han permitido que el proceso de gestión se agilice de manera excepcional. Actualmente se cuenta con sistemas de gestión como los PBX que ofrecen mayores y mejores servicios que los que podría ofrecer una central de principios de siglo. Uno de los recursos adicionales utilizados en las comunicaciones eléctricas es el espectro electromagnético. En la telefonía por alambre el espectro es empleado en el rango donde está contenida la mayor cantidad de información, esto es, de los 20 a los 3000 Hertz.

Sistemas altamente especializados toman la información de varios usuarios y la entrelazan en paquetes de mayor amplitud espectral mediante técnicas de modulación y compresión de voz.

Los sistemas de comunicación ofrecían, y ofrecen actualmente, un servicio altamente confiable desde el punto de vista de la gestión del sistema y la calidad de la comunicación.

Sin embargo, el principal problema que puede tener este tipo de servicio radica en los costos de instalación y el alcance del servicio. El sistema está supeditado a la unión entre abonado y central por medio de un par conductor. La instalación de éste es costosa inicialmente, si bien es cierto que la vida útil del sistema es muy alta. Los lugares alejados de las centrales telefónicas y poco habitados no pueden ser cubiertos generalmente por el servicio.

Sistemas radiantes de comunicación



Además de la transmisión de señales

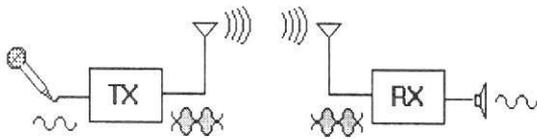
mediante el telégrafo y el teléfono, y de la acumulación de sonidos en el disco y en la cinta magnetofónica, el siglo XIX trajo consigo otras innovaciones revolucionarias en el campo de las técnicas de comunicación: la invención de la telegrafía sin hilos, la radio y la televisión. Cuando el físico alemán Heinrich Hertz confirmó experimentalmente en 1888 las ondas electromagnéticas que unos decenios antes había pronosticado teóricamente James Maxwell, nadie advirtió la importancia de este descubrimiento.

Cuatro años más tarde escribiría el científico Sir William Crookes: «Aquí se ofrece la fascinante posibilidad de una telegrafía sin hilos, sin cables, sin toda una estructura dispendiosa. Dos amigos que vivan en el límite de la capacidad de transmisión de sus receptores podrán ajustar sus aparatos a determinadas longitudes de onda y, con la frecuencia que les interese, comunicarse mediante radio de onda larga y corta con los signos de la escritura morse». Dos años después, el italiano Guglielmo Marconi comienza a experimentar con las ondas

electromagnéticas. En 1894 consigue transmitir noticias sin hilo .

Pero no concluyó todo con la telegrafía sin hilos. Poco después surgió el deseo de transmitir la palabra hablada a través del éter. Al dispositivo emisor se conectó un micrófono que modulaba las ondas emitidas al hablar, siguiendo el ritmo de las vibraciones sonoras. En el receptor bastaba con un rectificador y un teléfono convencional . De esta forma se irrumpió a la comunicación de la palabra sin hilos.

Comunicación sin hilos



La dificultad del sistema telefónico por alambre para comunicarse con lugares prácticamente inaccesibles dio origen a los sistemas de comunicación inalámbrica.

Después del descubrimiento de las ondas hertzianas y sus iniciales aplicaciones, se generó el desarrollo de la telegrafía sin hilo entre regiones distantes. En un principio se emplearon equipos que permitían transmitir y recibir por ondas electromagnéticas información fundamentalmente binaria. Tal es el caso de los telégrafos entre continentes los cuales codificaban en la existencia o ausencia de señal los símbolos mínimos de comunicación. Cuando la tecnología de radio fue perfeccionándose hasta llegar a transmitir la voz humana mediante técnicas de modulación, el acceso entre sitios distantes se hizo cada vez más claro. Los primeros sistemas de comunicación de voz a través de ondas electromagnéticas permitían que a

grandes distancias dos personas pudiesen comunicarse mediante canales radioeléctricos. Inicialmente el canal era uno solo entre las partes, lo cual implicaba que uno callara mientras el otro hablaba, gestionando mediante suiches el acceso al medio (caso del PPT). Este esquema de comunicación era fundamentalmente individual y limitado. Permitía comunicaciones entre continente e islas, comunicación con y entre barcos, comunicación entre entidades móviles etc.

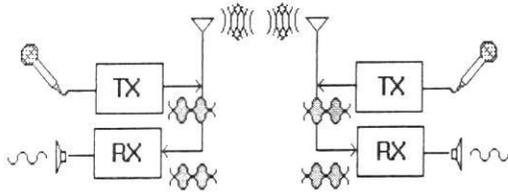
Redes de Comunicaciones Inalámbricas

Cuando la comunicación entre individuos por vía radioeléctrica se hizo cada vez mayor surgió la necesidad de organizar el servicio en por lo menos dos aspectos: El uso del espectro y la gestión de las redes.

El espectro radioeléctrico es limitado en su extensión y por lo tanto en su uso. Los países que desarrollaron estos sistemas necesitaron legislar el uso del espectro radioeléctrico limitándolo para cada una de las actividades . Así las emisoras de radio solo podían hacer uso de una franja definida del espectro al igual que las redes públicas y privadas de comunicaciones.

Para las redes de comunicaciones implicó hacer uso de estrategias de gestión para tener acceso a los canales radioeléctricos de comunicación. Éste el es caso de lo que hoy conocemos como grupos de radioaficionados que poseen normalmente un centro de gestión que coordina el uso del canal. También se asignaron frecuencias de libre utilización empleadas por los radioaficionados. En todos los casos de comunicación inalámbrica, el canal de comunicación era empleado por una de las partes al tiempo.

Redes Telefónicas Inalámbricas.

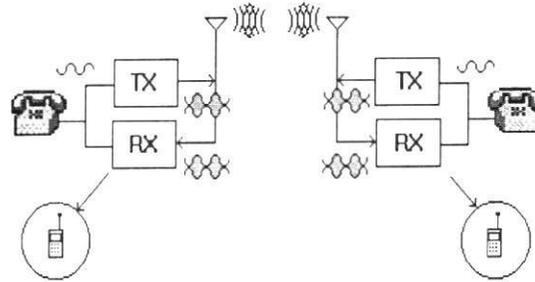


Con el ánimo de dar el mismo servicio ofrecido por las redes telefónicas por alambre se crearon sistemas de comunicación inalámbrica que utilizan dos canales de comunicación, uno para la señal de "ida" y otro para la señal de "venida" hacia el usuario. El principal problema que había que sortear en el sistema era la privacidad del mismo lo que implicaba una alta dosis de gestión.

Estos sistemas son para pocos usuarios y por su alcance son llamados Sistemas de Área Extendida. Para poder reutilizar el espectro radioeléctrico, el sistema se organiza en centros de gestión relacionados con un área de alcance. Si se colocan varios de estos centros de gestión para cubrir una gran área y se comunican y coordinan entre sí, tendremos un sistema que permitirá la existencia de más usuarios y gran cobertura. Estas redes telefónicas inalámbricas en realidad son pequeñas debido a la rápida saturación del espectro asignado pero permiten que usuarios de un centro de gestión puedan comunicarse con otros. En caso de que el sistema de gestión estuviere saturado, el sistema permite que los usuarios que deseen comunicarse y estén dentro del radio de alcance del sistema se comuniquen. Con el avance de la tecnología fue posible que dos personas se comunicaran de forma análoga como lo hacían mediante el sistema de comunicación telefónica normal, aun si ésta se encontraba en movimiento. Es claro que había condiciones para que ello fuera

exitoso; entre otras, que los dispositivos de comunicación estuvieran al alcance radioeléctrico el uno del otro. Este tipo de esquema está configurado dentro de lo que conocemos como sistemas Trunking.

Sistemas Trunking

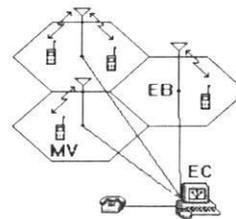


Dado el éxito de estos sistemas, su principal problema se ha convertido en la gestión del mismo. Al inicio, cuando los usuarios eran pocos, el uso del espectro electromagnético no era problema. Pero cuando los usuarios comenzaron a aumentar el canal se veía constantemente saturado.

Esto llevó a plantear nuevas alternativas de gestión especialmente del espectro radioeléctrico. Otro problema importante es que los equipos eran normalmente grandes y este tamaño estaba íntimamente ligado con la potencia con que debían trabajar.

Como solución a estos dos problemas surgió lo que hoy llamamos Telefonía Móvil Celular.

Sistemas Móviles Celulares



Con el tiempo, el desarrollo de sistemas de gestión y comunicación cada vez más eficientes técnicamente y menos costosos, permitió el desarrollo de las redes de comunicaciones

que hoy conocemos en términos genéricos como Telefonía Celular.

Como se mencionó anteriormente, este esquema resuelve dos problemas fundamentales: el uso masivo del espectro radioeléctrico y el tamaño de los equipos. Esta optimización debe pagar algún impuesto y en este caso el esfuerzo se concentra en la gestión.

ARQUITECTURA

La arquitectura de los sistemas móviles celulares está centrada en la gestión del espacio físico y radioeléctrico. Esto es, que en la comunicación que involucra un móvil se garantice la continuidad de la misma aun bajo el efecto de movimiento del móvil.

Para lograr esto, los elementos fundamentales son: Equipo móvil o portátil (MV), Estación Base (EB), Canal Radioeléctrico, Estación de Control (EC), Canales de comunicación y control, Célula y Gestión. Su conjunto permite la creación de un sistema de comunicación telefónica inalámbrica al estilo de la redes de telefonía alamburada.

A continuación se describirán las funciones de cada uno de los elementos y qué necesitan para que sea llevado a cabo.

MÓVIL

Información general

 El móvil es el elemento final de la comunicación. Para el usuario se presenta bajo los mismos servicios que ofrece un teléfono del sistema alamburada con la gran ventaja de que el equipo es portátil. El equipo realiza las funciones de enlace entre el usuario y el canal radioeléctrico mediante un sistema de transmisión y recepción de señal. Para lo cual toma la información de voz la

procesa y modula para llevarla a frecuencias de trabajo asignadas dentro del espectro radioeléctrico y transmitir las. Lo anterior cuenta con sistemas automáticos de detección y control del nivel de la señal y rutinas de control que unidas con la estación base permiten el flujo continuo de la comunicación aun cuando las condiciones del radioenlace cambien. La recepción ocurre en el orden de ideas inverso. Toma la señal radioeléctrica emitida por la estación base, la demodula, decodifica y al final convierte en ondas mecánicas audibles.

Funciones

El móvil está constantemente en comunicación con la base que en el momento lo abrigue. Cuando recibe una llamada, la estación base le ha enviado un código que le indica que alerte al usuario sobre el ingreso de una llamada mediante un timbre. Cuando el usuario desea realizar una llamada, el equipo envía a la estación base la información necesaria para que ella se establezca. Mientras ocurre la comunicación, el equipo está en constante comunicación con la estación base indicando el nivel de la señal dentro de la célula y niveles de señal aledaños para un posible cambio de estación base. Si el móvil está dentro de un sistema digital se encarga también de la conversión análogo-digital y digital-análogo necesaria. Cada día es más importante la tarea de gestión desde el punto de vista del móvil; esto es, cada día se le deja más gestión al móvil.

Específicamente podemos dividir sus funciones en tres: La encargada de llevar la información desde el móvil al espectro radioeléctrico, la que toma la señal enviada por la estación base hacia el móvil y la función de gestión por parte del móvil.

En la primera, las señales emitidas desde el móvil como la voz, la marcación, la iniciación del servicio, etc., son codificadas y moduladas en el equipo antes de ser radiadas. Esto implica sistemas de codificación análoga o binaria o ambos. También incluye el sistema de modulación y la forma de tener acceso al canal de comunicación.

La señal enviada desde la estación base es tomada por el móvil, decodificada e interpretada con la acción que se desee ejecutar. Estas pueden ser la acción de timbre, invitación a marcar, comunicación desde el otro lado de la línea, colgar, etc.

La gestión del móvil incluye procesos como medición de nivel de señal, control automático de ganancia, cambio de célula etc. Es de notar que deben utilizarse tanto los canales de emisión como de recepción en el sistema para que la gestión sea llevada a cabo.

Los procesos

Dentro de cada función efectuada por el móvil, los procesos pueden ser descritos de la siguiente forma:

- Standby

En este proceso el móvil está enviando y recibiendo información constantemente. Una de las funciones prioritarias se centra en la no pérdida de la comunicación. Para lo cual el móvil está constantemente sensando el estado de señal entre él y la célula a la que está conectado. Cuando comienza a bajar de un valor preestablecido, el móvil trata de sensar la señal de control de otras células cercanas, elige la de mayor valor y determina si crece. En caso afirmativo envía una señal a la estación base indicándole que pretende cambiar de célula. La estación base entonces informa a la nueva estación base que un usuario se pasará de ésta a la suya. En este

estado se recibe llamada o se inicia el proceso de llamada desde el móvil.

- Entrada de llamada

Cuando ingresa una llamada al móvil, éste es advertido del evento mediante el canal de control. Internamente se inicia el proceso de alertar al usuario e iniciar la llamada. En caso de no contestar el usuario o estar en uso el móvil, la estación base tomará las medidas del caso y le informará al móvil para iniciar el proceso de llamada en espera o dejar de advertir el ingreso de llamada mediante el timbre.

- Salida de la llamada

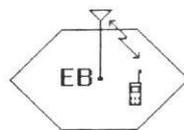
Al iniciar el proceso de llamar desde la estación móvil, el equipo alerta al usuario con el tono de invitación a marcar. Por medio del canal de control, se indica a la estación base la intención de establecer llamada al teléfono del usuario indicado por la marcación. La estación base lo remite a la estación de control para gestionar la llamada. Según el caso, envía la señal de ocupado o tonos de espera.

- Transcurso de la llamada

En el transcurso de la llamada el móvil está constantemente alerta del estado de la señal. Si en cualquier momento detecta un nivel bajo de la misma, indica a la estación base por el canal de control el deseo de cambiar de célula de la misma forma como se indicó en el proceso de **Standby**.

ESTACIÓN BASE

Introducción General



Esta estación es la encargada de coordinar la comunicación entre móviles y sistema alambrado.

Además de un canal de comunicación que comparte con los móviles, hay un canal de control a través del cual la estación base

sensa el estado del móvil y le informa los cambios que debe realizar en el sistema para la continuidad de la comunicación. Entre las actividades por realizar que informa, está el del cambio de célula, cambio de frecuencia de enlace, entrada de llamada, etc.

Elementos Fundamentales

La estación base hace parte de la estructura básica del sistema identificada generalmente por el nombre de Célula. La Célula es el elemento básico de cobertura de un sistema celular. La estación base se encarga de la gestión de este elemento. Entre otros, está conformada por equipos de transmisión, recepción, gestión e integración a estaciones de control.

Funciones

La estación base es el centro de gestión de cada célula. Está compuesta por estaciones de transmisión y recepción radioeléctricas, unidades de gestión y proceso.

Las estaciones de transmisión están compuestas por enlaces radioeléctricos que van desde la estación al móvil. Esto incluye los canales de comunicación y control del sistema.

De igual forma, los canales de recepción toman la información del móvil tanto de

comunicación como de control del equipo. El sistema asigna canales exclusivos a los equipos que abarca la estación. Como el espectro radioeléctrico es limitado, el sistema se distribuye en varias estaciones base que utilizan las mismas frecuencias de operación, aumentando el servicio del sistema. Es claro que debido a la naturaleza de las ondas electromagnéticas que conforman el canal de comunicación, algunos inconvenientes deben evitarse como es el caso de la interferencia co-canal.

Además del proceso de comunicar los móviles entre sí, también se comunica con otras bases y con centros de control.

CANAL RADIOELÉCTRICO



Es el recurso más importante del sistema. Ocupa una estrecha banda dentro de los canales utilizados actualmente y sólo puede ser utilizado de forma discreta. La utilización de un grupo limitado de frecuencias para la comunicación de un grupo cada vez más creciente de usuarios implica la reutilización de las mismas bajo el esquema de células. Este incluye los canales de comunicación y gestión del sistema. El acceso al canal de comunicación puede emplear técnicas de acceso múltiple tales como TDMA y CDMA.

Denominación de las frecuencias por décadas

| Banda | Frecuencia | Longitud de onda | Denominación |
|--------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|
| ELF | <3kHz | >100 km | Baja frecuencia extrema |
| VLF | 3-30 kHz | 100-10 km | Muy baja frecuencia |
| LF | 30-300 kHz | 10-1 km | Baja frecuencia |
| MF | 0,3-3 MHz | 1000-100 m | Frecuencia media |
| HF | 3-30 MHz | 100-10 m | Alta frecuencia |
| VHF | 30-300 MHz | 10-1 m | Muy alta frecuencia |
| UHF | 0.3-3 GHz | 100-10 cm | Ultra alta frecuencia |
| SHF | 3-30 GHz | 10-1 cm | Super alta frecuencia |
| EHF | 30-300 GHz | 10-1 mm | Extremada alta frecuencia |

ASIGNACIONES DE 30 kHz A 300000 Mhz

| BANDA | ASIGNACIÓN |
|------------------|--|
| 30-535 kHz | Comunicaciones marítimas, de navegación, de radionavegación y aeronáuticas |
| 535-1605 kHz | Radio aficionados, radio de CB, radio del gobierno, radiodifusión internacional de onda corta, comunicaciones fijas y móviles, radionavegación, radio industrial, científico y médico. |
| 30-50 Mhz | Gobierno y particular, fijo y móvil |
| 50-54 Mhz | Aficionados |
| 54-72 | Radio difusión de canales de TV. 2 y 4 |
| 72-76 Mhz | Servicios gubernamentales |
| 76-88 Mhz | Radio difusión de canales de TV. 5 y 6 |
| 88-108 Mhz | Difusión de MF |
| 108-122 Mhz | Navegación aérea |
| 122-174 Mhz | Gobierno y no Gobierno fijo y móvil, radiodifusión de aficionados |
| 174-216 Mhz | Radio difusión de canales de TV. 7 al 13 |
| 216-470 Mhz | Aficionados, gobierno y no gobierno, fijo y móvil, navegación aérea, banda civil |
| 470-890 Mhz | Radio difusión de canales de TV. 14 al 83 de UHF |
| 890-3000 Mhz | Radionavegación aérea, emisión de aficionados, retransmisión de estudios, telefonía celular |
| 3000-30000 Mhz | Gobierno y no gobierno, aficionados, radio navegación |
| 30000-300000 Mhz | Experimental, gobierno, aficionados |

ESTACIÓN DE CONTROL

Funciones



La estación de control provee la gestión necesaria para que las estaciones base estén coordinadas entre sí y con el móvil, además de las comunicaciones con el sistema alambrado convencional. Es el principal centro de gestión del sistema. Se ocupa de actividades como las interfaces del sistema radiado con la telefonía alambrada convencional. Es la encargada de los sistemas de registro de usuarios y de la tarificación de las llamadas. También determina cuándo un usuario de otro sistema puede tener acceso al propio y envía la tarificación a la compañía de la cual proviene.

Por la gestión de la EC se realiza la localización automática de un móvil y el mantenimiento de la posición del mismo. Ésta coordina los canales libres que son accesibles por el móvil por diferentes células y determina a cuál de ellos se puede hacer acceso. También realiza la transferencia automática de frecuencias cuando el móvil pasa de una célula a otra en una llamada en curso.

Cuando una llamada se inicia, la EC identifica el móvil asociado con el número requerido por cualquier central local y encamina la llamada hacia la EB en la cual se encuentre. También determina si el móvil es un elemento del sistema o es un usuario visitante.

Podemos decir que la estación de control es el punto central del sistema, puesto que a partir de éstas se coordina la gestión de todo el sistema.

SISTEMAS AMPS Y TACS

Introducción

En el presente trabajo se comparan los sistemas de telefonía móvil celular AMPS americano y el ETACS europeo; la comparación toma en consideración sólo la parte de sistemas celulares analógicos, pues ahora el AMPS soporta también un sistema de telefonía celular digital.

En la actualidad no existe un estándar que esté aceptado en forma universal. La mayoría suelen tener cobertura nacional, aunque existen algunos sistemas compartidos por varios países, pero se tienen planificaciones de frecuencias diferentes, lo que hace difícil usar equipos de un país en otro.

Existe la tendencia hacia la globalización a través de las llamadas Redes de Comunicaciones Personales (PCN).

A partir de 1983 empezó a funcionar un estándar unificado en Norteamérica conocido como AMPS (Advanced Mobile Telephone System). El sistema AMPS es ampliamente utilizado en América del Norte y en América del Sur, así como en Australia y China. El sistema AMPS surge como un perfeccionamiento de los sistemas Trunking, los cuales se mejoraron al permitir el uso de más canales mediante la asignación de un rango más estrecho del espectro y un mejor cubrimiento, lo que facilita así la prestación de un mejor servicio. Utiliza la arquitectura celular y pudo materializarse gracias a factores como el desarrollo de componentes

electrónicos de alta integración (VLSI), en los cuales podían contenerse sintetizadores de frecuencia, convertidores análogo/digital y digital/análogo, y lo que es más importante, sistemas de gestión digital de alta capacidad.

Desde 1985 comenzó a operar un estándar británico diseñado a partir del AMPS que se denominó ETACS (European Total Access Communications System). El sistema TACS surgió como respuesta al ofrecimiento del Reino Unido para la implementación de un sistema celular en toda la extensión de su territorio. Ya se contaba, al igual que en muchas partes del mundo, con un sistema de comunicación personal con los servicios del Trunking con algunas mejoras.

Ante la propuesta, las operadoras presentaron a consideración un nuevo sistema basado en la norma AMPS pero con mejoras en aspectos como el uso del espectro y la seguridad del sistema.

En los apartados siguientes se presentarán cada una de las partes que conforman los sistemas celulares AMPS y TACS de forma paralela buscando realizar un esquema comparativo al final del tema y una propuesta somera como esquema de compatibilización entre los dos sistemas.

SISTEMA AMPS

En la creación del AMPS, los laboratorios Bell Telephone se propusieron como principales objetivos que el sistema hiciera un eficiente uso del espectro y la disponibilidad de amplia cobertura. Aparecen entonces dos características en el nuevo sistema:

Reutilización de frecuencias

Este mecanismo permite un número de conversaciones concurrentes mucho mayor que el número de canales de voz derivados

de la simple parcelación del espectro asignado.

División de células o adición de células entre las células ya existentes.

La reutilización de frecuencias es una herramienta que conjuntamente con la anterior, daría mayor vida útil al sistema antes de que éste se vea completamente limitado por saturación e interferencia.

Otro de los objetivos estaba en tener una electrónica en el equipo del suscriptor lo suficientemente barata como para permitir la penetración del servicio.

A finales de los años setenta la FCC repartió licencias en Washington DC y en Chicago, Illinois, para validar la especificación del AMPS. Para mediados de los años ochenta los principales mercados de EUA ya tenían el servicio.

Otras tecnologías nacientes que en los mismos años impulsaron la tecnología celular, fueron las siguientes:

- La tecnología CMOS la cual aplicada a la circuitería central, permitió el bajo consumo de los equipos del suscriptor.
- La función de síntesis de frecuencia fue reducida a la escala de un circuito digital integrado mediante la utilización de una compleja red de osciladores de cristal y detectores de sintonía. En los sistemas antiguos, cada par de frecuencias necesitaban ser replicadas para ser utilizadas.
- El microprocesador y el microcomputador permiten complejas funciones de control tales como el procesamiento de la llamada celular y la validación de la clave de enlace en un espacio muy reducido.
- Los circuitos integrados de aplicación específica (ASICs) proporcionaron una

significativa reducción de números de circuitos de mediana y pequeña escala, los cuales implementaron muchas funciones digitales como la selección FSK, decodificadores, etc.

- La tecnología de montaje superficial (SMT) aplicada a la circuitería discreta trajo ventajas de reducción de peso y volumen.

SISTEMA TACS

Antes de que en 1985 las redes celulares hicieran su aparición en el Reino Unido, existía un servicio de telefonía móvil, operado hoy por la British Telecom. Este servicio de telefonía móvil tenía dos importantes limitaciones:

- Reducida en capacidad.
- Altos Precios para restringir el número de suscriptores.

Para 1983 el gobierno del Reino Unido abrió la posibilidad a compañías operadoras del otorgamiento de licencias por 25 años para implementación de nuevas redes móviles. Para el otorgamiento de las licencias, el operador debía cumplir entre otras, las siguientes condiciones, las cuales apuntaban a asegurar la competencia entre nuevos operadores:

- Se requería una interfaz de aire común. Esto permitía al suscriptor transferirse de una red de un operador a otro, si el servicio no le satisfacía, sin tener que reemplazar su terminal móvil. Así todos los operadores debieron presentar conjuntamente la especificación de dicha interfaz para la aprobación del gobierno.
- Las licencias fueron dadas para proveer el servicio al 90% de la población del Reino para 1990. Así se aseguraba que los operadores no sólo llevarían el servicio a áreas altamente densas, sino propor-

cionar cobertura casi nacional. En la práctica esto se alcanzó a mediados de 1987. Para 1991 ya había una cobertura mayor al 95%.

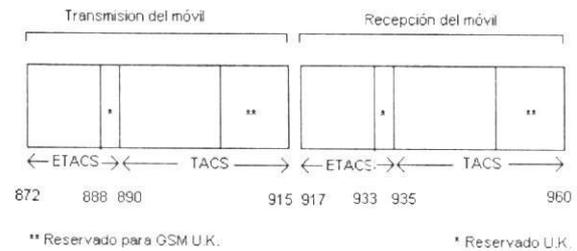
- El servicio de red para usuarios individuales y corporativos, podía ser ofrecido a los suscriptores indirectamente a través de proveedores del servicio. Así se aseguraría una competencia en los precios de venta al público. Los proveedores del servicio con los que los operadores hicieron convenios, podían ofrecer diferentes paquetes de equipos, conexiones y cargos de llamadas.

De seis posibles operadores, a dos les fue otorgada la licencia. Vodafone y Cellnet, ésta última del asocio de British Telecom (51%) y Secunar (49%).

Las nuevas operadoras estuvieron de acuerdo en implementar una versión modificada de la especificación AMPS utilizada en USA. La especificación AMPS revisada fue publicada como TACS, después de que se llegó a acuerdos de derechos de autor con la EIA.

Luego de esta primera especificación, se han hecho otras dos revisiones las que apuntan a incrementar la distribución del espectro, a mejorar la señalización y superar el uso fraudulento del servicio. Dichas revisiones son la ETACS y TACS2.

ETACS definió las bandas inferiores adyacentes: la de 872 a 890, para transmisión, y la de 915 a 935 MHz para recepción. La banda de 2 MHz más baja no ha sido utilizada, reservándola para otros servicios, como el concepto de radio de corto rango digital. La siguiente figura muestra la asignación de frecuencias dada por TACS y ETACS.



COMPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS AMPS Y TACS

Ancho de Banda

El sistema ETACS, European Total Access Communication System, fue desarrollado a mediados de los 80 y es virtualmente idéntico a AMPS, excepto que su ancho de banda por canal es de 25 kHz, en contraste con AMPS que es de 30 kHz.

Para señal análoga de voz

Los sistemas AMPS y ETACS, utilizan modulación en frecuencia, FM. Cada canal consiste de un par de canales simplex separados por una frecuencia de 45 MHz, permitiendo así el uso de un duplexor altamente selectivo, pero económico, en la EM.

La desviación máxima del modulador de FM es:

- En AMPS: ± 12 kHz
- En ETACS: ± 10 kHz

Para señales digitales

Para señales digitales de control y ráfagas de datos 'blank and burst', la transmisión se realiza para:

- AMPS a 10 kbps, con desviación máxima de ± 8 kHz.
- ETACS a 8 kbps, con desviación máxima de ± 6.4 kHz.

Asignación de Frecuencias

La asignación de frecuencias para cada sistema es como sigue:

| | | | | | |
|---------------------|----------------------|----------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| 824.04 | 825.03 | 835.02 | 845.01 | 846.51 | Transmission Móvil (MHz) |
| A" 33 Canales | A" 333 Canales | A CTL | B 333 Canales | A' 50 Canales | B' 50 Canales |
| 869.04 | 870.03 | 880.02 | 890.01 | 891.51 | Transmission Base (MHz) |

- AMPS: 824 a 849 MHz de EM a EB y
869 a 894 MHz de EB a EM.
- ETACS: 890 a 915 MHz de EM a EB y
935 a 960 MHz de EB a EM.

Manejo de llamadas en AMPS y ETACS

Cuando una llamada se origina desde un teléfono convencional de la red telefónica conmutada (PSTN) hacia un suscriptor celular, primero llega a un Centro de Conmutación Móvil (MSC), el cual envía un mensaje radio difundido a todas las EM. El mensaje lleva el Número de Identificación del Móvil (MIN). Si la unidad móvil del suscriptor recibe exitosamente este mensaje en su Canal de Control Forward o de sentido directo (FCC), responde con una transmisión de reconocimiento sobre el Canal de Control de Retorno (RCC). Una vez la MSC recibe la confirmación del suscriptor, hace que la EB asigne un par de Canales de Voz, uno directo (FVC) y otro de Retorno (RVC) a la EM, así la llamada se lleva a cabo a través de un canal dedicado. La EB también asigna a la EM un Tono de Audio de Supervisión (SAT) y un Código de Atenuación en el Móvil de Voz (VMAC). La EM automáticamente cambia su frecuencia al par de canales de voz asignados.

El SAT tiene una de tres frecuencias diferentes, la cual permite a la EB y a la EM distinguir un usuario co-canal de otro, en diferentes celdas. El SAT se transmite

continuamente en ambos canales RVC y FVC durante una llamada, en frecuencias por encima de la banda de audio.

El VMAC da instrucciones a la EM para que transmita con un nivel de potencia específico.

Ya establecido el canal de voz, unos datos en modulación FSK son utilizados por la EM y la EB en modo 'Blank and Burst' para iniciar el proceso de 'hand off' para cambiar la potencia de transmisión del móvil y proveer otros datos al sistema. La señalización 'blank and burst' permite al MSC interrumpir la llamada y envío de SAT, para enviar datos. Este procedimiento es apenas notado por el usuario.

Cuando un usuario móvil es quien desea llamar, la EM transmite un mensaje sobre el RCC. La EM transmite su propio MIN, el Electronic Serial Number (ESN), el Station Class Mark (SCM) y el número del suscriptor llamado. Si la EB recibe la información correctamente, ésta reenvía la información al MSC, para que se verifique que el suscriptor está registrado. El MSC conecta el suscriptor móvil con la PSTN, le asigna los canales FVC y RVC, con los respectivos VMAC y SAT, con lo cual se inicia la conversación.

Durante el transcurso de la conversación, el MSC emite numerosos 'blank and burst', los cuales conmutan la EM a diferentes canales de voz sobre diferentes EB, dependiendo de la ubicación del suscriptor móvil. La decisión de cambio de EB la toma el MSC con base en el nivel de potencia que percibe de la EM, o cuando el SAT experimenta un cierto nivel de interferencia.

Los umbrales son ajustados en el MSC por el proveedor del servicio periódicamente, tratando de acomodarlos a las nuevas condiciones por aumento de cobertura,

aumento de suscriptores y nuevos patrones de tráfico.

Para determinar el nivel de señal de un suscriptor en particular que puede necesitar un handoff, el MSC utiliza unos 'receptores de localización' ubicados en las cercanías de la EB para determinar el nivel de señal y poder así, encontrar la mejor estación vecina para trasladar la comunicación.

Cuando hay requerimiento de llamada y todos los canales de voz de la EB están ocupados, el MSC retendrá la llamada mientras da instrucción a la EB que atiende a la EM solicitante, para que reintente sobre el FCC. Esta instrucción fuerza a la EM a conmutar a un canal de control diferente (puede ser en una EB diferente) para que se le asigne un canal de voz. Dependiendo de los efectos de propagación, de la ubicación del suscriptor y el tráfico sobre la EB a la cual el suscriptor se ha dirigido, este reintento puede resultar en llamada exitosa.

Existen diversos factores que contribuyen a que una llamada se caiga o bloquee:

- El desempeño del MSC,
- La demanda normal de tráfico en un área geográfica,
- El plan de reutilización de frecuencias,
- El número de EB relativo a la densidad de suscriptores,
- Las condiciones específicas de propagación entre usuario y sistema,
- Los nivel-umbrales prefijados para realizar el handoff.

Los anteriores factores definen el desempeño del sistema. Mantener un servicio perfecto en un sistema celular altamente denso es prácticamente imposible, debido a la complejidad del sistema y a la falta de control sobre variables tales como la cobertura y los

patrones de radiación.

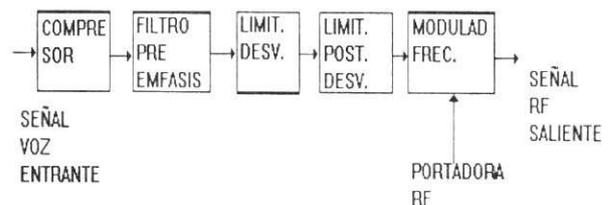
Interface de aire en sistemas AMPS y ETACS

Ambos sistemas utilizan diferentes canales físicos para la transmisión de voz y para la transmisión de control. Un canal de control (llamado también setup o paging) es utilizado por cada EB para alertar a las EM de una llamada entrante, y para mover las llamadas conectadas a canales de voz. El FCC constantemente transmite datos a 10 kbps en AMPS, y a 8kbps en ETACS, utilizando FSK. Los canales FVC y RVC, se utilizan para transmisiones de voz, para el enlace directo y de retorno respectivamente. Mientras los canales de voz están en uso, tres técnicas de señalización mantienen la supervisión entre la EM y la EB.

1. Señalización a través de los tonos SAT y ST, descritos más adelante.
2. Señalización de datos de banda ancha, los cuales pueden usar el canal de voz para transmitir cortos mensajes de datos que permitan a la EM y EB ajustar la potencia de la EM o iniciar un proceso de 'hand-off'.
3. Utilización de la técnica 'blank and burst', descrita anteriormente.

Modulación y Demodulación de Voz

Antes de ser moduladas en frecuencia, las señales de voz pasan por un 'compander', un filtro preénfasis, un limitador de desviación y un filtro posterior limitador de desviación, tal como se describe en la siguiente figura:



Proceso de modulación de voz AMPS

Este proceso es revertido en el receptor después de la demodulación.

Compander

Con el fin de acomodar un amplio rango dinámico de conversaciones, las señales de entrada necesitan comprimirse antes de modularlas. La compresión es hecha en una relación 2:1, lo cual produce un decremento en 1dB en el nivel de salida por cada 2 dB de incremento en el nivel de entrada. Las características están hechas para que un tono de referencia de 1 kHz de entrada produzca una desviación de frecuencia de ± 2.9 kHz de la portadora transmitida. El compresor confina la energía en un canal de ancho de banda de 30 kHz para AMPS (25 kHz en ETACS) y genera un efecto silencioso durante un 'burst' en la conversación. En el extremo del receptor, un proceso inverso al de compresión se lleva a cabo, así se asegura la restauración del nivel de voz de entrada con un mínimo de distorsión.

Preénfasis

La salida del compresor es pasada a través de un filtro de preénfasis, el cual tiene una respuesta nominal de 6 dB/octava, en un rango de 300 Hz a 3 kHz.

Limitador de Desviación

Este dispositivo asegura que la máxima desviación de frecuencia en la EM, esté en el límite de ± 12 kHz en AMPS y ± 10 kHz en ETACS. Se excluyen de esta restricción las señales de supervisión y señales de datos de banda ancha.

Filtro Post Limitador de Desviación

La salida del limitador de desviación se pasa a través de este filtro, el cual es del tipo pasa bajos. Dicho filtro está especificado para producir una atenuación (relativa a la respuesta de 1 kHz) mayor o igual a:

$$\text{Atenuación} = \alpha = 40 \log_{10} [f(\text{Hz})/3000] \text{ dB}$$

en un rango de frecuencias entre 3 a 5.9 kHz y 6.1 a 15 kHz. Para las frecuencias entre 5.9 kHz y 6.1 kHz, la atenuación (relativa a 1 kHz) debe ser mayor de 35 dB y para las frecuencias superiores a 15 kHz, la atenuación debe ser mayor de 28 dB (sobre 1 kHz). Este filtro asegura que las especificaciones sobre emisión externa en la banda especificada sean cumplidas, y asegura que los tonos SAT de 6 kHz, que están siempre presentes durante la llamada, no interfieran con la señal de conversación transmitida.

Especificaciones de la interfaz de radio en AMPS y ETACS

| PARÁMETRO | ESPECIFICACIÓN AMPS | ESPECIFICACIÓN ETACS |
|--|--|--|
| Acceso múltiple | FDMA | FDMA |
| Duplexing | FDD | FDD |
| Ancho de banda por canal | 30 kHz | 25 kHz |
| Canal de tráfico por canal RF | 1 | 1 |
| Frecuencia del canal móvil - base | 824-849 MHz | 890-915 MHz |
| Frecuencia del canal base-móvil | 869-894 MHz | 935-960 MHz |
| Modulación de voz | FM | FM |
| Desviación pico: Canales de control de voz/Ancho de banda en datos | +/- 12 kHz +/- 8 kHz | +/- 10 kHz +/- 6.4 kHz |
| Codificación del canal para transmisión de datos. | BCH (40, 28) on FC BCH (48, 36) on RC | BCH (40, 28) on FC BCH (48, 36) on RC |
| Velocidad de datos en control/Ancho de banda de canal | 10 kbps | 8 kbps |
| Eficiencia espectral | 0.33 bps/Hz | 0.33 bps/Hz |
| Número de canales | 832 | 1000 |

Señales de supervisión SAT y ST

Los sistemas AMPS y ETACS proveen señales de supervisión durante las transmisiones de los canales de voz que permiten a cada EB, a sus EM correspondientes, confirmar que están apropiadamente conectadas durante una llamada. El Sat siempre existe durante el uso de cualquier canal de voz.

Los sistemas AMPS y ETACS usan tres señales SAT, los cuales son tonos en las frecuencias 5970, 6000 o 6030 Hz. Una EB dada, constantemente transmitirá uno de estos tonos sobre el canal de voz, mientras éste se encuentre en uso. El SAT se sobrepone a la señal de voz tanto en el FVC como en el RVC y es casi inaudible para el usuario. La frecuencia particular del SAT denota la localización de la EB para un canal dado y es asignada por el MSC para cada llamada. Ya que el alto crecimiento del sistema celular abre la posibilidad de que existan más de tres EB co-canal en una misma región geográfica pequeña, el SAT habilita a la EM y a la EB para saber cuál de las bases co-canal es la que está manejando la llamada.

Cuando una llamada se establece y se da la asignación del canal de voz, el FVC en la estación base inmediatamente comienza la transmisión del SAT. Dado que la EM comienza a monitorear el FVC, debe detectar, filtrar y demodular el SAT que proviene de la EB y luego reproducir el mismo tono para la transmisión continua de regreso a la EB sobre el RVC. Este 'protocolo' lo requieren AMPS y ETACS para dedicar un canal de voz. Si el SAT no está presente o no es detectado apropiadamente después de un segundo intento, la transmisión se corta y el MSC hace uso del canal para una nueva conversación. La transmisión del SAT por la EM es momentáneamente interrumpida durante la

transmisión de datos 'blank and burst' sobre el canal de retorno. La detección y reemisión del SAT debe llevarse a cabo al menos cada 250 ms en la EM; de no ser así, puede ocasionar caída o terminación prematura de llamada.

El tono ST es un burst de datos de 10 kbps que indica terminación de llamada por el suscriptor. Un mensaje especial de 'fin-de-llamada', que consiste en unos y ceros alternantes, es enviado sobre el canal RVC por la EM por espacio de 200 ms. A diferencia del mensaje 'blank and burst', que suspende la transmisión del SAT, el tono ST debe enviarse simultáneamente con el SAT. La ST alerta a la EB de que el suscriptor ha terminado la llamada. Esto le permite saber tanto a la EB como al MSC que la llamada fue terminada deliberadamente por el usuario, a diferencia de una caída de llamada.

CODIFICACIÓN DEL BLANK AND BURST DE BANDA ANCHA

Los canales de voz de AMPS llevan ráfagas de datos (10 kbps) de banda ancha para señalización 'Blank and Burst'. ETACS utiliza 8 kbps para tal señalización. La codificación que se utiliza es Manchester, la que se aplica tanto a las transmisiones de los canales de control como a las transmisiones 'blank and burst' de los canales de voz. La ventaja de esta codificación es que la energía de la señal de voz se concentra alrededor de los 10 kHz y una poca energía se filtra en la banda de frecuencia por debajo de los 4 kHz. De esta manera el burst de datos de transmisión sobre el canal de voz puede fácilmente detectarse dentro del canal de 30 kHz y pasar casi desapercibido para el usuario. Los datos codificados se utilizan para modular la portadora de transmisión utilizando directamente FSK. En AMPS, los unos

corresponden a una desviación en frecuencia de + 8 kHz y los ceros a una desviación de ± 8 kHz; para ETACS es del orden de ± 6.4 kHz.

Un amplio arreglo de comandos se puede enviar desde y a la EM a través de esta señalización 'blank and burst', los cuales están definidos en las especificaciones de las interfaces de aire para AMPS y ETACS.

BIBLIOGRAFÍA

- BALSTRON, D. M. y Macario, R. C. V, "Cellular Radio Systems". Editorial Artech House. Londres.
- CARDAMA, Angel y otros, "Antenas". Servei de Publicacions de la UPC y CPET. 1993. España.
- CARDONA, Narcís "Comunicaciones Móviles (Apuntes de Curso)". Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- GROB, Bernard. "Circuitos Electrónicos y sus Aplicaciones"
- HERNANDO, José Ma., "Transmisión por Radio", Editorial Ramón Areces. Madrid
- LEE, William C. Y., "Mobile Communication Engineering". Editorial McGraw-Hill. New York
- SOBERON, Jorge, "Sistemas de telefonía móvil celular". Proyecto de grado. Universidad de Antioquia. Departamento de Ingeniería electrónica. Medellín, 1996.
- STEELE, Raymond, "Mobile Radio Communications". Editorial Pentech Press. Londres.