

---

## COMUNICACIONES CELULARES: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS

*Juan Reig Pascual\**

*Andrés E. Dmitruk\*\**

*Antonio R. Foti\*\**

**Este trabajo presenta las bases de la telefonía celular móvil, comenzando por la justificación de la división celular y reutilización de frecuencias. También introduce la estructura de red de un sistema celular para terminales móviles, junto a modulaciones y técnicas de multiplexación en sistemas celulares. Además, compresión digital de voz, codificadores LPC y mixtos y sistemas de comunicaciones celulares utilizados en la Argentina.**

**E**l crecimiento en la última década de la telefonía celular pública ha sido espectacular: tanto en el número de terminales celulares y abonados como en el avance vertiginoso en el desarrollo de nuevas tecnologías y sistemas. La telefonía celular ha conseguido acercar las posibilidades que ofrece la telefonía móvil al usuario medio.

Técnicamente, el servicio de radiotelefonía celular pública puede ser considerado como la evolución última de los sistemas de telefonía móvil privada iniciales.

El usuario de estos sistemas recibe las mismas prestaciones que ofrece

---

\* Universidad Politécnica de Valencia (España), Departamento de Comunicaciones.

\*\* Universidad Nacional de La Matanza, Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas

la red telefónica fija, pero con la ventaja de utilizar un equipo terminal móvil. Es decir, puede efectuar y recibir llamadas telefónicas automáticas con cualquier abonado fijo o móvil de la red telefónica. Para conseguir esto los sistemas deben reunir las siguientes características:

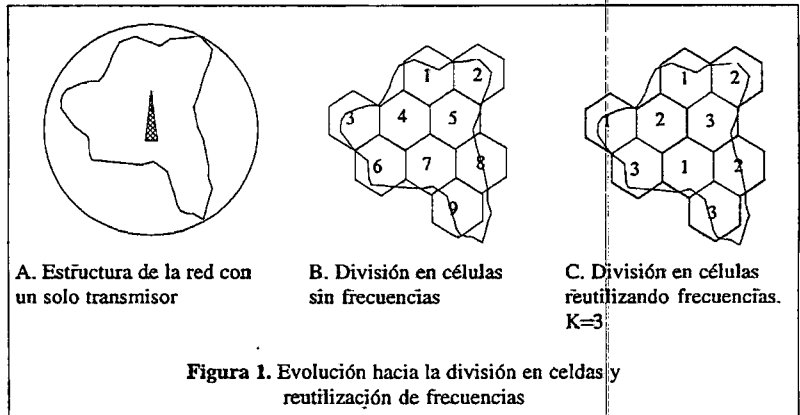
- Gran capacidad en número de abonados.
- Calidad telefónica al menos similar a la del servicio telefónico fijo.
- Utilización eficiente del espectro radioeléctrico, por lo que se requiere una adecuada planificación de frecuencias.
- Conmutación automática de radiocanales, de una forma transparente al usuario.
- Flexibilidad en el crecimiento del sistema.
- Coste razonable.

Estos objetivos se resumen en que el servicio debe conseguir la máxima cobertura, con un número limitado de canales radioeléctricos y con una capacidad elevada de tráfico en continua expansión.

**Características de una red celular:  
división de células y reutilización de frecuencias**

Los primeros sistemas de telefonía móvil incorporaban un potente transmisor que cubría una zona urbana extensa, que responde al ejemplo plasmado en la figura 1.A.

La zona de cobertura no se ajustaba perfectamente al área que se deseaba



proporcionar servicio: por un lado existían zonas de la ciudad no cubiertas con una calidad adecuada, y por otro se radiaba con un nivel de señal excesivo fuera de la zona de servicio. Por otra parte, el número de radiocanales (par de canales radioeléctricos utilizados en cada conversación simultánea) en cierto momento podía resultar insuficiente ante el crecimiento en número de abonados.

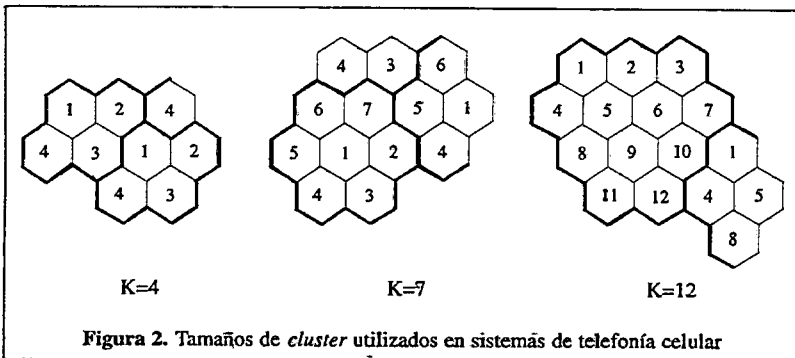
El primer problema se resolvió dividiendo el área total a cubrir en un conjunto de áreas pequeñas con la forma de **celdas hexagonales**, de manera que no quedaran zonas de sombra ni se solaparan las superficies de cobertura. En el centro de cada una de las células se coloca una estación base que transmite y recibe la señal hacia y desde las estaciones móviles. Se conseguía, así, una mejor adecuación de la zona de cobertura al área de interés, limitando la potencia en cada una de dichas estaciones. (Véase figura 1.B).

Además, distribuyendo los canales radioeléctricos de forma que se repitieran en células lo más lejanas que fuera posible se conseguía cursar una mayor capacidad de tráfico, solucionado así el segundo problema planteado. Este concepto se denomina **reutilización de frecuencias** y aparece representado en la figura 1.C.

El conjunto de células que no comparten canales radioeléctricos se denomina *cluster*, grupo o racimo.

En el ejemplo de la figura 1 si se dispusieran 27 radiocanales en total, en A se tendrían 27 canales para toda la superficie. Al dividir en células en B se podrían repartir tres canales por celda (asumiendo tráfico ofrecido distribuido uniformemente por toda la ciudad), con lo que disminuiría la capacidad de tráfico total cursado. Reutilizando frecuencias en C y con un tamaño de *cluster*  $K=3$ , a cada célula se le pueden asignar nueve canales, aumentando así la eficiencia con respecto al primer sistema.

En cada una de las celdas deben existir uno o varios canales de control, encargados como su nombre indica de funciones de control (asignación de canales, establecimiento de llamadas...) y señalización.



### Estructura de red de un sistema celular

La red telefónica celular pública debe ofrecer servicio a los terminales móviles de forma que sea cual fuere la célula en que se encuentre el usuario, se realice un seguimiento constante de su posición. De esta manera, al recibir una

Llamada o intentar realizarla se asigna un canal libre disponible en dicha celda.

La red se encargará de encaminar las llamadas originadas por los móviles a través de la misma red hasta otro terminal móvil, o bien por la red telefónica pública conmutada (PSTN) hasta un abonado con un terminal fijo.

Elementos de una red de telefonía celular

Estaciones Móviles (MS)

Se trata de equipos de radiotelefonía instalados en los vehículos o de terminales de bolsillo (portátiles), con los que el usuario tiene acceso al sistema vía radio. Contienen elementos análogos a los de un teléfono fijo: auricular, micrófono y teclado numérico con funciones opcionales. Funcionalmente consta de unidad de control, unidad lógica, trasceptor, codificador-decodificador y antena o antenas.

Sistema de Estaciones Base (BSS)

Es responsable de las funciones radio:

- Gestión de comunicaciones radio.
- Manejo del traspaso de llamadas entre las células en el área bajo su control.

- Control del nivel de potencia de la señal, tanto de las estaciones móviles como de las estaciones base.

Incluye las siguientes unidades funcionales:

- Controlador de Estaciones Base (BSC). Hace de interfaz entre el sistema de estaciones base y el sistema de conmutación. Realiza las siguientes funciones:

- Gestión de los canales radio
- Supervisión de las estaciones base
- Traspaso entre canales de la BSC
- Gestión de la transmisión hacia las estaciones base
- Transcodificación y adaptación de velocidades

- Trasceptores de Estaciones Base (BTS). Proporcionan cobertura radioeléctrica a una célula (o a varias si se utiliza sectorización).<sup>1</sup> Incorporan todos los equipos de radio necesarios para comunicar con las estaciones móviles de cada célula.

Las funciones más importantes son:

- Codificación/decodificación de los canales.
- Cifrado/descifrado del camino radio.
- Medidas de la intensidad de la señal.

<sup>1</sup> En la sectorización se divide una célula en varios sectores, cada uno de los cuales es cubierto con una antena direccional. Se asignan canales diferentes a cada uno de los sectores. Se suele utilizar sectorización en el plano horizontal con anchos de haz de antena de 60° (seis sectores por célula) y 120° (tres sectores por célula). Se utiliza principalmente para disminuir las interferencias cocanal procedentes de otros sectores.

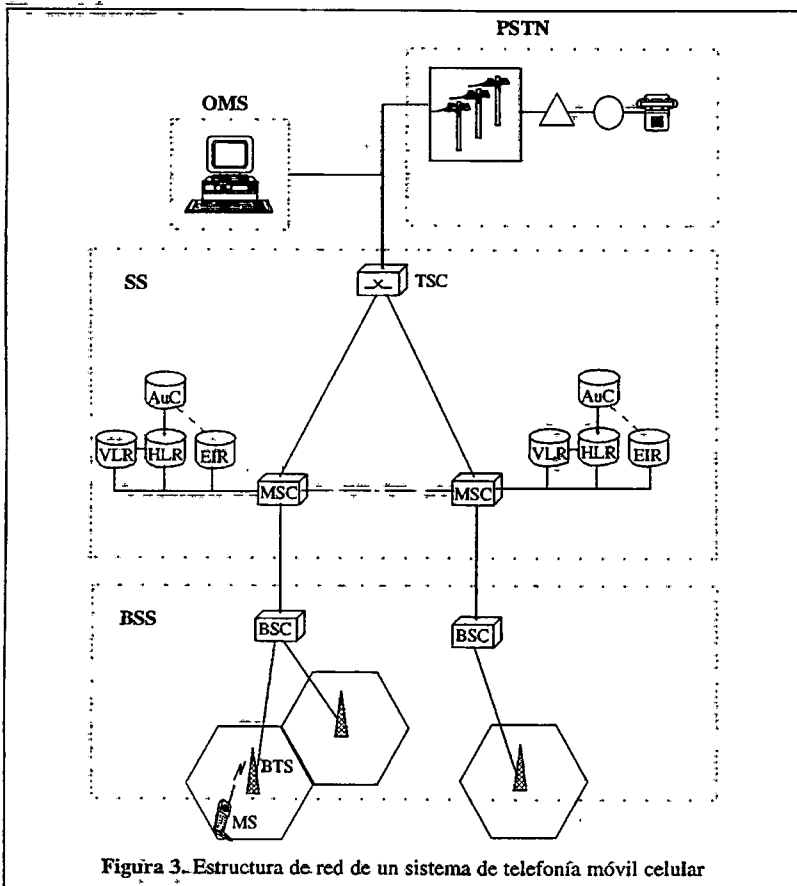


Figura 3.- Estructura de red de un sistema de telefonía móvil celular

### Sistema de Conmutación (SS)

Constituye la interfaz entre la red de telefonía móvil y la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN). Es el cerebro del sistema y su parte técnica resulta la más compleja. Gestiona los datos de los abonados al servicio, incluida su posición geográfica en cada momento (a qué célula están conectados). Se encarga de las funciones de conmutación y establecimiento de llamadas, así como análisis de numeración, autenticación y tarificación.

Consta de los siguientes elementos funcionales:

- Central de Conmutación de Móviles (MSC). Básicamente se ocupa de la conmutación telefónica.

Realiza las funciones de:

- Establecimiento, enrutamiento, control y terminación de las llamadas.
- Gestión de *hand-off* (traspaso de llamadas) entre centrales.
- Gestión de servicios suplementarios.

- Recolección de datos de tarificación y contabilidad.
- Registro de Abonados Locales (HLR). Es la base de datos local que contiene información de todos los abonados móviles, relativa a su suscripción y servicios suplementarios. Normalmente un HLR proporciona servicio a varios MSC. También guarda información de la situación de los abonados, de forma que las llamadas entrantes se puedan encaminar correctamente.
- Registro de Abonados Visitantes (VLR). Se trata de una base de datos que utiliza una MSC para todos los abonados que en un momento dado están en su área de servicio.
- Centro de Autenticación (AuC). Contiene las claves de identificación de los abonados que permite una comprobación para el acceso a la red.
- Registro de Identidad del Equipo (EIR). Es una base de datos que guarda información relativa al equipo móvil (fabricante, Nº de serie...). Se puede utilizar el EIR para bloquear estaciones móviles robadas, protegerlas contra usos indebidos y realizar estadísticas.

### Sistema de Operación y Mantenimiento (OMS)

El sistema de operación y mantenimiento, centralizado y remoto, proporcionará los medios necesarios para poder llevar a cabo una eficiente gestión de la red tanto de la parte de conmutación como de la de radio.

Las principales tareas a realizar por este sistema son:

- Gestión de la red celular.
- Administración de abonados.
- Gestión de averías.
- Medidas de funcionamiento de la red de conmutación y de radio.

### Funciones de control de la red

El funcionamiento de un sistema celular requiere la disponibilidad de las siguientes facilidades:

- Localización automática de la posición del móvil y mantenimiento de ella: *paging*.
- Posibilidad del móvil de acceder a la red con independencia de la zona geográfica en que se encuentre: *roaming*.
- Sintonización automática del canal óptimo (libre y con calidad aceptable) en cada caso, por parte del móvil.
- Transferencia automática del canal y del control durante una llamada en curso cuando el móvil pasa de una a otra célula: *hand-off*.

### Establecimiento de llamadas

Cuando un usuario conecta su terminal en posición *on* o en posición *stand by*, éste explora todos los posibles canales de control. La estación móvil se

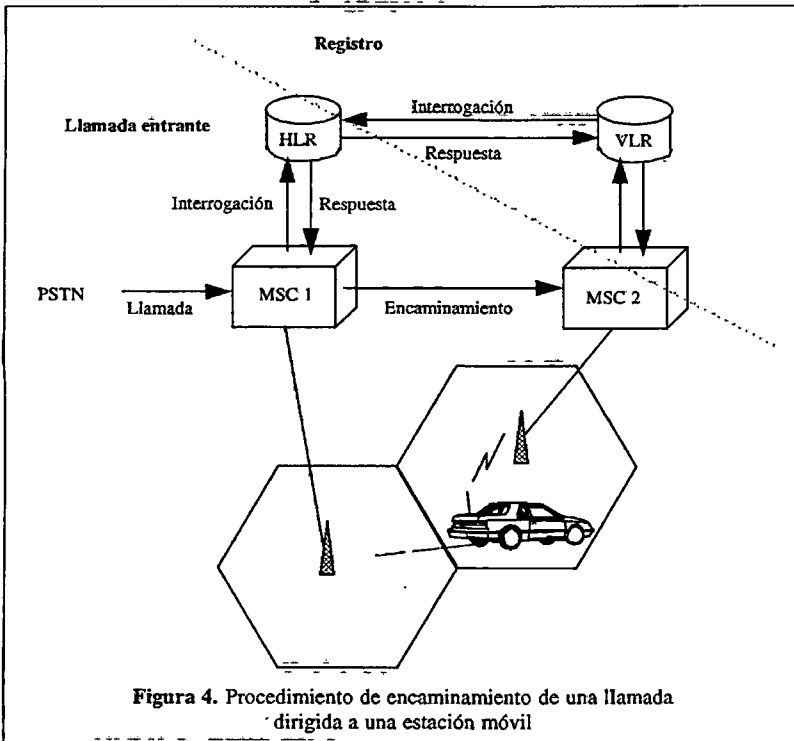


Figura 4. Procedimiento de encaminamiento de una llamada dirigida a una estación móvil

sintoniza al canal de mayor nivel, se sincroniza con la trama de datos emitida continuamente por la estación base a través del canal de control y comienza a interpretar los datos que le llegan. La información que emite la estación base por estos canales de control incluye, entre otros, los números identificativos de los móviles que tienen una llamada entrante en espera.

Por otra parte, los datos del abonado se leen del HLR y se almacenan en el VLR del MSC que cubre las celdas donde se encuentra el móvil. En el registro de abonados local (HLR) se anotará la identidad del actual VLR donde se encuentra el móvil y el hecho de que el móvil se encuentre activo.

En el caso de que se produzca una llamada procedente de un teléfono fijo, se sigue el siguiente proceso: mediante procedimientos similares a los utilizados en telefonía convencional, la llamada es encaminada desde la central local asociada al abonado que llama, hasta el MSC en el que el usuario móvil destino está dado de alta. Se interroga al HLR sobre la base del número del móvil destino marcado. El HLR indicará el MSC donde el móvil se encuentra como visitante y se encaminará la llamada hacia dicho MSC.

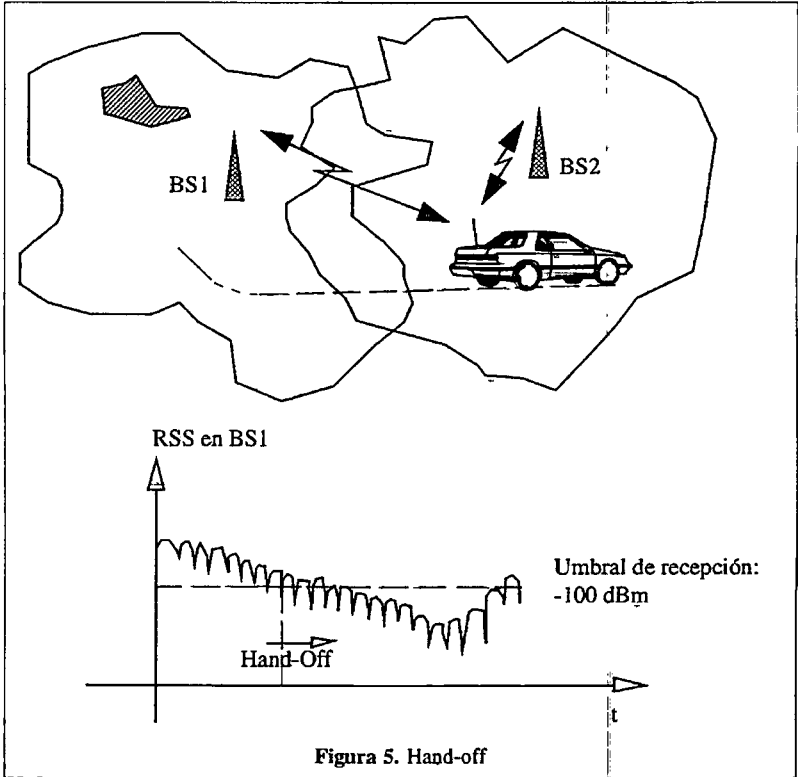


Figura 5. Hand-off

### Hand-off

Cuando una estación móvil se encuentra efectuando una llamada, frecuentemente al desplazarse cambiará del área de cobertura de una estación a otra y, a menos que se transfiera el canal vocal por donde se cursa, la llamada se perderá (figura 5). Se requiere una transferencia rápida y transparente para el usuario del canal vocal y de control de una célula a otra. Este proceso se denomina *hand-off* o *hand-over*.

Existen dos estrategias de *hand-off*:

### Hand-off asistido por la red

Se utiliza en sistemas analógicos de primera generación. El sistema continuamente monitoriza el nivel de señal (RSS) y calidad de todas las llamadas en curso. Cuando la señal captada en la estación base desciende por debajo de un umbral, se buscará otra estación base que pueda recibir del móvil con mayor calidad. Asignará un canal libre vocal en la nueva BS y se le indicará al móvil mediante un mensaje de señalización que conmute a la nueva frecuencia.



**Hand-off asistido por el móvil**

Se usa en los sistemas digitales de segunda generación. El terminal móvil es capaz por sí mismo de medir la calidad de las señales procedentes de estaciones base adyacentes, enviarla a la red y ayudar así en la ejecución del *hand-over*. Incorpora la ventaja de descentralizar tareas en la realización de un *hand-over*, liberando así a las estaciones base y al centro de conmutación de móviles de cierta carga en el proceso.

**Modulaciones y técnicas de multiplexación en sistemas celulares**

**Modulación**

Los sistemas analógicos de primera generación utilizan modulación de frecuencia (FM), pues este tipo de modulación resulta muy robusta frente a desvanecimientos muy presentes en entornos de comunicaciones móviles debido a propagación multitrayecto.

En la figura 6 aparece la nomenclatura utilizada.

El ancho de banda, suponiendo válida la aproximación de Carson, se obtiene:

$$B = 2 (f_d + f_m)$$

donde:

$f_m$ : Frecuencia máxima de la señal vocal en banda base (3 KHz)

$f_d$ : Excursión de frecuencia pico

$B$ : Ancho de banda del canal R.F.

	AMPS	TACS	NMT-900	NTT
$\Delta f$ (KHz)	30	25	12,5	25/12,5
$f_d$ (KHz)	$\pm 12$	$\pm 9,5$	$\pm 5$	$\pm 5 / \pm 2,5$
$B$ (KHz)	30	25	16	16/11

Tabla 1. Parámetros de modulación en sistemas analógicos de primera generación

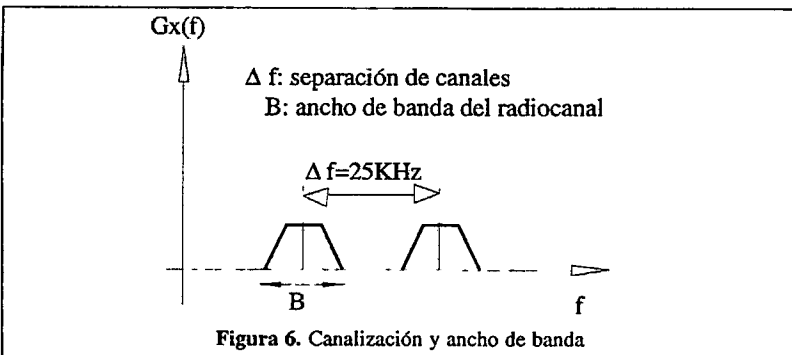


Figura 6. Canalización y ancho de banda

Las modulaciones digitales en comunicaciones celulares deben reunir los siguientes requisitos:

- Proporciones de bit erróneos (BER) con relaciones portadora ruido  $\frac{C}{N}$ , y portadora interferente  $\frac{C}{I}$  no demasiado altas.
- Elevada eficiencia de transmisión (bit/s/Hz).
- Facilidad de implementación en circuitos miniaturizados y económicos, con emisiones fuera de banda reducidas.
- Rápida resincronización.

Las modulaciones principalmente utilizadas en la actualidad son:

- GMSK (modulación de frecuencia por desplazamiento mínimo con filtro gaussiano).
- $\frac{\pi}{4}$  - QPSK (modulación por desplazamiento de fase con desfase de y con codificación diferencial).

La eficiencia que presentan este tipo de modulaciones es alta, desde aproximadamente 1 bit/s/Hz en GMSK hasta 1,6 conseguida con las modulaciones  $\frac{\pi}{4}$  - QPSK

	GSM	IS-54 ADC/D- AMPS	IS-95 ADC	JDC
Modulación	GMSK	$\frac{\pi}{4}$ - QPSK	DQPSK	$\frac{\pi}{4}$ - QPSK
Ancho de banda del radiocanal (KHz)	200	30	1230	25
Velocidad de transmisión (Kb/s)	271	48,6	1228	42

Tabla 2. Parámetros de modulación en sistemas digitales de segunda generación

### Técnicas de multiplexación

Los usuarios que en un instante determinado están utilizando los servicios de telefonía celular deben compartir eficientemente el espectro radioeléctrico. Existen varias técnicas de compartición del espectro radioeléctrico o multiplexación:

- FDMA (Multiplexación por División en Frecuencia).

Es el utilizado por los sistemas analógicos de primera generación. A cada uno de los usuarios que simultáneamente estén conversando se le asigna una porción del espectro o canal perfectamente determinado.

- TDMA (Multiplexación por División en Tiempo).

Se emplea en los sistemas digitales de segunda generación. Se divide la banda total disponible en sub-bandas. A cada sub-banda se le asigna una portadora o radiocanal al que se le aplica el TDMA, por lo que de hecho



modulada ocupa un ancho de banda considerablemente mayor que el del mensaje. En el receptor, la señal captada se desengancha al correrla con la secuencia PN. Los pulsos binarios que componen la secuencia PN se denominan *chips*. El número de *chips* por bit de datos del mensaje, *G*, es el *spread ratio* o ganancia de codificación.

La ventaja principal conseguida por esta técnica es la intensa reutilización de frecuencias, debido a la gran robustez frente a interferencias proporcionada por la diversidad en frecuencia. Con esto se logra una mayor capacidad de cursar tráfico.

Una característica del sistema es la posibilidad de realizar *soft hand-over*, de forma que un usuario en un momento determinado sea servido por dos estaciones base simultáneamente.

Como inconvenientes cabría citar el aumento de la complejidad de los equipos en cuanto a detección y sincronización.

El estándar propuesto IS-95 de sistema digital de segunda generación que utiliza CDMA reúne las características, expuestas en la tabla 3.

Técnicas de duplexado

Es también necesario multiplexar las conversaciones en el sentido móvil-base, base-móvil.

	IS-95
Ancho de banda del radiocanal	1,25 MHz
Velocidad de transmisión	9,6 Kb/s
<i>G</i>	128 Chips/21 dB
Velocidad interfaz aire	1,288 Mchips/s
Modulación	DQPSK

Tabla 3. Características IS-95

Existen dos técnicas:

- TDD (Duplexión por división en tiempo), en la que cada terminal efectúa la transmisión y recepción en *slots* o intervalos de tiempo diferentes, pero utilizando la misma portadora. Este tipo de técnicas sólo es utilizable en sistemas TDMA.

- FDD (Duplexión por división en frecuencia). Se ha aplicado a gran parte de los sistemas analógicos y digitales celulares. Consiste en la separación en frecuencia entre la transmisión en sentido base-móvil móvil-base.

**Compresión digital de voz: codificadores LPC y mixtos**

Las velocidades de transmisión sin compresión en un canal telefónico de la red fija son de 64 kbit/s. Tal velocidad es demasiado elevada para el reducido ancho de banda disponible en comunicaciones celulares. Es necesario, por tanto, aplicar técnicas de compresión con una reducción de velocidad importante, consiguiendo simultáneamente una calidad similar a la telefónica.

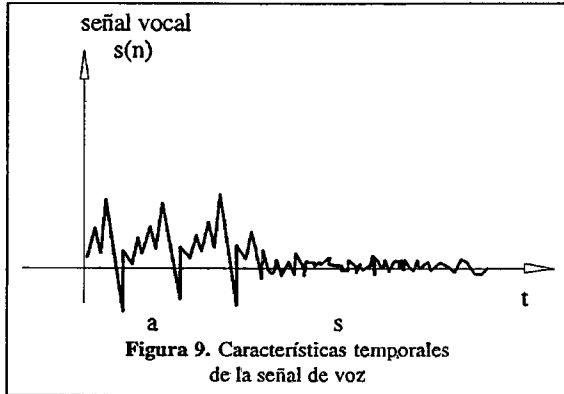
Modelo de producción de voz

Si se observa la forma de onda de una señal vocal representada en la figura 8 se pueden distinguir dos tipos de sonidos: sordo y sonoro, con las siguientes características:

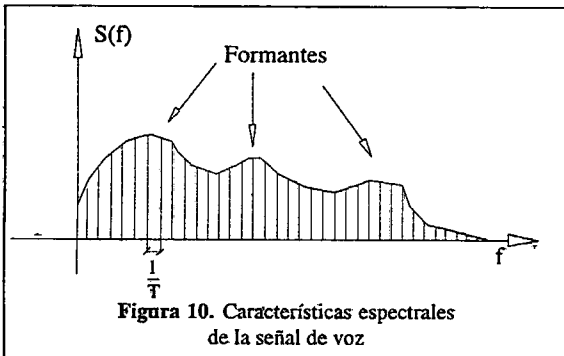
- Sonidos sordos. Presentan una pequeña amplitud y una variación rápida en forma de ruido coloreado, por lo que espectralmente dominarán frecuencias medias y altas.

- Sonidos sonoros. Por el contrario destaca su gran amplitud y su forma pseudo-periódica. Este período T que varía lentamente dependiendo de la entonación de la frase se denomina *pitch*.

Los  $\frac{1}{T}$  valores oscilan alrededor de 100 Hz en los hombres y alrededor de 200 Hz en mujeres y niños.



Espectralmente, la energía se concentra en formantes que corresponden a frecuencias de resonancia del tracto vocal y que varían según el sonido que se pronuncie (Figura 10).



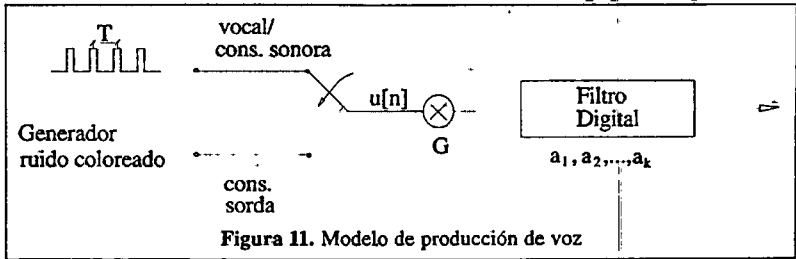
Es por tanto posible describir un modelo de producción de voz mostrado en la figura 11.

Codificadores LPC (Codificadores de predicción lineal de coeficientes)

Con el modelo anterior, si se es capaz

de estimar los parámetros involucrados en un intervalo donde la señal es cuasi-estacionaria, se pueden transmitir tan sólo esos parámetros en ese período, consiguiendo velocidades muy reducidas.

La codificación LPC sigue las siguientes etapas:



- Conversión A/D. Se muestra y cuantifica la señal analógica para obtener la representación digital de la señal.
- Se trocea la señal digital en intervalos fijos de 10-20 mseg (depende del sistema), donde puede ser considerada estacionaria.
- Se estima si el sonido es sordo o sonoro y el *pitch* en el caso de que sea sonoro.
- Se calculan los parámetros G de ganancia y los coeficientes del filtro digital para cada trozo.  $H(z)$  es la función de transferencia de un filtro IIR (*Infinite Impulse Response*) todo polos que representa la cavidad bucal:

$$H(z) = \frac{1}{1 - a_1 \cdot z^{-1} - a_2 \cdot z^{-2} - \dots - a_k \cdot z^{-k}}$$

donde  $a_i$  son los coeficientes del filtro digital.  
Por tanto:

$$\begin{aligned} G \cdot u[n] &\Rightarrow s[n] - a_1 \cdot s[n-1] - a_2 \cdot s[n-2] - \dots - a_k \cdot s[n-k] \\ s[n] &= a_1 \cdot s[n-1] + \dots + a_k \cdot s[n-k] + G \cdot u[n] \end{aligned}$$

Si se minimiza la potencia de la señal excitación  $G \cdot u[n]$  entonces:

$$s[n] \approx a_1 \cdot s[n-1] + \dots + a_k \cdot s[n-k]$$

y se podrá predecir la salida en toda la ventana en función de las muestras en los instantes anteriores.

Se trata, por tanto, de estimar los coeficientes  $a_i$  sobre la base del anterior requisito para cada intervalo.

- Para cada ventana se transmite información referente a:
  - Si el sonido es sordo o sonoro codificado con un bit.
  - Si es sonoro se transmite el *pitch*.
  - Coeficientes del filtro digital  $a_i$  y ganancia G.

Con la transmisión de estos parámetros se consiguen velocidades muy reducidas de 2 a 4 Kbit/s. El principal inconveniente es la baja calidad de

voz obtenida, con sensación de voz metálica sintetizada.

**Codificadores mixtos (LPC-forma de onda)**

La reducida calidad vocal conseguida por los codificadores LPC se produce por el hecho de despreciar el término residual  $G \cdot u[n]$  pues proporciona la suficiente información como para obtener una calidad aceptable.

Los codificadores mixtos paramétricos-forma de onda tratan de resolver este problema.

Responden al intento de transmitir partes de la señal que no quedan representadas adecuadamente por el modelo paramétrico.

Así, en los codificadores RELP (*Residual Excited Linear Prediction*) se codifica la señal error de predicción  $e[n] = G \cdot u[n]$  mediante técnicas vectoriales, sobre la base del sonido estimado.

En los codificadores CELP (*Code Excited Linear Prediction*) se envía una tabla de excitaciones típica residual para cada clase de sonido estimado por el LPC. Una clase de CELP lo constituyen los VSELP (*Vector Sum Excited Linear Prediction*) que consiguen velocidades menores que los RELP con una calidad subjetiva aproximadamente igual.

En la siguiente tabla se describen los tipos de codecs o vocoders y las velocidades a la salida del codificador en los sistemas digitales de segunda generación.

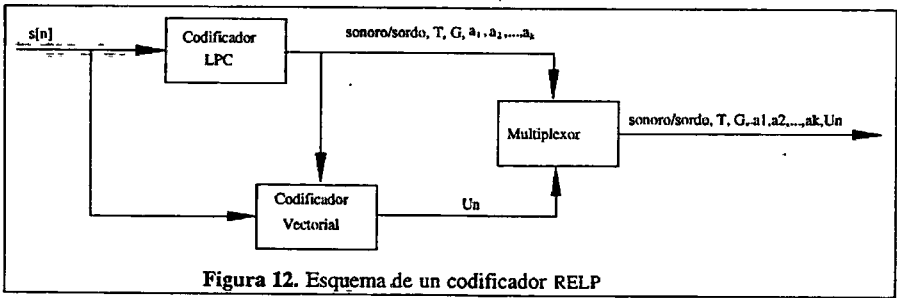


Figura 12. Esquema de un codificador RELP

	GSM	IS-54 TDMA	IS-95 CDMA	JDC
Tipo de vocoder	RELP	VSELP	VSELP	VSELP
Velocidad a la salida del vocoder (Kb/s)	13	8	8	8

Tabla 4. Codificadores utilizados en los sistemas digitales de segunda generación

Se están desarrollando codecs que permiten una compresión mayor de forma que se inserten en un slot actual dos canales de voz por lo que se

denominan *half-rate codecs*.

Las ventajas de los codificadores mixtos (LPC-forma de onda) se pueden resumir en:

- Gran relación de compresión.
- Calidad de transmisión telefónica aceptable.
- Posibilidad de escalar la protección contra errores por sensibilidad frente a ellos. Es decir, se pueden emplear códigos protectores de errores con una capacidad mayor de detección y corrección de errores para aquellos bits que llevan información más sensible a la inteligibilidad. Los bits residuales que proporcionan información adicional que ofrece mayor calidad se protegen menos o no se protegen.

Como inconvenientes cabría citar la gran complejidad en cuanto a diseño y procesado, ofreciendo valores de velocidad de cálculo de 15 a 20 MIPS (millones de instrucciones por segundo).

### **Sistemas de comunicaciones celulares utilizados en la Argentina**

#### **Sistemas analógicos de primera generación**

Como se ha explicado en apartados anteriores, los sistemas analógicos de segunda generación surgidos a finales de los años 70 y principios de los 80 se caracterizan por:

- Modulación analógica de frecuencia estrecha.
- Técnica de compartición del espectro de múltiplex por división en frecuencia.
- *Hand-off* asistido por la red.

En la Argentina actualmente funciona el sistema de comunicaciones celulares propuesto en Estados Unidos, AMPS (*Advanced Mobile Phone System*). Seguidamente se exponen algunas de sus características.

#### **AMPS**

##### **Banda de frecuencias utilizada**

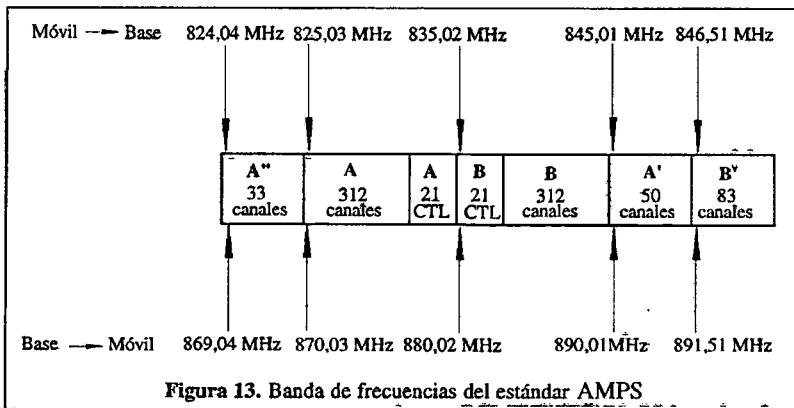
En la figura 13 aparece la banda de frecuencias utilizada en el estándar AMPS y sus variantes EAMPS y NAMPS.

Los canales de transmisión y recepción se encuentran separados 45 MHz. Existen básicamente dos tipos de canales: canales de tráfico, a través de los cuales se establece el contacto vocal entre los dos usuarios y pueden transportar datos a ráfagas que requieran cierta rapidez de transmisión, como órdenes de *hand-off*, y canales de control, que se utilizan para intercambiar entre la base y el móvil información de la configuración de la llamada.

La separación entre canales contiguos es de 30 KHz. Existen 21 canales dúplex o bidireccionales para cada uno de los dos operadores de red de una zona geográfica determinada. En el primer sistema especificado AMPS existían 666 canales de tráfico y de control para los dos operadores A y B.



Posteriormente se añadieron los canales de las bandas A', A'' y B' hasta un total de 416 canales vocales y de control por cada operador, constituyendo el sistema  $\bar{E}$ AMPS (AMPS extendido) utilizado en la actualidad. Una variante de este sistema, que aprovecha de una forma más eficiente el espectro es el NAMPS, que divide el ancho de banda de un canal AMPS de 30 KHz en tres canales con un ancho de banda aproximado de 10 KHz. Se conserva la compatibilidad con el sistema AMPS conservando el mismo ancho de banda de 30 KHz para los canales de control. Por tanto, el sistema NAMPS ofrece un total de 2370 (790x3) canales de voz más los 42 canales de control para los dos operadores.



### Señalización y control

La información de señalización y control se transmite mediante:

#### SAT

Se trata de un tono modulado en frecuencia transmitido en el canal vocal que sirve para controlar la continuidad del enlace base-móvil y móvil-base. Reduce los efectos de la interferencia entre células cocanal al asignar a cada una de dichas celdas adyacentes que comparten canales tonos diferentes: 5970 Hz, 6000 Hz y 6030 Hz.

#### ST

Es un tono de señalización con una frecuencia de 10 KHz. Se utiliza por la estación móvil para señalar:

- Desconexión (1,8 segundos de presencia ininterrumpida).
- Petición para enviar número de la llamada (400 ms de tono ininterrumpido).
- Reconocimiento de orden de *hand-off* (50 ms ininterrumpidos).
- *Alert* o tono de llamada (tono ininterrumpido).

### Señalización en canal de voz

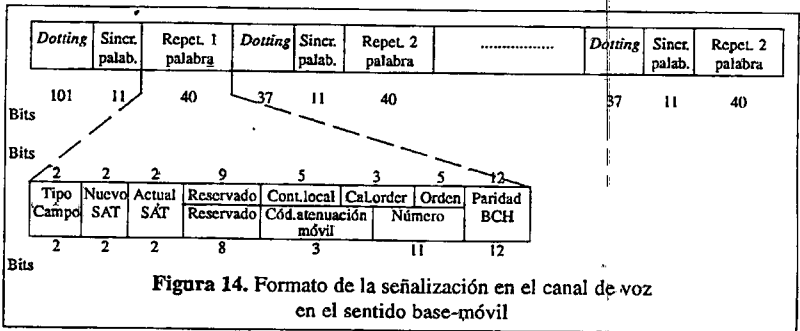
La información transmitida consiste en órdenes rápidas durante el esta-

blecimiento de una llamada, como puede ser una orden de *hand-off*. Se utiliza una modulación digital de fase FSK, con una velocidad de 10 Kb/s y con una desviación de frecuencia con respecto a la portadora de  $\pm 8$  KHz. Durante aproximadamente 100 ms se transmite once veces la palabra de datos, como se muestra en la figura 14. La información se codifica mediante un código Manchester y posteriormente se protege con un código BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) de (40,28).

**Canal de control**

Se transmiten únicamente datos codificados en código Manchester y con un código protector de errores BCH (48,36). La modulación empleada, al igual que los datos de señalización en el canal vocal, es FSK con una velocidad de datos de 10 Kb/s y una desviación de frecuencia de  $\pm 8$  KHz. La información que se puede transmitir en los dos sentidos de la comunicación se describe a continuación:

- FOCC (sentido base-móvil)
- BIS (*Busy-Idle Status*). Informa de la situación del canal de control en el sentido móvil-base. Puesto que el canal de control móvil-base es de múltiple acceso, este bit se encarga de indicar cuándo ese canal está ocupado, para reducir la probabilidad de colisión.



- Número de canales de tráfico base-móvil, móvil-base.
- DCC (Código de Color Digital). Sirve para indicar a la estación base que la información transmitida procede de una estación móvil de la red y no de una interferencia cocanal intensa.

- Ordenes, como:

*Alert*, que informa a una estación móvil que ha recibido una llamada y que conecte el tono de llamada.

*Paging*

*Direct Retry*, que avisa a los móviles que utilicen los canales de otra estación base por no poder encaminar la llamada.

- CMAC Es el máximo nivel de potencia que puede transmitir una estación móvil en una célula determinada.

Clase I	PRA (w) Clase II	Clase III
4.000	1.600	0.600
1.600	1.600	0.600
0.600	0.600	0.600
0.250	0.250	0.250
0.100	0.100	0.100
0.040	0.040	0.040
0.016	0.016	0.016
0.006	0.006	0.006

Tabla 5. Potencia de los terminales móviles AMPS

- RECC (sentido móvil-base)
  - MIN. Número telefónico de diez dígitos codificado en 34 bits.
  - ESN. Número de serie del equipo de 32 bits.
  - SCM. Se trata de la clase de estación dependiendo de la potencia que es capaz de radiar. Existen tres clases de estaciones que pueden variar su potencia transmitida en saltos de 4 dB, como se muestra en la tabla 5.
  - Respuestas de *paging*, llamada originada, confirmación de orden, etcétera.

### Protocolos de funcionamiento

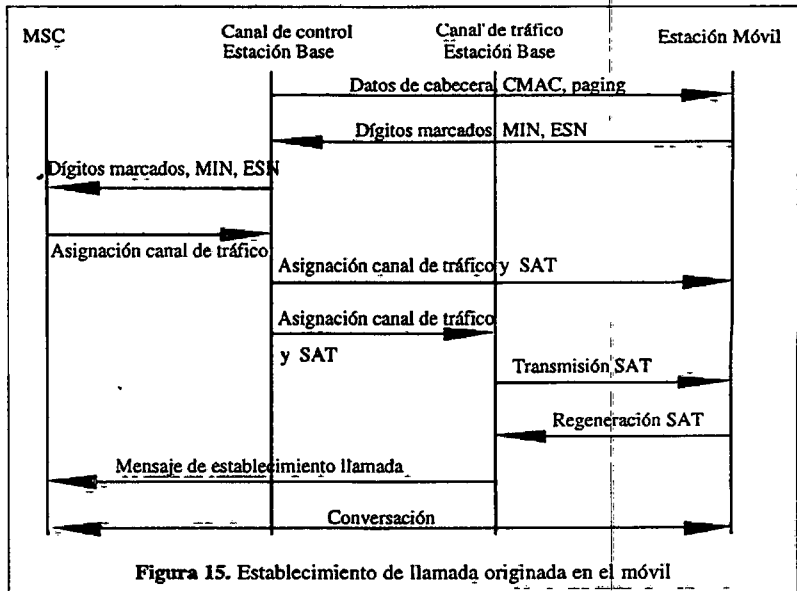
#### Llamada originada en el móvil

En un principio la estación móvil comprueba el nivel de señal de los 21 canales de control correspondientes al operador donde se encuentra inscrito el abonado. Se sincroniza a la trama de datos del canal que recibe mayor nivel e interpreta la información de cabecera y *paging*. Esto se realiza anteriormente al establecimiento de llamada, al conectar el terminal o al cambiar de célula.

Cuando el usuario desea realizar una llamada marca los dígitos correspondientes. Si la información recibida en ese momento por el canal de control en el terminal móvil en el campo BIS indica que el canal de retorno de control no está ocupado, la estación móvil enviará los dígitos del número marcado, su MIN, ESN y el BIS que avisa a los demás terminales que el canal RECC está siendo utilizado.

Esta información se redirecciona al MSC. El MSC comprueba la autenticidad del usuario con su MIN y ESN, empieza a encaminar la llamada y asigna un canal de tráfico en la celda donde se encuentra el usuario. Le envía al BSC un mensaje con la identidad del canal de tráfico. El BSC a

través del canal de control correspondiente informa a la estación móvil del número de canal de tráfico al que debe sintonizarse, así como el SAT que le ha asignado. Al mismo tiempo, ordena al BTS correspondiente que se prepare para recibir señal en el canal de tráfico de recepción y le comunica el SAT.



El BTS comienza a transmitir el SAT por el canal de tráfico. La estación móvil lo recibe y lo retransmite por el canal de tráfico. Al recibir el BSC la señal de SAT correctamente ya existe enlace continuo por canal de tráfico entre estación móvil y base y por tanto le indica al MSC mediante un mensaje que el establecimiento está completo. El MSC conecta la llamada con la PSTN o con el BSC correspondiente, con lo que ya se puede empezar la conversación, una vez que el abonado llamado ha descolgado.

#### Llamada con destino al móvil

Como en el caso anterior, el terminal móvil se sincroniza en el canal de control por donde recibe un nivel más alto de señal. La llamada habrá sido encaminada hasta el MSC correspondiente a la célula donde se encuentre ubicada la estación base. El MSC enviará a todos los BSC un mensaje de *paging* o búsqueda con el número del abonado llamado contenido en el campo MIN.

La estación móvil sintonizada continuamente al canal de control recibirá un mensaje de *paging* y lo comparará con la información de su MIN. Si

coincide responderá a la orden de *paging*, con un mensaje de respuesta de *paging* transmitido por su canal de control. Este mensaje será redireccionado directamente al MSC.

El MSC verifica la combinación recibida MIN/ESN y asigna un canal de tráfico y un SAT para la conversación al BSC. El BSC ordena al BTS donde se encuentra el terminal móvil que transmita la información correspondiente al número de canal de tráfico, el SAT y el MIN por el canal de control hacia los móviles. Simultáneamente, el BTS comenzará a enviar por el canal de tráfico el SAT asignado. El terminal celular, una vez decodificada la información recibida por el canal de control con su MIN, conocerá qué canal de tráfico deberá sintonizar y qué SAT tendrá que regenerar.

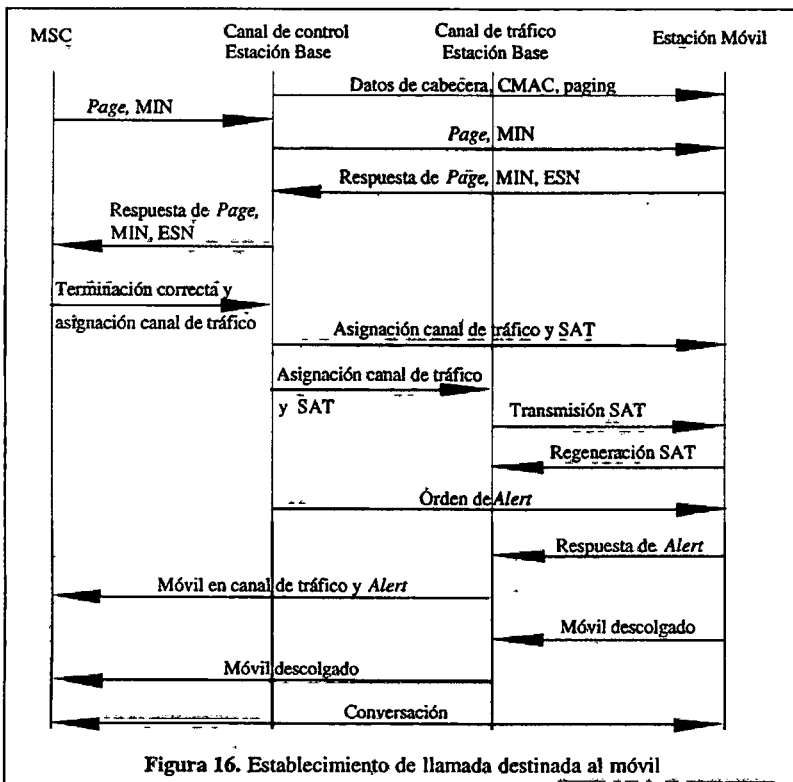


Figura 16. Establecimiento de llamada destinada al móvil

El terminal móvil recibe por el canal de tráfico el SAT transmitido por el BTS, lo regenera y lo envía por el canal de tráfico de retorno. Al recibir el SAT correctamente, el BSC transmite por el canal de control una orden de *Alert* al terminal celular correspondiente, que provoca que emita el tono de llamado. Al mismo tiempo, transmite un tono de señalización continuo por

el canal de tráfico de retorno, hasta que el abonado descolgue el teléfono o finalice una temporización. El BSC al recibir el ST indica al MSC que el usuario llamado está recibiendo el tono de llamado. El MSC se lo indica a través de la PSTN al terminal llamante que recibe un tono de espera. Al descolgar el teléfono ya no transmite el ST el terminal llamado, por lo que ya se está en disposición de comenzar la conversación utilizando el canal de tráfico.

#### Hand-off

El BSC que en un instante determinado está atendiendo al terminal celular (denominado BSC<sub>1</sub>) determina por el nivel de señal recibido por el canal de tráfico de retorno que es necesario un *hand-off*. Envía una petición de *hand-off* al MSC correspondiente con información relativa a la estación móvil (clase de estación móvil, código de atenuación) y el nivel de señal recibido.

El MSC recibe la petición de *hand-off* y a partir de tablas donde figuran para cada sector o célula todos los posibles sectores o células posibles objetivos de *hand-off*, determina aquellos sectores o células adyacentes al actualmente utilizado. El MSC envía a los BSC correspondientes peticiones de medidas de *hand-off*. Los BTS adecuados se sintonizan al canal de tráfico de retorno (sentido móvil-base) que utiliza en esos momentos el terminal móvil y realizan medidas del nivel de campo y si el SAT transmitido por el móvil se recibe correctamente. Dicha información se envía al MSC que mediante algoritmos pertinentes determina cuál es el sector o célula posible objetivo de *hand-off*, atendido/a por un BSC que en adelante se denominará BSC<sub>2</sub>.

El MSC elige un canal de tráfico libre de los asignados a BSC<sub>2</sub> para transportar la llamada y envía un mensaje de asignación de canal de tráfico al BSC<sub>2</sub>. El BSC<sub>2</sub> indica al BTS<sub>2</sub> el SAT asignado y el canal de tráfico. El BTS<sub>2</sub> sintoniza el canal de tráfico y empieza a transmitir el SAT. El BSC<sub>2</sub> envía al MSC un mensaje de reconocimiento de la asignación del canal de tráfico.

El MSC al recibir el mensaje de reconocimiento del BSC<sub>2</sub> envía una orden de *hand-off* al BSC<sub>1</sub> que contiene el número de canal de tráfico y el SAT asignado a la BTS<sub>2</sub>. El BTS<sub>1</sub> por el canal de tráfico que está empleando en ese instante la estación móvil transmite la orden de *hand-off*. La estación móvil confirma el *hand-off* transmitiendo durante 50 ms el tono de señalización ST. El BTS<sub>1</sub> recibe la confirmación de *hand-off*, se lo indica al BSC<sub>1</sub> y éste lo envía al MSC. La estación móvil se sintoniza al nuevo canal de tráfico, detecta el nuevo SAT, lo regenera y lo transmite. Una vez el BTS<sub>2</sub> recibe correctamente el SAT, se envía al MSC un mensaje de *hand-off* correcto. El MSC al recibir dicho mensaje transmite al BSC<sub>1</sub> una orden para que libere el canal de tráfico utilizado anteriormente. El BTS<sub>1</sub> libera el canal de tráfico quedando disponible para cualquier otro usuario.

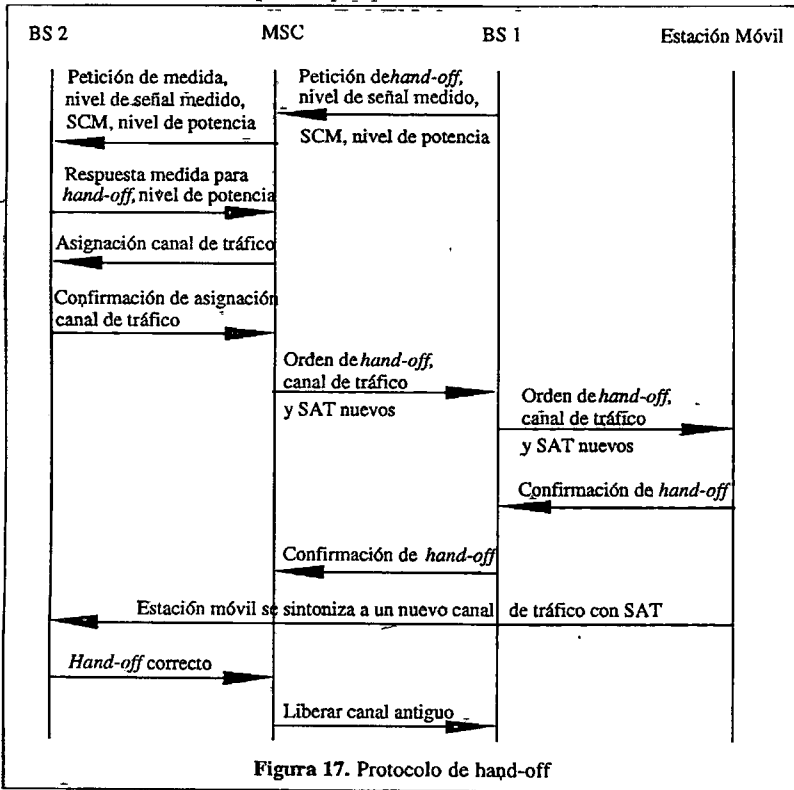


Figura 17. Protocolo de hand-off

La filosofía de *hand-off* empleada es la de *hand-off* asistido por la red, en cuanto que las estaciones base son las encargadas de realizar las medidas sobre el canal de tráfico de retorno, realizando las labores de decisión el MSC, sin que la estación móvil participe de una forma activa, tan sólo confirmando la orden de *hand-off*.

### Sistemas digitales de segunda generación

El crecimiento espectacular del número de usuarios requiere un aumento paralelo en la capacidad de cursar tráfico del sistema. En principio esto se puede conseguir incrementando el número de estaciones base y reduciendo el tamaño de las células. En entornos urbanos con una densidad de usuarios muy elevada, puede resultar muy costoso aumentar paulatinamente el número de estaciones base.

Técnica de acceso	Canales de tráfico por portadora RF	Patrón de reutilización K	Sectores por célula	Número de canales de tráfico	Erlang por célula	Factor de mejora con respecto a (7 x 3)	Factor de mejora con respecto a (4 x 6)
FDMA E-AMPS	1	7	3	395	37	1.0	
FDMA E-AMPS	1	4	6	395	60	1.6	1.0
TDMA IS-54	3	7	3	1185	138	3.7	
TDMA IS-54	3	4	6	1185	236	6.4	3.9
TDMA IS-54	6	7	3	2370	302	8.7	
TDMA IS-54	6	4	6	2370	522	14.1	8.7
TDMA IS-54	6	4	3	2370	550	14.9	9.2
TDMA IS-54	6	3	3	2370	746	21.3	12.4
CDMA IS-95	40	$\frac{4}{3}$	3	2379	2340	63.2	39

\* Datos de canales disponibles para  $\frac{E_b}{I_0} = 7\text{dB}$ ,  $\frac{C}{I}$  y factor de actividad vocal de 33 %

Tabla 6. Mejora en capacidad de los sistemas digitales utilizados en la Argentina con respecto al sistema analógico E-AMPS

A finales de los años 80 surgen dos estándares en EEUU, el sistema TDMA D=AMPS (IS-54), que utiliza la misma canalización que el sistema analógico AMPS, y el sistema CDMA (IS-95), que consiguen aumentar la capacidad considerablemente del sistema, merced a las nuevas técnicas de acceso utilizadas, modulaciones con eficiencia espectral alta y métodos de compresión digital con elevada ganancia de compresión.

En la tabla 6 se refleja la mejora en la capacidad introducida por los nuevos sistemas digitales, con las siguientes hipótesis:

- Ancho de banda disponible por usuario de 25 MHz.
- Probabilidad de bloqueo del 2 por ciento (probabilidad de que al intentar acceder al sistema todos los canales se hallen ocupados).
- El mismo porcentaje de tráfico para los canales de señalización se usa para los sistemas analógicos y digitales.

A continuación se comentan los dos estándares norteamericanos de



implantación reciente en Argentina.

#### D-AMPS (IS-54)

##### Elección TDMA

En 1988 la Asociación de Industrias de Telecomunicación norteamericana (*Telecommunication Industry Association-TIA*) propuso para el sistema digital americano TDMA un interfaz radio absolutamente compatible con el sistema analógico AMPS ya existente; a diferencia de lo acordado por la ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*) para el sistema GSM, que apostó por la implantación de un estándar completamente nuevo e incompatible con los sistemas de primera generación. Esto estuvo motivado, al margen de las razones técnicas que se comentarán seguidamente, por la buena penetración que el sistema analógico tiene en EEUU, de modo que el estándar adoptado permite a los operadores introducir de forma paulatina radiocanales digitales a medida que la capacidad lo demande, manteniendo el servicio para usuarios del sistema analógico. Como es lógico, en la República Argentina algún operador se ha decantado por esta opción una vez ya implantado y explotado el sistema analógico E-AMPS.

Los argumentos técnicos esgrimidos a favor de este sistema TDMA son los siguientes:

- Transición técnicamente sencilla. Se utiliza la misma canalización que los sistemas analógicos, puesto que el ancho de banda de los canales digitales coincide con el de los canales analógicos AMPS que es de 30 KHz. Esto posibilita, además de compartir el mismo plan de frecuencias, la utilización de los mismos filtros de los combinadores de la antena, cosa que no es factible con la transición del sistema AMPS al sistema N-AMPS que utiliza una canalización a 10 KHz.

- *Hand-off* asistido por el móvil. Los sistemas TDMA permiten con cierta facilidad que una unidad móvil realice medidas de señal procedente de estaciones base vecinas y las envíe a su estación base actual.

- Capacidad flexible. Una futura reducción de las velocidades proporcionadas por los codificadores compresores de voz a la mitad es fácilmente plasmada en el sistema doblando el número de *slots* en la trama TDMA, lo que equivale a transmitir la mitad de bits en cada *slot* para cada usuario.

#### Estructura de trama y slot

En la figura 18 se detalla la estructura de trama y *slot*. Cada trama tiene una duración de 20 ms, en la cual se transmiten tres *slots* correspondientes a tres usuarios con una longitud de 324 bits cada uno de ellos. La velocidad de la señal digital multiplexada es por tanto de:

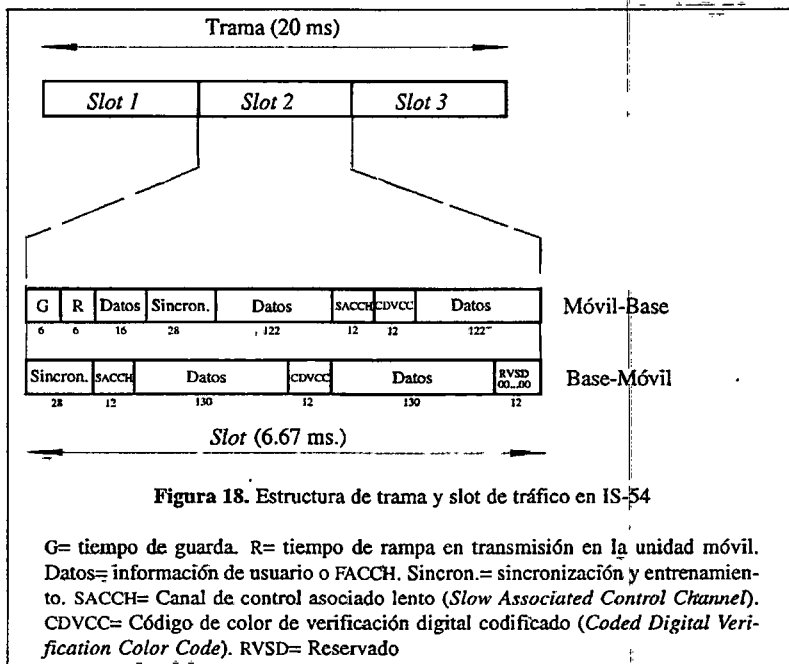
$$\frac{324 \text{ BITS} \cdot 3}{20 \text{ MS}} = 48.6 \text{ kB/S.}$$

Puesto que el ancho de banda queda limitado a 30 KHz para respetar la canalización del sistema AMPS, la eficiencia de la modulación digital deberá ser al menos de 1,6 bit/s/Hz, lo que se consigue con una modulación de cuatro niveles de envolvente no constante  $\frac{\pi}{4}$  - QPSK con un filtro en coseno alzado con factor de *roll-off* de 0.35.

En el caso de que se desarrollen codecs compresores a la velocidad mitad de la actual, se conseguiría insertar seis usuarios por portadora RF lo que equivaldría a una trama de seis *slots*.

Los *slots* del canal de tráfico no tienen la misma estructura en el sentido móvil-base que en el sentido base-móvil.

En el sentido móvil-base se reservan seis bits de guarda durante los cuales no se transmite portadora, con el propósito de que no se solape información procedente de varias estaciones móviles, y por tanto de *slots* adyacentes dentro de una misma trama en la estación base. En efecto, si una estación móvil durante una conversación se encuentra muy próxima a la estación base y otra estación móvil que está utilizando un *slot* adyacente se halla muy lejana a la misma estación, debido al retardo que sufre la información transmitida por esta última se solaparán algunos bits en la estación base. La longitud del tiempo de guarda de seis bits limita el máximo radio de la célula que es de aproximadamente diez millas.



La estación móvil en cada *slot* necesita un tiempo transitorio desde que se conecta para transmitir correctamente. En concreto se reservan 123 s o seis bits para este "tiempo de rampa".

Asimismo, 28 bits en cada *slot* se dedican a sincronización, tanto en el sentido móvil-base como en el sentido base-móvil.

El canal de control común utilizado en este sistema es el mismo que en el sistema AMPS (transmitido con otra portadora con modulación FSK a 10 Kb/s), con el fin de posibilitar que terminales celulares trabajen simultáneamente con los dos sistemas. Sin embargo, se utilizan dos canales digitales de control adicionales transmitidos dentro de cada *slot*: SACCH (Canal de control asociado lento) y FACCH (Canal de control asociado rápido).

- SACCH (*Slow Associated Control Channel*). Se distribuye en 12 bits en cada *slot* en el sentido móvil-base, base-móvil. Principalmente se utiliza para transmitir medidas desde la estación móvil con el propósito de realizar *hand-off*. Se denomina lento por su velocidad de 600 b/s (incluyendo protección frente a errores) más baja que la transmitida en el FACCH.

- FACCH (*Fast Associated Control Channel*). Se usa para transmitir órdenes urgentes como una orden de *hand-off* y reemplaza los bloques de información de voz cuando se transmite. La velocidad de transmisión bruta (incluyendo la protección frente a errores) es de 13 Kb/s.

El código de color digital es un identificador de ocho bits que separa usuarios que utilizan la misma portadora pero que se controlan en diferentes estaciones base próximas. Minimiza los efectos perjudiciales de una intensa interferencia cocanal. Se protege utilizando un código de *Hamming*, formando doce bits que configuran el CDVCC (*Coded Digital Verification Color Code*).

Por último se reservan doce bits en el sentido base-móvil (en la actualidad puestos a cero) para usos posteriores.

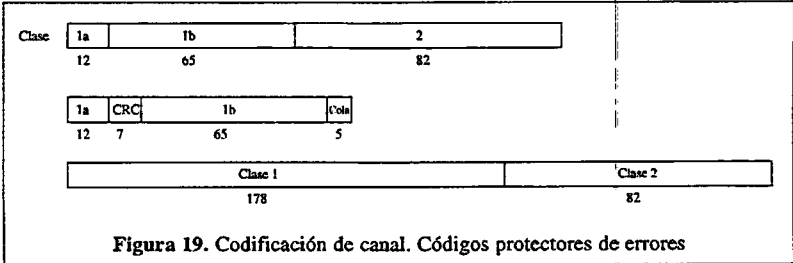
### Codificación de canal

El codificador de voz o vocoder utiliza una variante del algoritmo CELP (*Code Excited Linear Prediction*), el VSELP (*Vector Sum Excited Linear Prediction*). Si utiliza velocidad completa entrega cada 20 ms 159 bits, lo que significa una velocidad de 7.95 Kb/s. Estos 159 bits forman un bloque que se cataloga en tres clases según la sensibilidad de los bits frente a errores: Clase 1a (12 bits), Clase 1b (65 bits) y Clase 2 (82 bits).

Los bits de la Clase 1a se protegen con un CRC (código redundante cíclico) de 7 bits. Los bits 1a ya protegidos, 1b y 5 bits de cola (en total 89 bits) se codifican utilizando un código convolucional de razón 1/2 y con una *constraint length* de 6. A los 178 bits resultantes se les añade los 82 bits de la Clase 2 sin ninguna protección, formando un bloque de 260 bits. Puesto que se tienen que transmitir en tiempo real durante 20 ms, se necesita una velocidad de 13 Kb/s, que es la que proporciona la estructura de *slot* antes

descrita.

Los bloques de 260 bits se dividen en dos bloques y se entrelazan diagonalmente con el fin de minimizar los efectos de los errores tipo *burst* (ráfaga).



Los mensajes SACCH tienen una duración de 50 bits. Se protegen con un CRC de 16 bits y el resultado se codifica con un código convolucional de razón 1/2 formando 132 bits. Se distribuye en 22 *slots* por el proceso de entrelazado.

La protección de los mensajes FACCH es mucho mayor lo que permite la transmisión de órdenes de *hand-off* incluso en entornos con la calidad de la señal muy degradada. La longitud de los mensajes es de 49 bits que se protegen con un CRC de 16 bits. El conjunto se codifica con un código convolucional de razón 1/4 formando un total de 260 bits, que ocupan el lugar dedicado a los bits de información.

### Características diferenciales

Existen dos diferencias fundamentales con respecto al resto de sistemas analógicos y digitales:

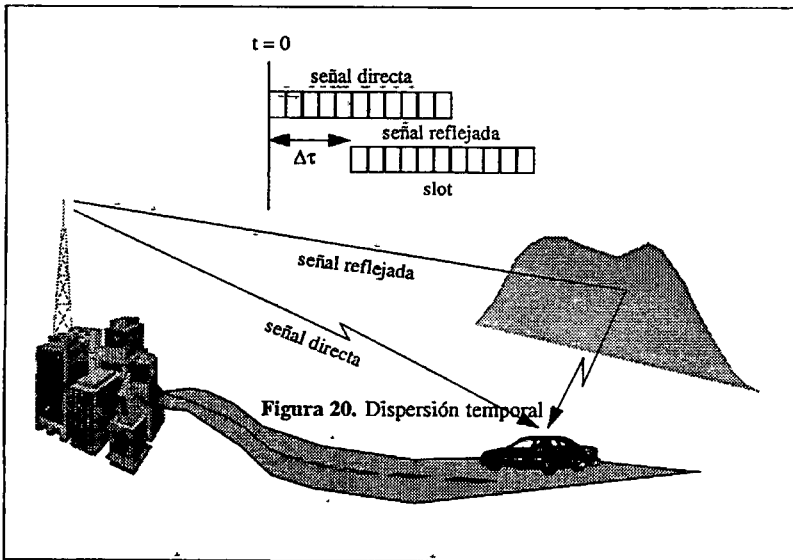
- **Hand-over asistido por el móvil.** Los sistemas digitales de segunda generación incorporan esta facilidad. En el caso del sistema D-AMPS, la estación base inicia el proceso. El terminal celular mide el nivel de potencia recibido (RSS) y la tasa de error binaria (BER) del canal de tráfico que está utilizando en la actualidad. También realiza medidas del nivel recibido de hasta doce canales correspondientes a estaciones base vecinas. El valor medio medido se transmite una vez por segundo mediante el SACCH. En el caso de que el terminal móvil esté utilizando transmisión discontinua DTX,<sup>2</sup> la información de la calidad del canal se envía por el FACCH.

- **Dispersión menor en el tiempo que el sistema GSM.** La señal transmitida vía radio puede sufrir reflexiones en edificios, montañas, de forma que la señal recibida por la unidad móvil o por la estación base constará básica-

<sup>2</sup> En la transmisión discontinua (DTX) la estación móvil desconecta el transmisor o disminuye el nivel de portadora transmitido en las pausas de la conversación. Esto consigue un ahorro sensible en la batería del móvil y reduce la interferencia producida por el terminal móvil.

mente de una señal correspondiente a un rayo directo y varias señales retardadas que se solaparán en el tiempo con la directa. En el caso del ejemplo de la figura 20 tan sólo existe un rayo reflejado retardado con respecto al rayo directo. Empezará a ser perjudicial para la recepción si el retardo supera el período de símbolo, en este caso:

$$T_s = \frac{1}{V \text{ símbolo}} \equiv \left( \frac{\pi}{4} - QPSK \right) \equiv \frac{1}{v \text{ bit}/2} = \frac{1}{24.3 \text{ Kb/s}} = 41 \mu\text{s}$$



Este retardo permitido es mucho mayor que el requerido en el sistema GSM de 16s, lo que evita que se utilicen en el sistema D-AMPS igualadores de canal. Por tanto, el sistema IS-54 es menos vulnerable a la dispersión temporal que el sistema GSM.

### CDMA (IS-95)

En el año 1993 la Asociación de Industrias de Telecomunicación Americanas (TIA/EIA) adoptó el sistema celular CDMA denominado IS-95, propuesto por la empresa *Qualcomm*. La principal ventaja que incorpora el sistema es el aumento considerable de la capacidad con respecto al sistema AMPS e incluso con relación al sistema IS-54, como se observa en la tabla 6. Por otra parte, al igual que en el sistema IS-54, también existe compatibilidad con la canalización del sistema AMPS, por lo que se puede introducir paulatinamente el nuevo estándar con los servicios digitales y con el **aumento de la capacidad** de tráfico que conlleva. En la Argentina la implantación de este nuevo estándar se halla en proceso de

estudio por parte de algún operador.

#### Interfaz radio

Las características generales del sistema son las siguientes: cada usuario dispone de una banda de 1.25 MHz que es compartida simultáneamente con los otros usuarios asignados a este mismo radiocanal. El codificador de voz utilizado es VSELP. La velocidad de transmisión de cada usuario es de 9.6 Kb/s, pero como a cada bit se le asignan 128 chips (ganancia de procesamiento igual a 128) la velocidad del interfaz radio es de 1.2288 Mchip/s ( $128 \times 9,6$ ) (véase tabla 8). El ancho de banda de cada canal RF se limita a 1.25 MHz. Como secuencia de ensanchamiento se utiliza una secuencia PN de longitud 32768 ( $2^{15}$ ) chips. El tipo de modulación utilizada es QPSK. El sistema opera de forma diferente según se trate del enlace descendente (base a móvil) o del enlace ascendente (móvil a base).

- Enlace base-móvil. En este enlace se utiliza modulación coherente<sup>3</sup> binaria de fase (BPSK) con una velocidad de 19200 símbolos/s. La señal de voz de datos se codifica con un código convolucional de razón  $r = 1/2$ , con *constraint length*  $K = 9$ . Puesto que el receptor no conoce la fase de referencia, se envía una secuencia piloto sin modular que se utiliza para sincronización del sistema y para estimar la respuesta impulsional del canal, que se utilizará posteriormente en el receptor RAKE para realizar la demodulación coherente. Cada estación base o sector (si se utiliza sectorización) dispone de hasta 64 canales distintos. Sin embargo, en la práctica, debido a limitaciones de interferencias tan sólo se puede utilizar un máximo de canales típicamente de 40 por portadora RF. Puesto que ya ha sido asignado un código a la secuencia piloto, se pueden destinar teóricamente un total de 63 canales para control y tráfico. Se dispone, por tanto, de  $N$  canales para control (*paging channels* y *sync channels*) y  $(63-N)$  de tráfico.

- Enlace móvil-base. Se utiliza modulación incoherente de 64 niveles con una velocidad de 4800 símbolos/s. Los datos son codificados con un código convolucional de razón  $r = 1/3$  y  $K = 9$ . Posteriormente se modulan por una secuencia PN larga de longitud  $(2^{41} - 1)$  definida para cada usuario. El receptor RAKE dispone de un circuito de control de potencia en bucle cerrado que garantiza que todos los usuarios lleguen a la estación base con un nivel de señal prácticamente igual, lo que evita problemas de intermodulación en dicha estación base y el efecto *near-far*. Este efecto se produce cuando las señales procedentes de terminales celulares muy lejanos, a pesar de estar protegidas con códigos ortogonales, son enmascaradas por señales muy intensas procedentes de estaciones móviles cercanas a la base,

<sup>3</sup> En las modulaciones coherentes el receptor necesita en todo momento conocer la fase en valor absoluto de la señal transmitida. Por el contrario, en las modulaciones incoherentes el receptor no requiere saber la fase de la señal modulada.

puesto que espectralmente ocupan el mismo radiocanal. Por otra parte, se optimiza el consumo de batería y se minimiza la interferencia cocanal radiada desde una célula a otras contiguas.

#### Características diferenciales

El sistema CDMA IS-95 presenta, además, las siguientes características:

- Inmunidad frente a interferencias, merced a la utilización de técnicas de espectro ensanchado con secuencias pseudo-aleatorias, por lo que con valores C/I negativos (en unidades logarítmicas) se consiguen calidades adecuadas. Esto lo hace muy apropiado para entornos urbanos en sistemas de gran capacidad limitados por interferencias.

- Fácil transición desde el sistema AMPS. El sistema IS-95 puede utilizar los mismos radiocanales que el sistema analógico, puesto que a efectos de este último sólo se apreciará un ligero incremento en la potencia de ruido captada por la antena. En efecto, la potencia radiada por el sistema CDMA se distribuye en toda la banda de 1.25 MHz, de modo que en la banda de 30 KHz correspondiente a un radiocanal AMPS únicamente se radía una mínima parte ( $2.4 \cdot 10^{-3}$ ) de la potencia del transmisor.

- *Soft hand-off*. Puesto que todas las células utilizan el mismo radiocanal pero con distintas secuencias de código, no se produce un cambio de frecuencia al desplazarse un móvil de una célula a su vecina. Se produce un cambio de secuencia, por lo que en tiempo real se conmuta de una secuencia a otra sin que lo aprecie prácticamente el usuario. Esto es lo que se denomina *soft hand-off*.

- Sectorización por capacidad. En FDMA y TDMA cada célula se divide en sectores para disminuir el efecto de las interferencias. Con esto se consigue que la capacidad disminuya sensiblemente por el hecho de subdividir el tráfico total a cursar en cada celda en tráfico ofrecido a varios sectores, cada uno de los cuales recibe una capacidad menor. En CDMA la sectorización se utiliza únicamente para incrementar la capacidad. Por ejemplo, si se divide cada celda en tres sectores, en cada uno de ellos se pueden utilizar todos los canales correspondientes al mismo radiocanal, que vienen dados por las secuencias pseudoaleatorias utilizadas. De esta forma, aproximadamente se triplica la capacidad con respecto al caso de no usar sectorización.

- Degradación mínima de la calidad al aumentar el número de usuarios por encima de una cota teórica. En cada célula para mantener unos determinados niveles de calidad se admiten 40 canales por portadora RF. Si un usuario nuevo accede al sistema la relación portadora/interferente C/I disminuirá tan sólo  $10 \log 41/40 = 0.24$  dB.

- Eliminación de los procedimientos de asignación de canales y gestión de frecuencias. En efecto, cada radiocanal es reutilizado en todas las células con lo que no es necesario una planificación de frecuencias.

- Necesidad de control de potencia en tiempo real en las unidades móviles. Para que el sistema admita una capacidad elevada, se requiere que todos los canales que utilizan el mismo radiocanal procedentes de estaciones móviles diferentes y diferenciados por secuencias pseudoaleatorias lleguen a la estación base con la misma potencia.

**Tabla 7**  
Características técnicas de los estándares celulares digitales

	GSM 900/ DCS 1800	D-AMPS Norteam.	IS-95 Norteam.	PDC Japón
Banda de frecuencia (MHz):				
- Base-Móvil	935-960 (GSM)	869-894	869-894	810-826
- Móvil-Base	1805-1880 (DCS)	824-849	824-849	1477-1501
	890-915 (GSM)			940-956
	1710-1785 (DCS)			1429-1453
Separación dúplex (MHz)	45 (GSM) 95 (DCS)	45	45	130 (0.9 GHz) 48 (1.5 GHz)
Separación radiocanales (KHz)	200	30	1250	25 entrelazado
Número total de radiocanales dúplex	124 374	832	20	640 (0.9 GHz) 960 (1.5 GHz)
P.R.A. máxima estación base (W). portadora RF de cresta	300 (GSM) 20 (DCS)	300	Sin especificar	Sin especificar
Potencia transmitida nominal estación móvil (W)	8, 1.0 (GSM) 1, 0.125 (DCS)	9, 3	0.2, 0.01	3
Potencia pico, media (W)	5, 0.625 (GSM) 0.25, 0.031 (DCS)	4.8, 1.6		2
	2, 0.25 (GSM) 0.8, 0.1 (GSM)	1.8, 0.6 Sin definir		0.8 0.3
Radio de célula (Km)				
- mínimo	0.5	0.5	Sin especificar	0.5
- máximo	35	20	50	20 (hasta 60)
Técnica de acceso	TDMA	TDMA	CDMA	TDMA
Método de duplexado	FDD GSM 900/ DCS 1800	FDD D-AMPS Norteam.	FDD IS-95 Norteam.	FDD PDC Japón
Canales de tráfico/ portadora RF				
- inicial	8	3	61	3
- capacidad por diseño	16	6	122	6
Modulación	GMSK (BT = 0.3)	$\pi/4$ -QPSK (roll-off = 0.35)	QPSK (ensanch.) - BPSK - 64 nivel.	$\pi/4$ -QPSK desplazado (roll-off = 0.5, filtro Nyquist)



COMUNICACIONES CELULARES: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS

	GSM 900/ DCS 1800	D-AMPS Norteam.	IS-95 Norteam.	PDC Japón
Mínima C/I (dB)	9	16	6	13
Velocidad de transmisión (Kb/s)	270.833	48.6	9.6 por canal 614.4 por portadora	42
Estructura de canal de tráfico Codec a velocidad completa				
- Velocidad (Kb/s)	13	8	8.55 máx.	6.7
- Protección errores	9.8 Kb/s FEC + procesado de voz	5 Kb/s FEC		
- Algoritmo	RPE-LTP	CELP	CELP velocidad variable	VSELP
Datos				
- Velocidad neta (Kb/s)	hasta 9.6	2.4, 4.8, 9.6	hasta 9.6	Sin definir
- Otras velocidades (Kb/s)	hasta 12	Sin definir	Sin definir	Sin definir
Canal de control				
- Canal control común con AMPS	Sí (3)	Compartido	Sí	Sí
- Canal control asociado	Rápido y lento	Rápido y lento	Ráfaga y <i>embedded</i> <i>dim</i>	Rápido y lento
- Canal control <i>broadcast</i>	Sí (3)	Sí	Sí	Sí
Capacidad ecualización <i>delay spread</i> (s)	20	60	Receptor RAKE	No se requiere
<i>Hand-off</i>				
- Asistido por móvil	Sí	Sí	Sí	Sí
- Intersistema	No	Sí, entre D- AMPS y AMPS	Desde CDMA hacia AMPS	No
Capacidad <i>roaming</i> internacional	Sí >16 países	Sí	Sí	Sí
Diseño para múltiples operadores en la misma área	Sí	Sí	Sí	Sí

Hacia los sistemas de tercera generación:  $\overline{UTMS}$  y  $\overline{FPLMTS}$

A mediados de la siguiente década (2000-2010) se ha estimado que el porcentaje de usuarios de telefonía móvil se situará en torno al 40 por ciento de la población activa en los países desarrollados. Este aumento en la capacidad saturará los sistemas celulares actuales. Los servicios y la calidad requeridos serán superiores a los proporcionados por los sistemas celulares digitales de segunda generación.

A finales de los 80, la Unión Europea impulsó un programa de investigación denominado RACE (*Research on Advanced Telecommunications for Europe*), cuyo objetivo era el estudio de técnicas que permitiesen la crea-

ción de un sistema de comunicaciones móviles para finales de siglo, el llamado UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Systems*). Los resultados están siendo normalizados por el SMG5 de la ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*). Paralelamente dentro de la ITU-R (Sección de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones) el Grupo de Trabajo 8/1 está desarrollando actividades de estandarización para la definición del denominado FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunications Systems*). Tanto el UMTS como el FPLMTS se han denominado sistemas celulares de tercera generación y su objetivo es unificar los sistemas celulares actuales y las diferentes propuestas dentro de una infraestructura común radio capaz de ofrecer una amplia gama de servicios a principios de los años 2000. En adelante se nombrará esta conjunción de sistemas como FPLMTS.

#### Características de los sistemas de tercera generación

Los objetivos del FPLMTS incluyen:

1. Incorporación de una gran variedad de sistemas. A partir de los sistemas e infraestructuras actuales el sistema ha de permitir una evolución posterior viable, técnica y económicamente. El diseño ha de ser suficientemente flexible para el desarrollo de nuevos sistemas.
2. Compatibilidad de servicios dentro del FPLMTS y con la red fija. El sistema debe tener capacidad de soportar una gran variedad de servicios, tanto de baja como de alta velocidad, incluyendo subconjuntos de los servicios de RDSI (Red digital de servicios integrados) de banda estrecha y ancha, tanto por conmutación de paquetes como de circuitos. Debe permitir, asimismo, la integración de los servicios existentes en la actualidad.
3. Elevada calidad. El sistema ha de proporcionar una calidad similar a la proporcionada por la red fija.
4. Utilización de pequeños terminales de bolsillo. Debe ser capaz de soportar teléfonos de reducido tamaño o de bolsillo, que puedan ser utilizados en cualquier lugar del mundo: en casa, ciudad, áreas rurales, en oficinas, etcétera.
5. Compatibilidad entre terminales. Debe ser capaz de soportar una gran variedad de terminales, desde el teléfono básico de bolsillo hasta terminales sofisticados que soporten una gran variedad de servicios o una selección específica de éstos.
6. Interconexión entre usuarios. Debe ser posible la conexión entre usuarios móviles y entre usuarios móviles y usuarios fijos utilizando la red fija o cualquier red de telecomunicaciones.
7. Variedad de servicios. El usuario móvil debe disponer de una amplia gama de servicios de voz, datos, gráficos, vídeo, multimedia, etcétera.
8. Cobertura universal. Se debe proporcionar capacidad de conectividad en una gran extensión geográfica, en la totalidad de los países desarrolla-

dos y potencialmente en el mundo entero, adecuando el tamaño de las células a la densidad de tráfico.

9. Economía en espectro. Se deben utilizar técnicas de compartición del espectro que presenten una elevada eficiencia espectral.

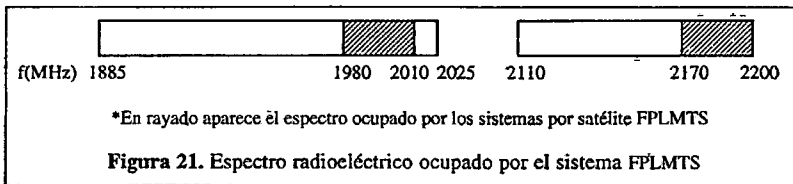
10. Arquitectura abierta. Se debe permitir fácilmente la introducción de avances en la tecnología y diferentes aplicaciones.

11. Estructura modular. Empezando desde una configuración sencilla y simple se debe poder formar modularmente estructuras complejas y de gran tamaño.

#### Banda de frecuencia

En 1992, en la WARC (*World Administrative Radio Conference*) de Málaga-Torremolinos se definió el espectro ocupado por el sistema FPLMTS.

Se utilizarán dos bandas asimétricas (1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz). De esta banda se destinan dos subbandas (1980-2010 MHz y 2170-2200 MHz) a servicios FPLMTS por satélite, como se muestra en la figura 21.



De los 230 MHz disponibles en total para el sistema, se estima un mínimo de 170 MHz para sistemas con estaciones móviles y los 60 MHz restantes para sistemas con terminales personales.

FPLMTS contempla las técnicas de duplexión: FDD y TDD.

#### Tecnologías de multiplexación

No se ha optado en la actualidad por una técnica de multiplexación. Se están barajando varias posibilidades: TDMA con mejoras a partir del sistema GSM, CDMA y sistemas híbridos. EEUU se ha inclinado por los sistemas CDMA e híbridos. En Europa, dentro del programa RACE, se han creado dos proyectos: ATDMA, encargado de proponer sistemas TDMA dentro FPLMTS, y CODIT, que desarrolla sistemas CDMA.

#### Servicios y aplicaciones

Los servicios de voz, audio de calidad, datos, mensajería, vídeo y multimedia proporcionados por el sistema FPLMTS obligarán a una flexibilidad en cuanto a velocidades de transmisión y a ofrecer capacidades elevadas de hasta 2 Mb/s en una primera fase.

Se espera que FPLMTS utilice codecs para voz (2, 4, 8, 16, 32 y 64 Kb/s), codecs para vídeo, datos y soporte protocolos de datos que cubran un amplio conjunto de aplicaciones RDSI.

Los requerimientos en cuanto a velocidad, tasas de error netas<sup>4</sup> y retardo de la señal varían dependiendo de las aplicaciones. En la siguiente tabla se presentan las exigencias en cuanto a velocidad, tasa de errores neta y retardo de algunos servicios propuestos en el FPLMTS.

**Tabla 8.** Ejemplos de servicios UMTS especificando las calidades referidas

Teleservicio	Velocidad (Kb/s)	Tasa de error neta	Retardo (ms)
Voz telefónica	8-32	$10^{-4}$	40
Datos a velocidad baja-media	2.4-64	$10^{-6}$	200
Sonido calidad de programa	128	$10^{-6}$	200
Audio de alta calidad	940	$10^{-5}$	200
Videotelefonía	64-384	$10^{-7}$	40-90
Mensajes cortos	1.2-9.6	$10^{-6}$	100
Correo electrónico	1.2-64	$10^{-6}$	100
Telefax (G4)	64	$10^{-6}$	100
<i>Broadcast/Multicast</i>	1.2-9.6	$10^{-6}$	100
Anuncios públicos	8-32	$10^{-4}$	90
Datos a alta velocidad	64-1920	$10^{-6}$	100
Acceso a bases de datos	2.4-768	$10^{-6}$	>200
Telecompra	2.4-768	$10^{-6}/10^{-7}$	90
Periódico electrónico	2.4-2000	$10^{-6}$	200
Servicios de control remoto	1.2-9.6	$10^{-6}$	100
Localización y navegación	64	$10^{-6}$	100
Telescritura	32-64	$10^{-6}$	90

Fuente: IEEE Personal Communications, febrero 1995

#### Jerarquizaciones celulares

La universalidad de las comunicaciones del FPLMTS significa la disponibilidad de los servicios en una multiplicidad de entornos (rural, urbano, residencial, interiores, áreas de negocios, etcétera) y situaciones (peatones, vehículos tanto públicos como privados, etcétera). Por lo tanto, en este futuro sistema de comunicaciones móviles, el terminal de usuario deberá de adaptar de forma automática sus características técnicas (velocidad de transmisión, tipo de modulación, potencia, etcétera) en consonancia con las distintas condiciones de propagación radioeléctricas a las que se verá enfrentado en los

<sup>4</sup> Tasa de error neta es la probabilidad de bit erróneo una vez demodulada la señal, ecualizada, aplicados los algoritmos de desentrelazado, protección de errores y descompresión.

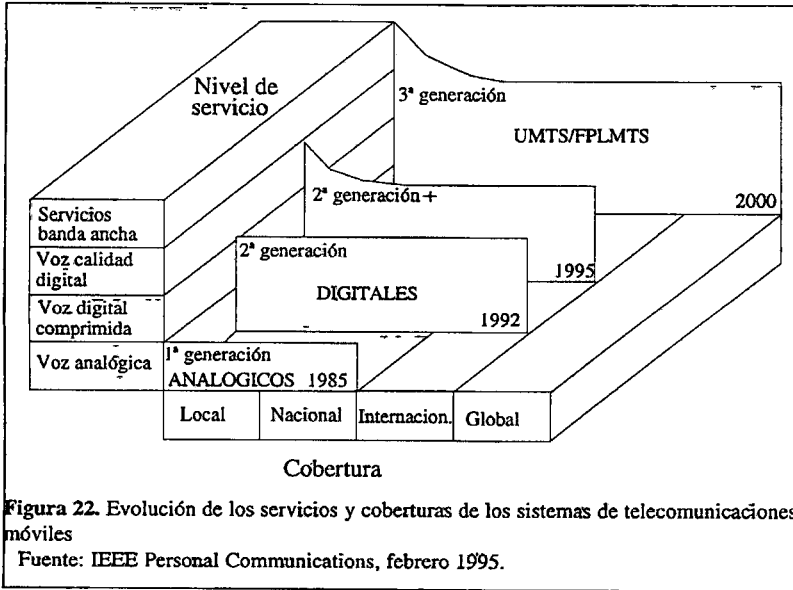


Figura 22. Evolución de los servicios y coberturas de los sistemas de telecomunicaciones móviles

Fuente: IEEE Personal Communications, febrero 1995.

diferentes escenarios (interiores, exteriores) en los que el sistema va a operar y con los distintos servicios (voz, datos, radiomensajería, etcétera) que el usuario desee.

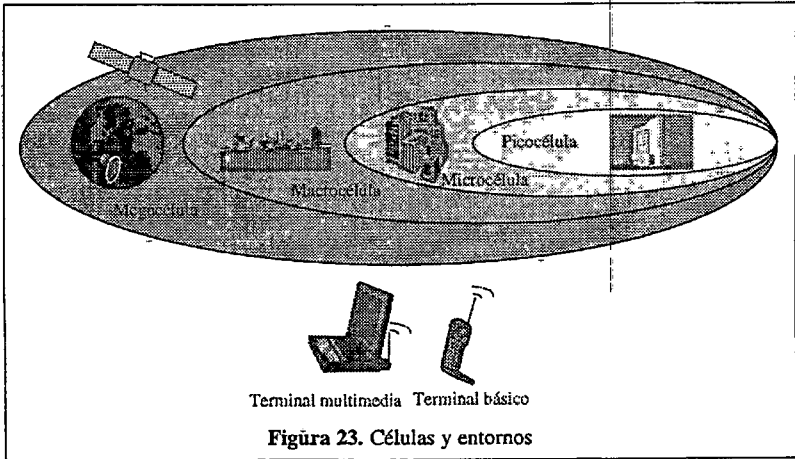
En la figura 22 se presenta la evolución de los sistemas de telefonía celular desde los primeros sistemas analógicos de primera generación hasta los sistemas digitales UMTS/FPLMTS, con respecto al nivel de servicio que ofrecen y la cobertura geográfica que proporcionan a esos servicios

Para establecer un servicio con cobertura universal y capaz de soportar una alta densidad de usuarios se piensa en establecer una red celular de estructura jerárquica compuesta por megacélulas, macrocélulas, microcélulas y picocélulas, como se ilustra en la figura 23.

1. Megaceldas. Proporcionan cobertura a grandes superficies por medio de una red de satélites de órbita baja (LEO), órbita alta (HEO) y geoestacionarios (GEO). Cubren principalmente zonas de baja densidad de tráfico, escasamente pobladas o países poco desarrollados.<sup>5</sup>

2. Macrocelas. Las macrocelas tienen radios de cobertura que van desde algunos kilómetros hasta aproximadamente 35 km. Atienden zonas de tráfico reducido o moderado, típicamente entornos rurales o suburbanos. Las antenas terrestres que configuran las estaciones base pueden utilizar sectorización y se sitúan en torres o en tejados de edificios altos, en cualquier caso típicamente de 10 a 50 metros por encima del nivel del suelo.

<sup>5</sup> Tráfico mide la ocupación de un canal, circuito, servidor, etcétera. Se expresa en Erlangs (E).



3. **Microceldas.** Las denominadas microceldas tienen un radio de cobertura que no supera el kilómetro. Se ubican las estaciones base de microceldas en zonas urbanas con tráfico medio o elevado con antenas situadas de tres a cinco metros por encima del nivel del suelo, de forma que la propagación electromagnética se ve guiada por la presencia de los edificios de la calle.

4. **Picoceldas.** Las picoceldas se corresponden con zonas de tráfico elevado: oficinas, centros de negocio, aeropuertos, etcétera. Cabe distinguir entre picoceldas instaladas en el interior de edificios o *indoor*, con distancias de cobertura menores que 50 metros, y las instaladas en el exterior de los edificios o *outdoor*, con radios menores que 200 metros. Los servicios de banda ancha se van a implantar preferentemente en este tipo de celdas.

Tipo de célula	Megacelda	Macrocelada	Microcelda	Picocelda
Radio de celda	100-500 km	≤ 35 km	≤ 1 km	≤ 50 m <i>indoor</i> ≤ 200 m <i>outdoor</i>
Instalación BS	LEO/HEO/ GEO	Tejados/ Torre	Poste/ Pared	Interior edificio/Exterior
PRA BS	≈ 100 W	10 - 50 W	≈ 1 W	3 mW <i>indoor</i> 20 mW <i>outdoor</i>
Tráfico <sup>s</sup>	≤ 0,01 E/km <sup>2</sup>	≤ 20 E/km <sup>2</sup>	≤ 500 E/km <sup>2</sup>	≤ 20.000 E/km <sup>2</sup> / piso ( <i>indoor</i> ) ≤ 1.500 E/km <sup>2</sup> ( <i>outdoor</i> )
Velocidad del terminal		≤ 500 km/h	≤ 100 km/h	≤ 10 km/h

**Tabla 9.** Ejemplo de parámetros de diferentes celdas tipo

Las ventajas que proporciona esta jerarquización con cobertura global es la facilidad de gestión de la red. Es el caso de las macroceldas que en conjunto cubren importantes superficies de terreno y actúan como sombrillas para las microcélulas y picocélulas, puesto que:

A. Por un lado, permiten dar servicio a usuarios en vehículos que se desplazan rápidamente. Obsérvese que si se utilizaran las microcélulas el terminal móvil debería realizar procesos de transferencia de estación base (*hand-over*) cada pocos segundos, con lo que el volumen de señales de control entre las distintas estaciones base y centros de control del sistema crecería de forma desproporcionada.

B. Por otro lado, permiten simplificar la gestión del sistema puesto que, cuando un terminal de usuario intenta realizar un proceso de transferencia de estación base en micro o picocélulas y se encuentra todos los canales de la nueva estación base ocupados, puede transferir provisionalmente el control a la macrocélula correspondiente, hasta que existan radiocanales disponibles en la correspondiente estación base.

Por último, deberá utilizarse de modo extensivo el concepto de *hand-over* asistido por el móvil, con el objeto de evitar un elevado trasiego de señales de control generado en los procesos de transferencia de célula, que adquieren importancia en el caso de microcélulas y picocélulas,

### Aspectos de red

Las ventajas derivadas de la utilización de sistemas de transmisión y conmutación de redes de banda ancha (sistema ATM *Asynchronous Transfer Mode*) influirá en la variedad de servicios de banda ancha ofrecidos el sistema FPLMTS.

Por otra parte para proporcionar los servicios ofrecidos por FPLMTS, en los entornos adecuados, incluyendo *roaming* global se precisa la utilización de técnicas de gestión de red inteligentes, principalmente IN.

### Conclusiones

Se ha ofrecido una visión general de los sistemas celulares terrestres y su evolución centrándose en el caso de la Argentina.

La marcha hacia el sistema universal FPLMTS, que configurará las comunicaciones móviles del siglo XXI se ha descrito con algunos requerimientos y características. No en vano se prevé que a principios del siglo XXI en Europa existan cerca de cien millones de usuarios y en todo el mundo cerca de 300 millones.

En la Argentina la importancia de las comunicaciones celulares queda patente con el incremento importante de los usuarios celulares en los últimos años. A finales de los 80, cuando se comenzó a ofrecer servicio en Buenos Aires, el número de usuarios era de unos pocos miles. En 1993 se

cuantifican 45 mil usuarios de teléfonos celulares, llegando a finales de 1995 a la cifra de 310 mil abonados de los cuales alrededor de 265 mil residen en el Gran Buenos Aires.

## Glosario de acrónimos

ADC: (*American Digital Cellular*) Sistema celular digital utilizado en EEUU.

AMPS: (*Advanced Mobile Communication System*) Sistema celular analógico propuesto en EEUU.

AuC: (*Authentication Centre*) Elemento que contiene las claves de verificación para el acceso de un usuario a una red de telefonía celular.

ATDMA: (*Asynchronous TDMA Mobile Acces*) Proyecto de definición de acceso de sistema radio TDMA del estándar UMTS en el seno de RACE.

ATM: (*Asynchronous Transfer Mode*) Sistema de conmutación de redes de banda ancha.

BCH: (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) Código protector de errores utilizado en sistemas de telefonía celular analógicos en el canal de control.

BER: (*Bit Error Rate*) Tasa de error binaria.

BIS: (*Busy-Idle Status*) Bit que indica que el canal de control RECC del sistema AMPS está siendo ocupado por un terminal móvil.

BPSK: (*Binary Phase Shift Keying*) Modulación de fase con dos niveles o binaria. Se emplea en el enlace base-móvil del estándar IS-95.

BS: (*Base Station*) Estación base.

BSC: (*Base Station Controllor*) Controlador de estaciones base.

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

BTS: (*Base Trasceiver Station*) Trascceptor de estaciones base.

CDMA: (*Code Division Multiplex Acces*) Multiplexación por división de código.

CDVCC: (*Coded Digital Verification Color Code*). Código de verificación digital de color. En sistemas celulares digitales minimiza el efecto perjudicial de interferencias cocanal elevadas.

CELP: (*Code Excited Linear Prediction*) Codificador compresor de voz utilizado en los sistemas celulares digitales norteamericanos.

CMAC: Código correspondiente al máximo nivel de potencia que puede transmitir una estación móvil en una célula determinada.

CODIT: (*Code Division Testbed*) Proyecto dentro de RACE que contempla las técnicas de acceso CDMA para la definición del estándar UMTS.

CRC: (Código redundante cíclico) Código protector de errores utilizado en sistemas celulares.

DAMPS: Sistema celular digital de segunda generación americano que utiliza una técnica de acceso por división en el tiempo. También se denomina IS-54.

DCC: (*Digital Color Code*) Código de color digital.

DCS: (*Digital Cellular System*) Sistema de telefonía celular digital de segunda generación similar al sistema GSM, pero que opera en la banda de 1800 MHz

DQPSK: (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) Modulación diferencial de fase en cuadratura.

DSCDMA: (*Direct Sequence Code Division Multiplex Access*) Multiplexación por división de código utilizando secuencia directa de ensanchado de la señal pseudoaleatoria. Se utiliza en el estándar IS-95.

DTX: En la transmisión discontinua (DTX) la estación móvil desconecta el transmisor o disminuye el nivel de portadora transmitido en las pausas de la conversación. Esto consigue un ahorro sensible en la batería del móvil y reduce la interferencia producida por el terminal móvil.

EAMPS: (*Extended Advanced Mobile Phone System*) Sistema AMPS americano con la ampliación de nuevos canales de 30 Khz hasta un total de 832 incluyendo los de control.



EIR: (*Equipment Identity Register*) Registro de identidad de equipo. Base de datos que guarda información relativa al equipo móvil (fabricante, número de serie...).

ETSI: (*European Telecommunication Standard Institute*) Organismo de normalización europeo responsable de las normas relativas al sistema digital GSM.

FACCH: (*Fast Associated Control Channel*) Canal lógico de control utilizado en el sistema digital TDMA IS-54. Se usa para transmitir órdenes urgentes como una orden de *hand-off*.

FDD: (*Frequency Duplexion Division*) Técnica de separación en frecuencia entre la transmisión en sentido base-móvil y móvil-base.

FDMA: (*Frequency Division Multiplex Access*) Técnica de multiplexación de canales radioeléctricos por división en frecuencia, utilizada en los sistemas analógicos de primera generación.

FM: (*Frequency Modulation*) Modulación analógica de frecuencia, utilizada en los sistemas celulares analógicos.

FPLMTS: (*Future Public Land Mobile Telecommunications Systems*) Futuro sistema de telefonía móvil de tercera generación, propuesto por la ITU-R.

FOCC: (*Forward Control Channel*) Canal de control dedicado utilizado en el sistema AMPS en el sentido base-móvil.

FSK: (*Frequency Shift Keying*) Modulación de frecuencia digital utilizada en la transmisión de información de control en el estándar AMPS.

GMSK: (*Gaussian Minimum Shift Keying*) Modulación digital de frecuencia con filtro gaussiano de premodulación, utilizada en el sistema celular de segunda generación GSM.

GMS: (*Groupe Spéciale Mobile o Global System for Mobile Communications*). Sistema de telefonía celular digital de segunda generación utilizado principalmente en Europa pero cuyo uso se va extendiendo a otras zonas del planeta.

HLR: (*Home Location Register*) Base de datos local que contiene información de todos los abonados móviles, relativa a su suscripción y servicios suplementarios.

IS-54: Norma que recoge las características del sistema celular digital de segunda generación TDMA surgido en EEUU.

IS-95: Norma que recoge las características del sistema celular digital de segunda generación CDMA, propuesto por la compañía Qualcomm

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

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

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

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

MIPS: Millones de instrucciones ejecutadas por segundo.

MS: (*Mobile Station*) Estación móvil.

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

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

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

PSTN: (*Public Switched Telephonic Network*) Red Telefónica Pública Conmutada.

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

RACE: (*Research on Advanced Telecommunications for Europe*) Programa de investigación de la Unión Europea cuyo objetivo es el estudio del sistema UMTS.

RECC: (*Reward Control Channel*) Canal de control en el sentido móvil-base en el estándar americano AMPS.

REL: (*Residual Term Excited Long Term Prediction*) Técnica de compresión LPC utili-

zada en el sistema celular digital GSM, en la que se codifica la señal error de predicción mediante técnicas vectoriales.

RSS: (*Received Signal Strength*) Nivel de potencia recibida en un canal.

SACCH: (*Slow Associated Control Channel*) Canal de control asociado lento. Se utiliza en los sistemas TDMA IS-54 fundamentalmente para transmitir medidas desde la estación móvil con el propósito de realizar *hand-off*.

SAT: (*Signal Audio Tone*) Se trata de un tono modulado en frecuencia transmitido en el canal vocal de los sistemas analógicos AMPS que sirve para controlar la continuidad del enlace base-móvil y móvil-base.

SCM: (*Station Class Mark*) Clase de estación móvil en función de la potencia que puede radiar.

SS: (*Switching System*) Sistema de Conmutación.

ST: (*Signaling Tone*) Tono de Señalización un tono de señalización insertado en el canal vocal del sistema AMPS, que se utiliza para indicar desconexión, petición para enviar número de la llamada, reconocimiento de orden de *hand-off*...

TDD: (*Time Division Duplexion*) Técnicas de duplexación en la que cada terminal efectúa la transmisión y recepción en *slots* o intervalos de tiempo diferente, pero utilizando la misma portadora

TDMA: (*Time Division Multiplex Access*) Técnica de multiplexación de canales radioeléctricos por división en tiempo, utilizada en algunos sistemas digitales de segunda generación.

TIA: (*Telecommunication Industry Association*) Asociación de Industrias de Telecomunicación norteamericana.

TSC: (*Transit Switching Center*) Central de tránsito que comunica a los MSC entre sí y con la red telefónica pública conmutada.

UMTS: (*Universal Mobile Telecommunications Systems*) Sistema de telefonía móvil de tercera generación propuesto por la ETSI.

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

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

WARC: (*World Administrative Radio Conference*) Conferencia mundial celebrada en Málaga-Torremolinos donde se definió el espectro ocupado por el sistema FPLMST.

## BIBLIOGRAFIA

Cardona, N., Reig, J., Flores, S., Rubio, L., Fraile, R., *Curso de Comunicaciones Móviles*, Universidad Politécnica de Valencia, en prensa.

Balston, D.M., Macario, R.C.V., *Cellular Radio Systems*, Artech House, Londres, 1993.

Casadevall Palacio, F. J., "Comunicaciones móviles: antecedentes, estado actual y perspectivas futuras", Seminario Internacional sobre Comunicaciones Móviles, Vigo, 1994.

*Land Mobile Service Excluding Future Public Land Mobile Telecommunication Systems (FPLMST)*, ITU-R., 1994, M Series Volume, Part 1.

*Future Public Land Mobile Telecommunication Systems (PLMST)*, ITU-R., 1994, M Series Volume, Part 2.

*The European Path Toward UMTS*, Special Issue, IEEE Personal Communications, february 1995.

Kuramoto, M., "Advanced Mobile Communication Technologies & Systems Directed Towards FPLMST", *7th. World Telecommunication Forum*, Vol.2. Convergence of Technologies, services and applications, Ginebra, 1995.

*Cellular System Mobile Station-Land Station Compatibility Specification*, EIA Interim Standard, IS-3-D, EIA, 1987.

Lee, W.C.Y., *Mobile Communications Design Fundamentals*. John Wiley & Sons. 1993.