

## INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MOVILES

### 1.1.-RADIOCOMUNICACIONES MOVILES

El reglamento de radiocomunicaciones de la UTI (Unión Internacional de Telecomunicaciones), define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas, o entre estaciones móviles únicamente y lo clasifica en tres clases de servicios móviles:

- ◆ Servicio móvil terrestre
  - ◆ Servicio móvil marítimo
  - ◆ Servicio móvil aeronáutico
- } satélite

Cada uno de estos servicios puede prestarse mediante medios terrenales exclusivamente o utilizando repetidores espaciales (satélites).

Estudiaremos exclusivamente el servicio móvil terrestre por ser el de más amplia utilización, tanto por usuarios privados como públicos.

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles permiten el intercambio de información variada (voz, datos, fax, video, telemando,...) entre terminales a bordo de vehículos y transportados por personas y terminales fijas (centros de control, teléfonos).

En los sistemas móviles se aprovecha plenamente el carácter inalámbrico de las comunicaciones radioeléctricas y la movilidad inherente, lográndose enlaces de gran utilidad, versatilidad y flexibilidad.

Como en todo sistema de telecomunicación, en los sistemas móviles se transmite información útil o tráfico y otra adicional denominada señalización, que es necesaria para el establecimiento, liberación y supervisión de las llamadas y para la protección de la información contra perturbaciones.

La señalización puede intercambiarse junto con el tráfico (señalización asociada) o utilizando recursos específicos (señalización por canal común).

Los sistemas de comunicaciones móviles han de diseñarse de forma que puedan realizarse los enlaces desde cualquier lugar de la zona de cobertura, esto obliga a elegir cuidadosamente la ubicación de la estación fija.

### 1.2.-COMPOSICION DE UN SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES MOVILES

Todo sistema de radiocomunicaciones móviles consta de los siguientes elementos:

- ◆ Estaciones fijas ( FS )
- ◆ Estaciones móviles ( MS )
- ◆ Equipos de control

### **ESTACIONES FIJAS**

Una estación fija es una estación radioeléctrica no prevista para su utilización en movimiento. Existen diversas categorías de estaciones fijas en el servicio móvil:

- ◆ Estación de base ( BS )
- ◆ Estación de control
- ◆ Estación repetidora ( RS )

#### **Estación Base**

Una estación base es una estación radioeléctrica fija, cuyo funcionamiento se controla directamente desde una unidad de control situada en un punto especificado. El control puede ser local o remoto, mediante líneas telefónicas o radioenlaces.

Las estaciones base se caracterizan por ser fuentes y destinatarias de tráfico tanto de información como de señalización y están constituidas por equipos transceptores, sistemas radiantes y elementos de conexión.

#### **Estación de Control**

Una estación de control es una estación fija cuyas transmisiones se realizan para gobernar automáticamente el funcionamiento de otra estación de radio en un emplazamiento específico. Se emplean generalmente para telemandar una estación base o una repetidora.

#### **Estaciones Repetidoras**

Se emplean para conseguir una gran cobertura radioeléctrica, por lo que se suele ubicar en sitios altos. También se usan para el relleno de zonas de sombra en la cobertura de una estación base o para proporcionar cobertura en escenarios difíciles tales como túneles, estacionamientos subterráneos, etc.

### **Estaciones Móviles**

Una estación móvil es una estación radioeléctrica del servicio móvil prevista para su utilización en un vehículo en marcha o que efectúa paradas en sitios determinados, también incluye a los equipos portátiles de mano.

A las estaciones móviles de un sistema suelen llamarse también generalmente terminales.

### **Equipos de Control**

En los sistemas de comunicaciones móviles, el conjunto de equipos de control lo forman los dispositivos necesarios para el gobierno de las estaciones base, la generación y recepción de llamadas, localización e identificación de usuarios de equipos y vehículos, transferencia de llamadas a red telefónica, señalización de canales, etc.

En las comunicaciones móviles de datos se incluyen los terminales de datos ordenadores y controladores.

En comunicaciones móviles, se denomina enlace descendente (DL: Down – Link) al sentido de comunicación de estación base a móvil. La distancia de cobertura en el DL se llama rango o alcance de estación base (Talk – out).

El enlace ascendente (UL: Down – Up link) corresponde al sentido de comunicación de estación móvil a estación base. Su distancia de cobertura se llama rango retroalcance (Talk – back).

Debe procurarse que el alcance y el retroalcance sean iguales (simetría de los enlaces).

## **CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MOVILES**

1. Por la modalidad de funcionamiento
2. Por el sector de Aplicación
3. Por la banda de frecuencias utilizada
4. Por la técnica de multiacceso
5. Por la modulación y canalización
6. Por el modo de explotación

## **1.- POR LA MODALIDAD DE FUNCIONAMIENTO**

**a.) Sistemas de Radiotelefonía:** Son aquellos en que las transmisiones se realizan en ambos sentidos, de estación fija a estación móvil y viceversa. También denominado en terminología americana “Two – way radio systems“

**b.) Sistemas de Radiobúsqueda o Radiomensajería:** Las transmisiones únicamente tienen lugar desde de la estación fija a las estaciones móviles (Paging Systems)

## **2- POR EL SECTOR DE APLICACIÓN**

Se dividen en sistemas privados, públicos y de telefonía inalámbrica.

### **Los Sistemas de Radiotelefonía Móvil Privada, PMR (Private Mobile Ratio)**

Se caracteriza porque su área de acción territorial suele estar limitada y no están conectados en forma expresa a la red telefónica pública conmutada PSTN (Public Switched Telephone Network), son utilizados para la gestión de flotas de vehículos de empresas e instituciones cuya actividad requiere el intercambio de ordenes y confirmaciones con agentes y operarios, en aplicaciones tales como servicio de policía, mantenimiento de servicios públicos de distribución de agua, gas, electricidad, protección civil, ambulancias, control de tráfico, etc.

**Sistemas de Telefonía Móvil Pública:** la evolución en los métodos de señalización y control junto con los avances en microelectrónica han hecho viable desde los puntos de vista técnico y económico la interconexión entre las redes móviles y la PSTN estableciéndose los nuevos sistemas de telefonía móvil pública (PMT: Public Mobile Telephony) con coberturas que abarcan desde el territorio de una nación a todo un continente.

Los sistemas de PMT constituyen auténticas redes telefónicas con las facilidades básicas de transmisión y conmutación propias de toda red por lo que se denominan redes públicas móviles terrestres (PLMN: Public Land Mobile Networks).

**Sistemas de Telefonía Inalámbrica :** Estos sistemas se están desarrollando con fuerza y también se denominan CT ( cordless telephony) para el acceso a la PSTN desde terminales inalámbricos de usuarios como son los conocidos teléfonos sin cordón y los

sistemas de WT (Wireless Telecommunications) que se refieren a redes inalámbricas, como son las redes de área local sin hilos (W-LAN)

### **3- POR LA BANDA DE FRECUENCIAS UTILIZADA**

En comunicaciones móviles se utilizan las siguientes bandas de frecuencias.

❖ **Bandas VHF :**

- Banda “baja” de 30 a 80 Mhz
- Banda “alta” de 140 a 170 Mhz
- Banda “4H” de 223 a 235 Mhz

❖ **Bandas UHF**

- Banda “baja” de 406 a 470 Mhz
- Banda “alta” de 862 a 960 Mhz
- Banda de 1800 a 1900 Mhz

Las bandas de VHF y la de UHF baja se utilizan para los sistemas PMR.

La banda UHF alta y parte de la banda 1800 Mhz se emplean, en exclusiva, en los sistemas PMT

### **4- POR LA TÉCNICA DE MULTIACCESO**

Se entiende por multiacceso, la metodología y técnica utilizadas por los terminales del sistema móvil para emplear los recursos comunes de la red. Tales como son:

- **Acceso Múltiple por División de Frecuencia:** FDMA(Frequency División Múltiple Access).
- **Acceso Múltiple por División de Tiempo:** TDMA(Time División Múltiple Access).
- **Acceso Múltiple por División de Código:** TDMA(Code División Múltiple Access).

**Los sistemas FDMA.-** suelen ser de un solo canal por portadora (SCPC: Single Channel Per Carrier) y se emplean en las redes móviles tradicionales donde cada red utiliza una o más frecuencias, rígidamente asignadas.

**Los sistemas TDMA.-** permiten que varias redes o terminales móviles compartan la misma frecuencia utilizándola en ráfagas temporales y no de forma permanente. Las

transmisiones de los usuarios son discontinuas intercalándose en el tiempo las ráfagas de cada uno de forma que no coincidan y no se interfieran entre si.

Las técnicas TDMA requieren que los equipos dispongan de memorias para almacenamiento de la información, a fin de entregar esta de manera continua a los destinatarios por lo tanto estos sistemas son viables únicamente con sistemas de transmisión digital.

**Los sistemas CDMA.-** En estos sistemas se superpone a la información digital transmitida por cada usuario un código que le es propio, denominado código de dirección.

- Las transmisiones de todos los usuarios se realizan en la misma frecuencia durante todo el tiempo.
- A cada receptor llegan todas las señales presentes en el sistema en un momento dado. Sin embargo, cada usuario, utilizando su código de dirección, puede recuperar la información destinada a él y eliminar los demás.
- La CDMA implica un ensanche del espectro de frecuencia transmitido por lo que se denomina de espectro ensanchado.
- La utilización de códigos de dirección hace irreconocible la información transmitida para un posible captador de la señal que desconozca el código, por lo que se utilizaba en comunicaciones militares y recientemente en comunicaciones móviles civiles tanto de PMR como de PMT.

## **5- POR LA MODULACIÓN Y CANALIZACIÓN**

- ♦ La modulación y anchura de banda necesaria están relacionadas con la técnica de multiacceso.
- ♦ Los sistemas móviles analógicos con multiacceso FDMA hacen uso de la modulación analógica de frecuencia (FM) de banda estrecha.
- ♦ La frecuencia máxima de audio se limita a 3KHZ.
- ♦ Para los sistemas analógicos existen dos canalizaciones :

### **1. Canalización Normal**

- ♦ La separación de canales es  $\Delta f = 25 \text{ KHZ}$

- ♦ En los sistemas PMR, la desviación de frecuencia utilizada es de  $f_d = 5\text{KHZ}$  y la anchura de banda necesaria para la transmisión es de  $16\text{KHZ}$ .
- ♦ En PMT analógica, la excursión de frecuencia es de  $f_d=9.5\text{ KHZ}$  y la anchura de banda necesaria vale  $24\text{KHZ}$ . Logrando una mejor calidad de voz.

## 2. Canalización Estrecha

- ♦ La separación de canales es  $\Delta f = 12.5\text{KHZ}$ .
- ♦ La excursión de frecuencia toma el valor de  $f_d=1.5\text{KHZ}$  y la anchura de banda necesaria es de  $8.5\text{KHZ}$ . Esta canalización únicamente se utiliza en PMR.

Los modernos sistemas digitales de PMT emplean modulación de frecuencia con desplazamiento mínimo y prefiltrado gaussiano: GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

La canalización utilizada suele ser un múltiplo del valor estándar  $25\text{ KHZ}$ . Ej. en el sistema GSM se emplea una canalización igual a  $8 \times 25 = 200\text{ KHZ}$ .

La anchura de banda de estos sistemas es proporcional a la velocidad de bits

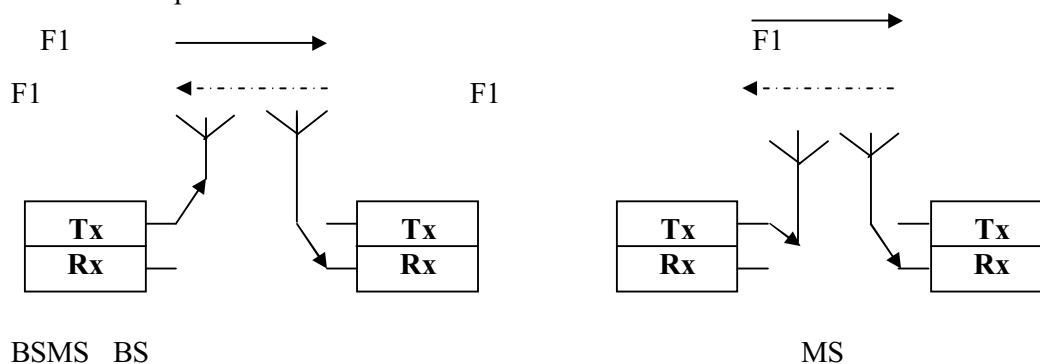
$$B = K \cdot V_b, \text{ donde el factor } K \text{ suele estar comprendido entre } 0.7 \text{ y } 0.9.$$

Los sistemas móviles digitales con multiacceso CDMA emplean modulación de fase coherente PSK (Phase Shift Keying) y requieren canalización de banda ancha, del orden de  $1.5\text{ MHz}$ .

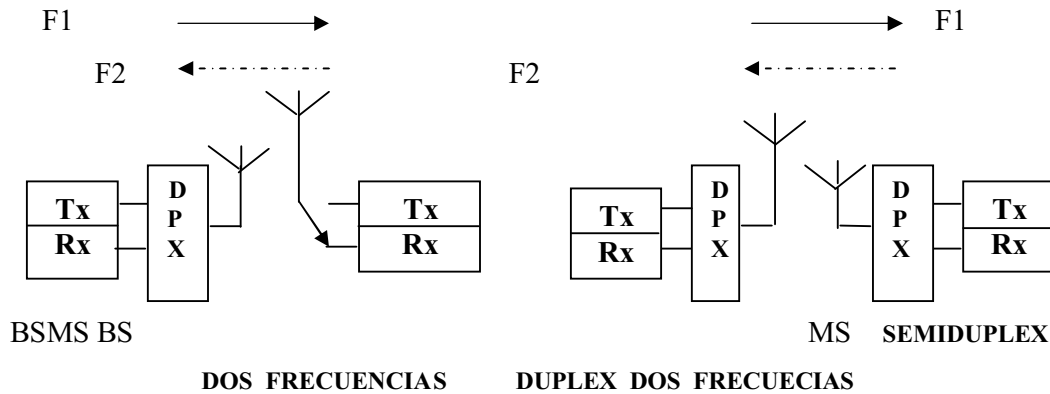
## 6- POR EL MODO DE EXPLOTACION O POR SU CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN

En comunicaciones móviles se distinguen tres modos de operación:

- Simplex ( a una o dos frecuencias)
- Semiduplex
- Dúplex



SIMPLEX UNA FRECUENCIA    SIMPLEX DOS FRECUENCIAS



#### 1.4. CLASES DE CANALES EN COMUNICACIONES MÓVILES

El uso de un canal está vinculado al tipo de operación por lo tanto se hablara de los tres tipos de explotación móvil mencionados anteriormente.

##### 1.4.1 Canales Simplex

Los canales Simplex a una frecuencia utilizan la misma frecuencia F1 para cada sentido de transmisión, la Tx y Rx se realizan en forma secuencial, en un sentido cada vez. Para hablar se debe presionar PTT (Push – to-talk), conectado el Tx a la antena y desconecta el Rx.

Como se utiliza una sola frecuencia, las Tx del tipo línea compartida (Party-line) y cualquier equipo pueden oír y hablar con cualquier otro dentro de la zona de cobertura mutua. Se caracteriza por su sencillez y aparentemente utiliza bien el espectro.

Los sistemas simples presentan un grave inconveniente, que es la captura de una comunicación por otra, deriva de una interferencia cocanal intensa. También se puede producir una interferencia de canal adyacente, cuando la base transmite y los receptores de las estaciones bases adyacentes se bloquean.

Para reducir la interfrecuencia de un transmisor sobre un receptor próximo, es necesario que exista un aislamiento adecuado.

Por ejemplo un transmisor de 25 W une en una antena de 50 ohmios una tensión de 35V. La interfrecuencia sobre un receptor puede producirse con tensiones en su antena superior a los 20 mV. En consecuencia el aislamiento necesario es:

$$20 \log. \frac{35}{0.02} \approx 65dB.$$

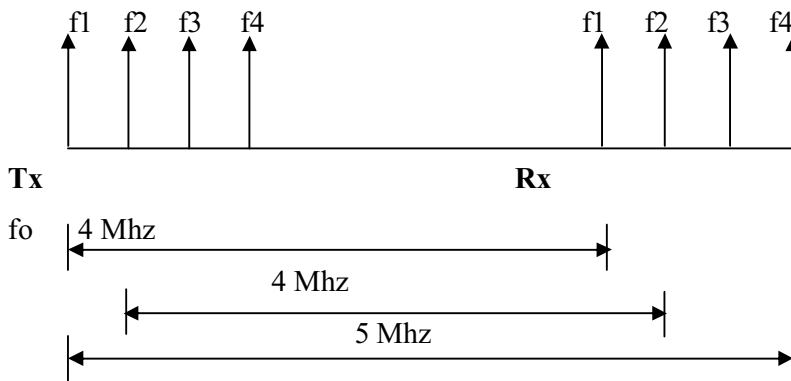


Una forma de conseguir el aislamiento es mediante la separación física de equipos. La distancia necesaria para ello sería unos 280 m, lo cual puede no ser posible en emplazamientos comunes. Entonces es necesario acudir a la separación de frecuencias, que puede ser de 4 a 5 MHz, esto implicaría que en un margen de unos 9 MHz solo se puede utilizar 3 frecuencias en un mismo emplazamiento lo cual supone un derroche de espectro.

Por lo tanto se concluye que aunque aparentemente el uso de una sola frecuencia por estación es conveniente desde el punto de vista de utilización de las frecuencias no lo es en absoluto cuando intervienen varios equipos próximos.

### 1.4.2 Canales Simplex a dos Frecuencias

La separación transmisión-recepción necesaria para evitar los problemas de bloqueo puede hacerse en frecuencia, en lugar de un espacio. Se establecen así canales a dos frecuencias  $f$  y  $f'$ , separadas entre sí de 4 a 5 MHz. En consecuencia, estos sistemas permiten una utilización más eficaz del espectro radioeléctrico.



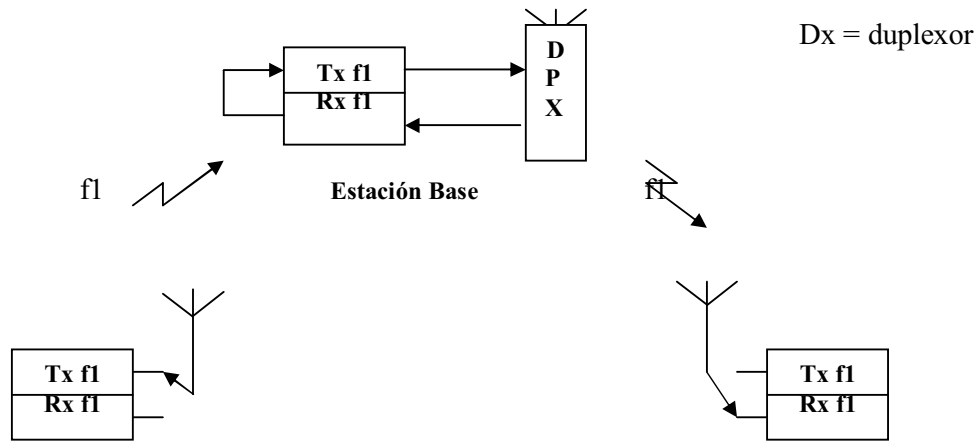
Por lo tanto se puede acomodar 4 frecuencias en un ancho de 4 a 5 MHz. La ventaja con respecto al simplex de una frecuencia es notoria.

Un inconveniente de estos sistemas es que los móviles no pueden hablar entre sí y solo pueden hacerlo con la base.

### 1.4.3 Canales Semiduplex

Para lograr la comunicación de todos con todos en los canales simplex a dos frecuencias, se configura la estación base de forma que retransmita las señales que recibe (procedimiento denominado-talk-through, TT).

En este caso, la estación base funciona en dúplex y los móviles en simplex, a este tipo de circuitos, que son simplex en un extremo y dúplex en el otro se les denomina semidúplex.



#### Estación Móvil Estación Móvil

La estación base transmite en  $f1'$ , y recibe un  $f1$ , y las móviles transmiten en  $f1$  y reciben en  $f1'$ , (frecuencias cruzadas).

La estación base dispone de un Dúplex (Dx) y los móviles utilizan un conmutador de antena.

El dúplexor permite la utilización de una sola antena en la base para Tx y Rx simultáneas.

Un móvil lanza en  $f1$  una llamada que es recibida por la base y retransmitida en  $f1'$ , a todos los móviles.

Este tipo de sistema se utiliza ampliamente en los sistemas de PMR (radio móvil privado) debido a su capacidad de comunicación móvil-móvil y a sus ventajas sobre los sistemas simplex.

#### 1.4.4 Canales Dúplex ("Full-dúplex")

- En estos sistemas, la estación base transmite en  $f1'$  y recibe un  $f1$ , y la móvil transmite un  $f1$  y recibe en  $f1'$ .
- Tanto la base como los móviles disponen de dúplexor para permitir la transmisión y Rx simultáneas.
- En estos sistemas se requiere un radiocanal (pareja de frecuencias)
- En este sistema no es factible la comunicación directa móvil-móvil sin pasar por la base.

- Para que el duplexor móvil funcione satisfactoriamente, se requiere una separación de frecuencias mayor o igual a 3MHZ.
- En los sistemas PMT (telefoníamóvilpública) es obligado estos sistemas ya que el sistema telefónico básico por línea funciona en Dúplex.
- La separación de frecuencias Dúplex en estos sistemas es fija e igual a 45MHZ.

### **1.5 COBERTURA RADIOELECTRICA EN LOS SISTEMAS MÓVILES**

- Se denomina zona de cobertura de la estación base a la superficie en torno a dicha estación en la que la señal disponible para los móviles tiene un valor superior a cierto lumbral de funcionamiento.
- Los sistemas móviles son de cobertura zonal.
- Los estudios de cobertura suelen realizarse adoptando algunas simplificaciones, por Ej. tomando radiales desde la estación base a lo largo de diferentes direcciones hasta el límite de la zona de cobertura y efectuando un análisis detallado en esos radiales como si se tratara de un sistema punto a punto suelen utilizarse en este estudio 12 radiales separados  $30^0$  entre sí.
- Recientemente se ha facilitado enormemente esta tarea al disponerse de programas informáticos de análisis y predicción de cobertura ejecutables en PC o estaciones de trabajo y que hacen uso de cartografía digital en forma de modelos digitales del terreno.
- Los trayectos de propagación entre base y móviles resultan afectados de modo variable por el terreno, por lo que la pérdida de propagación es de carácter aleatorio, de forma que solamente puede hablarse de cobertura en un sentido estadístico.
- Se utiliza dos grados de calidad estadística de cobertura : el llamado porcentaje de emplazamientos, que indica el tanto por ciento de lugares dentro de la zona de cobertura técnica en que cabe esperar que exista enlace radioeléctrico, y el porcentaje de tiempo, que expresa el tanto por ciento del tiempo en que se espera existirá el enlace.
- Debe distinguirse entre cobertura zonal y perimetral: la primera se refiere a todo el área en torno a la estación base y la segunda afecta a una zona anular situada en el perímetro o límite de la cobertura técnica.
- Existen fórmulas para calcular la cobertura zonal en función de la perimetral.

- Los datos de cobertura de emplazamientos y tiempo debe especificarlos el usuario o el planificador del sistema de radiocomunicaciones móviles, ya que intervienen en la ingeniería y diseño del sistema.
- El radio de cobertura de una estación base tiene una marcada dependencia con la altura media de la antena de dicha estación respecto al terreno circundante.
- En los sistemas de PMR muchas veces se logra un mayor incremento del alcance aumentando la altura de la antena que elevando la potencia de Tx.
- En los sistemas de PMT, por su naturaleza celular, los radios de cobertura tienden a ser pequeños sobre todo en medios urbanos, por lo que las alturas de las antenas son moderadas. Aunque en medios rurales sean algo mayores pero se deben tener cuidado y evitar sobre alcances que pueden ocasionar interferencias.
- Debido a la reducida altura de antena de las estaciones móviles, estas muchas veces no serán visibles desde la estación base, la comunicación es posible debido a múltiples reflexiones y difracciones de las ondas y su poder de penetrabilidad, que es consecuencia de las altas frecuencias utilizadas. Este tipo de propagación, denominada propagación multitrayecto, genera varios caminos radioeléctricos entre el Tx y el Rx, pero también produce efectos de dispersión temporal y desvanecimiento selectivo en las señales cuya corrección requiere un importante esfuerzo en la ingeniería y el diseño de sistemas y equipos móviles.
- Como las comunicaciones móviles deben realizarse con el Terminal móvil en marcha, el canal de radio presenta también una variabilidad temporal, lo cual produce un desplazamiento en las frecuencias espectrales de las señales transmitidas (desplazamiento Doppler), que origina un desvanecimiento selectivo en el tiempo, cuyos efectos también habrán de compensarse.

## **1.6 CALIDAD DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN MÓVILES**

Los sistemas móviles plantean determinadas exigencias de calidad que se cuantifican mediante parámetros característicos, los cuales deben especificarse en los proyectos de sistemas móviles como objetivos de diseño.

Las características básicas de calidad son:

### **1 Calidad de Cobertura**

La calidad de cobertura se expresa mediante las siguientes calificaciones:

- a. Extensión.-**Esto es, tamaño de la zona de cobertura (local, regional, nacional e internacional).
- b. Escenario de Cobertura.-** Describe el entorno en el que se desea la cobertura, Ejemplo:
- En calles y carreteras
  - En el interior de vehículos
  - En el interior de edificios
  - En subterráneos y túneles
- c. Grado de Cobertura.-** Especifica el porcentaje (perimetral y zonal) de ubicaciones en el que se debe conseguir la comunicación.

## **2 Calidad de Terminal**

Refleja la simetría de enlace bidireccional: alcance de cobertura estación base-móvil debe ser igual al retroalcance móvil-estación base, por lo tanto se establece grados de calidad para terminales móviles:

- De vehículos
- Transportables
- De mano

## **3 Calidad de Disponibilidad**

Especifica la mayor o menor facilidad de acceso y toma de un canal de radio por parte del terminal.

Depende de la calidad de cobertura y del grado de congestión por tráfico de los canales de radio disponibles.

Se cuantifica mediante la probabilidad de bloqueo o congestión que es la probabilidad de que se rechace una tentativa de llamada por inexistencia de canales libres para atenderla.

## **4 Calidad de Fidelidad**

Se refiere al grado de inteligibilidad y claridad de la señal recibida si es de voz (ausencia de parásitos, ruido y diafonía) a la tasa de errores si la señal es de datos.

En el caso de los sistemas analógicos, la calidad se especifica mediante la relación (señal+ruido+distorsión) (ruido+distorsión), expresada en dB, y se denomina SINAD (signal -to-Noise and Distortion ratio).

En los sistemas digitales la fiabilidad se especifica mediante la tasa de errores en los bits: BER (Bit Error Rate).

## **5 Calidad de Fiabilidad**

Expresa el porcentaje temporal máximo admisible interrupción de los enlaces o caídas de llamadas debido a averías de los equipos, fallos de alimentación interferencias intensas externas, etc.

### **1.7 EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES MOVILES**