



Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

UniversidadeVigo

Sistemas de Radiocomunicaciones Actuales

Tema 6
Curso 2015/16





Centro Universitario de la Defensa
Escuela Naval Militar de Marín

UniversidadeVigo

Parte 1

Sistemas de Comunicaciones Móviles





Sistemas de Comunicaciones Móviles

Introducción



UTAH POLICE NOW ON THE *Motorola* PARTY LINE

FROM COAST TO COAST IT'S *Motorola*



Typical Motorola transmitting and receiving unit as installed for Miami Police Department.



A standard mobile transmitting and receiving unit in use by Michigan State Police.



A California State Patrolman checks with the station via Motorola Radiotelephone.

HIGHWAY POLICE OF 34 STATES AND
OVER 1000 COMMUNITIES NOW USE

Motorola 2-WAY F-M RADIOTELEPHONE

• When the Utah Highway Patrol turned to Motorola F-M Radiotelephone, the total of states using Motorola equipment was raised to 34. From coast to coast and beyond, to Hawaii and the Canal Zone, Motorola is overwhelmingly the number one choice for emergency radio communications.

THERE MUST BE A REASON!

EASY TO OPERATE—No technical knowledge of radio-electronics is necessary. Any police officer can use the Motorola Radiotelephone without special training.

EFFICIENT—The outstanding range and power of Motorola F-M Radiotelephone enables patrols to maintain contact at distances up to fifty miles.

DEPENDABLE—The Motorola Radiotelephone is made by the makers of the battle-famous "Handie Talkie" and "Walkie Talkie," your guarantee that your Motorola Radiotelephone will deliver all the time under all conditions.

IN YOUR DEPARTMENT, TOO . . .

Motorola Radiotelephone has proved itself in thousands of difficult applications. Check with Motorola Engineers and let them show you how Motorola can solve your communications problem. Write today for specific recommendations—no obligation.

GALVIN MFG. CORPORATION • CHICAGO 51
COMMUNICATIONS AND ELECTRONICS DIV. ON

F-M & A-M HOME RADIO • AUTO RADIO • AUTOMATIC PHONOGRAPHS • TELEVISION • "HANDIE TALKIES" • POLICE RADIO • RADAR

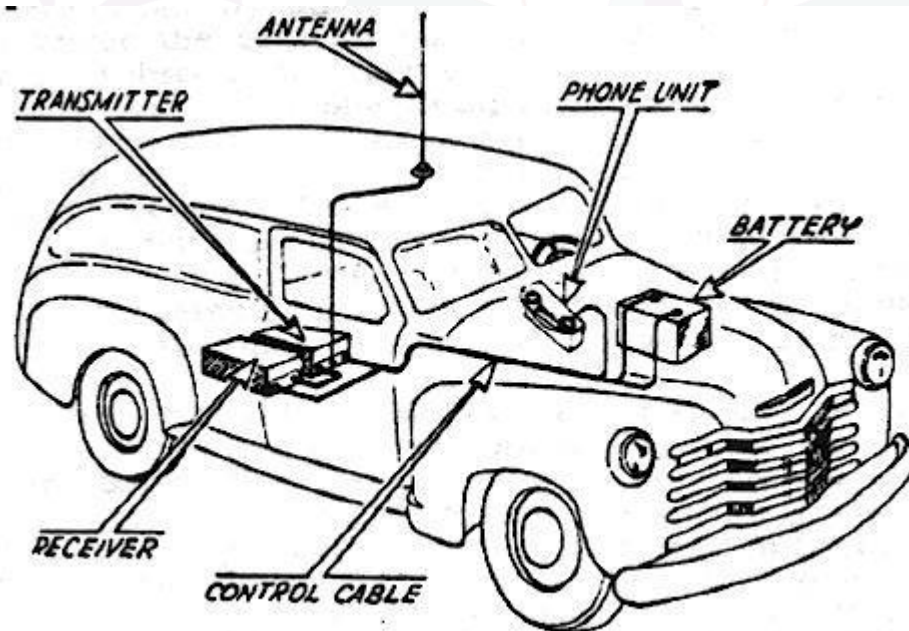


FIG. 4—Typical Mobile Installation

1939



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Introducción



Western Electric



Fig. 5—41A Control Unit, Typical Installation



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Introducción



Martin Cooper. Motorola DynaTAC 1983





Sistemas de Comunicaciones Móviles

Tipos de Redes de Telefonía

- **Radiotelefonía privada** (PMR, Private Mobile Radio):
 - Área de acción territorial limitada
 - Sin conexión a la Red Telefónica Pública Conmutada (RTPC)
 - Servicios a empresas: sistemas de gestión de flotas
 - Redes móviles tradicionales
 - Asignación rígida de canales a varios usuarios (no todas las frecuencias se ofrecen a todos los usuarios)
 - Sistemas avanzados
 - Trunking: acceso basado en sistemas compartición de frecuencias = sistemas de concentración de enlaces

- **Acceso Público Móvil Radio** (PAMR, Public Access Mobile Radio)
 - Son sistemas para telefonía móvil privada (PMR) desarrollados por operadoras con licencia que ofertan sus servicios a terceros
 - Ej: TETRA (Trans European Trunked Radio), Tetrapol, etc.



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Tipos de Redes de Telefonía

- **Telefonía móvil automática (TMA)**
 - Gran área de cobertura
 - Conectados a la Red Telefónica Pública Conmutada
 - Explotación totalmente automática
 - Prestaciones similares a la telefonía fija
 - Otros servicios:
 - Transmisión de Datos: GPRS, UMTS
 - Mensajería unidireccional (SMS)
 - Radiobúsqueda-localización (Ej, GALILEO+UMTS)
 - Ej: TACS, GSM, IS-95, WCDMA(UMTS), CDMA2000,...

- **Telefonía inalámbrica**
 - Cobertura muy reducida, pero conexión a la RTPC
 - Ej: DECT (Digital European Cordless Telecommunications)



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Generaciones

- Primera generación (1G): sistemas analógicos
 - AMPS (Advanced Mobile Phone System) 1983
 - ETACS (European Total Access Communication System) 1985
- Segunda generación (2G): sistemas digitales
 - USDC (US Digital Cellular), ADC (American Digital Cellular), DAMPS (Digital AMPS), IS-54
 - GSM
 - JDC (Japan Digital Cellular), PDC (Pacific Digital Cellular)
- Segunda generación y media (2.5G): GPRS/EDGE
- Tercera generación (3G): UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
- Cuarta generación (4G): LTE (Long Term Evolution)
- Quinta generación (5G) ¿?



Las principales características de **Sistemas 1G** son:

- Analógicos
- Básicamente servicio de voz
- Baja capacidad
- Cobertura limitada: local o regional
- Sistemas: E-TACS, AMPS, NMT, C-net
- Las interfaces son propietarias
- España:
 - En 1982 el TMA-450 de Telefónica basado en NMT (Nordic Mobile Telephone)
 - En 1990 el TMA-900 de Telefónica basado en TACS (Total Access Communication System), es el sistema Moviline.
 - En 1991 había en España 100.000 clientes de telefonía móvil





Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistemas 2G y 3G

Las principales características de **Sistemas 2G** son:

- Digital
- Bandas 900 y 1800 MHz
- Voz y datos básicos: Fax, SMS y datos (9.6 kbps)
- Cobertura regional con roaming (itinerancia) trans-nacional
- Sistemas: GSM (EU), D-AMPS, IS-13 (USA), PDC (Japón), IS-95 (cdmaOne USA),
- En España Movistar (1994), Airtel -Vodafone- (1995), Amena (1998)

Las principales características de **Sistemas 3G** son:

- Datos avanzados / Multimedia
- Acceso de alta velocidad
- Bandas 900 y 2100 MHz
- Sistemas: UMTS (WCDMA, TD/CDMA), CDMA 2000 (USA),...
- España: operadores ya existentes y uno nuevo: xfera -Yoigo- (2000)
- En 2006 aparecen los operadores móviles virtuales



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema 4G

Las principales características de **Sistemas 4G** (LTE) son:

- Velocidades máximas de transmisión:
 - 100 Mbit/s alta movilidad
 - 1 Gbit/s baja movilidad
- Basada en protocolo IP: convergencia con redes de cable e inalámbricas
- Tecnología de conmutación de paquetes
- Bandas 800 (desde abril 2015), 1800 y 2600 MHz
- En España Vodafone, Movistar, Orange y Yoigo

Reparto de espectro nacional

	800 MHz (Banda 20) 4G	900 MHz (Banda 8) 2G y 3G	1.800 MHz (Banda 3) 2G y 4G	2.100 MHz (Banda 1) 3G	2.600 MHz (Banda 7) 4G
	10 MHz FDD	14.8 MHz FDD	19.8 MHz FDD	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz FDD
	10 MHz FDD	10 MHz FDD	19.8 MHz FDD	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz FDD 20 MHz TDD
	10 MHz FDD	10 MHz FDD	19.8 MHz FDD	15 MHz FDD 5 MHz TDD	20 MHz FDD 10 MHz TDD
	-	-	15 MHz FDD	15 MHz FDD 5 MHz TDD	-



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistemas PMR (Radiotelefonía Móvil Privada) y Troncales

Características de los Sistemas PMR (Radiotelefonía Móvil Privada)

- Llamadas de voz:
 - directas entre móviles
 - a grupos
- Las llamadas son frecuentes y de corta duración
- Funcionan en régimen de espera
- No requieren operación full-duplex (concepto PTT)



En un sistema PMR, y debido a la escasez de frecuencias asignadas, todos los móviles pueden compartir las mismas frecuencias, en cuyo caso su utilización se realiza mediante **asignación troncal** (concentración de enlaces)

- Canales compartidos: requieren protocolo de señalización para regular y gestionar la asignación de canales
 - Se lleva a cabo sobre un sistema de señalización digital
 - Desarrollos propietarios (TETRAPOL)
 - Estándar MPT 13xx en el Reino Unido
 - ETSI ha elaborado la norma TETRA (Trans-European Trunked Radio)



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistemas PMT (Telefonía Móvil Pública) o TMA

Características de los Sistemas PMT (Telefonía Móvil Pública):

- Las llamadas no esperan: sistemas de pérdidas
- Se basan en el **concepto celular** desde los 80s
 - Reutilización de frecuencias, con interferencia admisible
 - Si es FDD, frecuencias más bajas a la transmisión desde el móvil
- Terminología:
 - Traspaso (handover, handoff)
 - Conmutación de la llamada en curso (entre canales o entre celdas)
 - Itinerancia (roaming)
 - Operación en un área de servicio distinta de aquella en que el usuario se ha abonado
 - Canal directo o descendente
 - Canal de comunicación desde la estación base hacia el móvil
 - Canal de retorno o ascendente
 - Canal de comunicación desde el móvil a la estación base





Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistemas Celulares

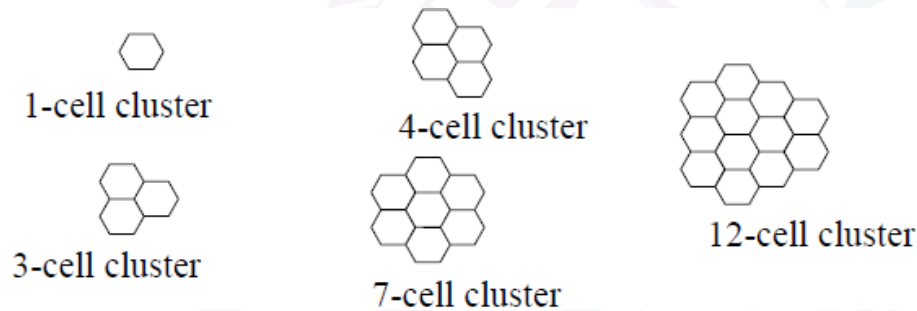
- El problema central de los sistemas TMA es conseguir una amplia cobertura y gran capacidad de tráfico con un número limitado de frecuencias.
- A una operadora se le asigna un rango del espectro (número limitado de canales radio). Los terminales deben acceder a él mediante FDMA.
- ¿cómo se puede dar cobertura a todo un país con un número limitado de frecuencias? → reutilizando frecuencias
- De la reutilización de frecuencias nace el concepto de **célula** o **celda** y por tanto el de un "sistema celular".
- En estos sistemas existe una interferencia co-canal (entre celdas que tienen el mismo canal asignado) totalmente controlada y asociada a una distancia de reutilización.



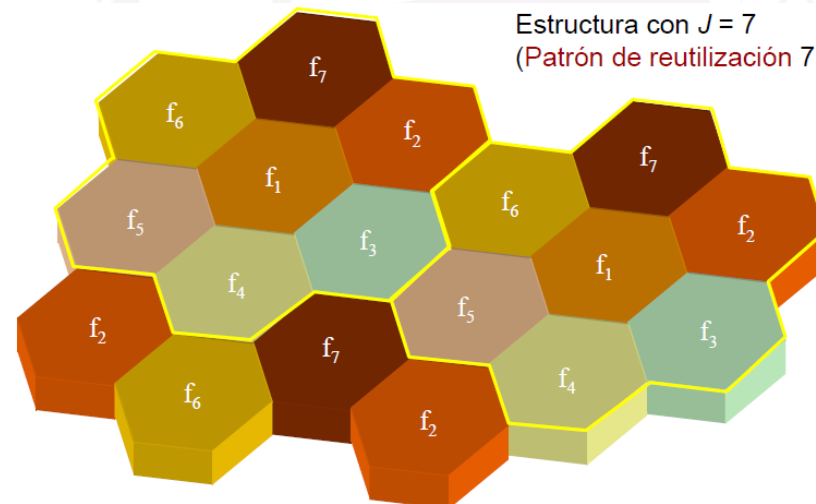
Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistemas Celulares

- Los sistemas celulares (FDMA) se basan en
 - Tener J tipos de célula
 - Cada tipo de célula tiene asignado un juego de frecuencias diferente
 - El conjunto de J células diferentes se agrupa en **clusters** o racimos



- El racimo o clúster se repite sistemáticamente (enlosado) para conseguir el mapa de cobertura deseado. Se van repitiendo las frecuencias: reutilización de frecuencias.





Diseño de Sistemas Celulares

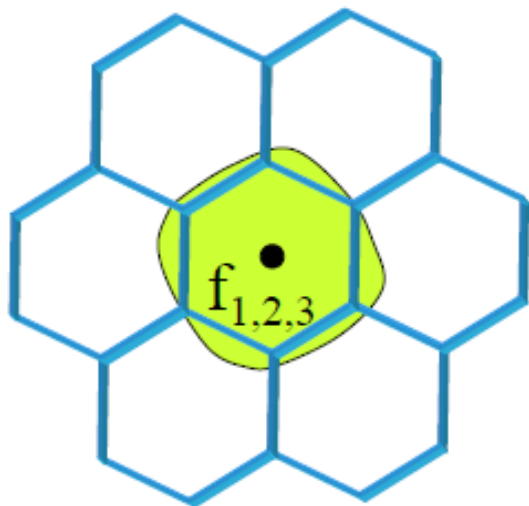
- Forma geométrica más conveniente de la celda
 - Circular: no cubren el plano o producen solapes
 - Poligonal: hexágono (para un radio de cobertura, proporciona mayor superficie de celda)
- Estructura geométrica del racimo
 - Rombo co-canal
- Análisis de la interferencia (relación señal a interferencia en el borde)
- Elegir el número de celdas por racimo (J) en función de:
 - Probabilidad de pérdida de llamada
 - Capacidad del sistema: si J es pequeño, tengo más canales en la celda y, por tanto, más capacidad
 - Relación C/I: si J es pequeño, las celdas co-canal están más próximas y las interferencias son más fuertes



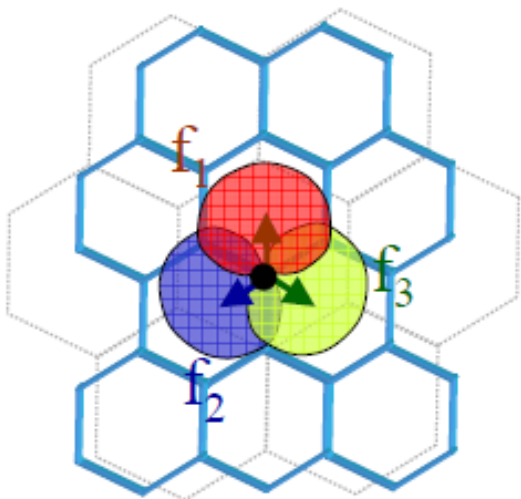
Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistemas Celulares – Tipos de Antenas - Sectorización

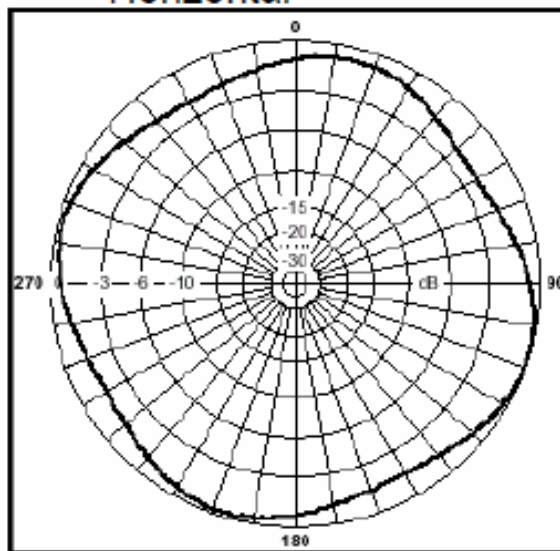
- Omnidireccionales



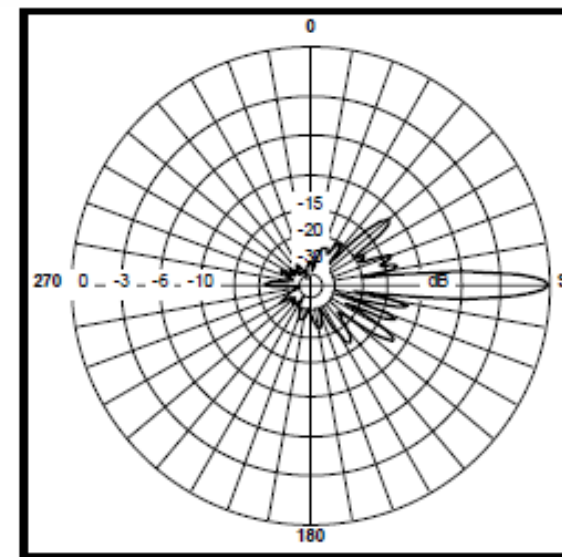
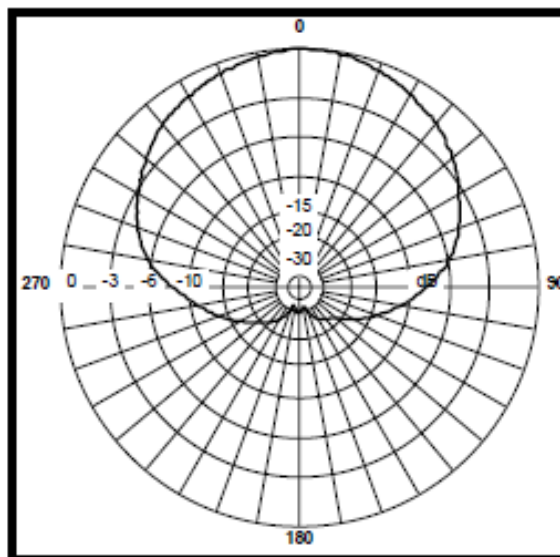
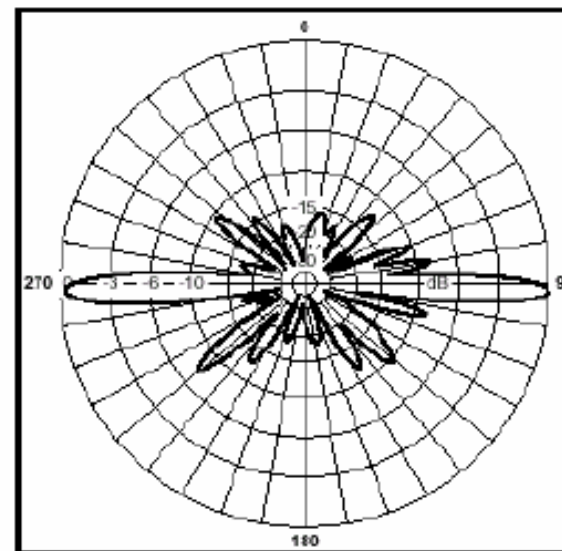
- Sectoriales: 120°



Horizontal



Vertical





Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistemas Celulares – Tipos de Antenas



Recepción

Transmisión



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistemas Celulares

■ Ejemplo de BS (BTS en GSM)

Antenas de panel:

- dipolos,
- 2 polarizaciones
- 3 sectores

Enlaces a otras BTS
o a Estación de control

Cables de alimentación

Casetilla con Equipos





Sistemas de Comunicaciones Móviles

Especificaciones básicas GSM

- Bandas de Frecuencia:
 - Transmisión estación móvil 890-915 MHz (uplink, reverse) MS→BS
 - Transmisión estación base 935-960 MHz (downlink, forward) BS→MS
 - Banda extendida (880-915, 925-960) y de ferrocarriles (876-915, 921-960)
 - Banda 1800:
 - 1710-1785 MHz MS→BS; 1805-1880 MHz BS→MS
- Separación Dúplex: 45 MHz
- Separación de Canales
 - 200 KHz que proporcionan una selectividad de canal adyacente de 18 dB. La selectividad de 2º y 3º canal son de al menos 50 y 58 dB.
- Modulación
 - GMSK con BT=0.3 y velocidad de modulación de 270.83 Kbps
- Relación de Protección
 - La relación de protección co-canal es $C/I = 9$ dB



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Especificaciones básicas GSM

- Retardo Compensable Máximo
 - $223 \mu s \rightarrow (223 \times 10^{-6} \times 300000) / 2 = 35 \text{ Km}$
- Frecuencia Doppler:
 - Velocidad máxima del móvil de 200 Km/h
- Ecualización
 - Ecualización de señal hasta una dispersión de $16 \mu s$
- Codificación
 - Código de bloques detector y código convolucional corrector de errores con entrelazado de bits
- Potencia Nominal de las Estaciones Móviles
 - Diversos tipos con potencias de pico de 2, 5, 8 y 20 W
- Estructura Celular y Reutilización
 - La estructura es sectorizada del tipo 3/9 ó 4/12. Las células tienen un radio variable entre 35 Km (zonas rurales) y 1 Km (zonas urbanas)



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Especificaciones básicas GSM

- Acceso Múltiple
 - TDMA con 8 intervalos de tiempo por trama. La duración de cada intervalo es de 0.577 ms. Se han establecido también estructuras multitrama para señalización por canal común.
- Protecciones Radioeléctricas
 - Posibilidad de que los móviles puedan transmitir en FH bajo mandato de la red a una velocidad de 217 saltos por segundo. El FH aleatoriza el efecto de las fuentes de interferencia proporcionando diversidad en frecuencia
 - Posibilidad de transmisión sólo cuando hay señal moduladora, para economizar batería de los portátiles y reducir interferencias: DTX (transmisión discontinua)
- Seguridad
 - Se proporciona cifrado en las comunicaciones de voz y datos y hay un sistema de autenticación complejo para el acceso al sistema por parte de los terminales



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema 3G - UMTS

- UMTS utiliza WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)
 - Todas las celdas tienen asignado el mismo canal de 5 MHz
 - La información del usuario se multiplica bit a bit a alta velocidad por un **código único** de usuario que ensancha el espectro utilizado
 - Todos los códigos son ortogonales
 - Para recuperarla la información se vuelve a multiplicar por el código
 - Cualquier transmisión que no tenga ese código genera “ruido”
- La interferencia de los usuarios de la propia célula (y de las vecinas) limita las prestaciones del sistema.
- Concepto de **respiración celular** (“cell breathing”)
 - Dependiendo de:
 - el número de usuarios
 - y de las características de sus servicios
 - el tamaño de la celda cambia !!!
 - La cobertura disminuye a medida que:
 - aumenta el tráfico
 - entran usuarios de alta velocidad de datos
 - aumenta la interferencia de otras celdas

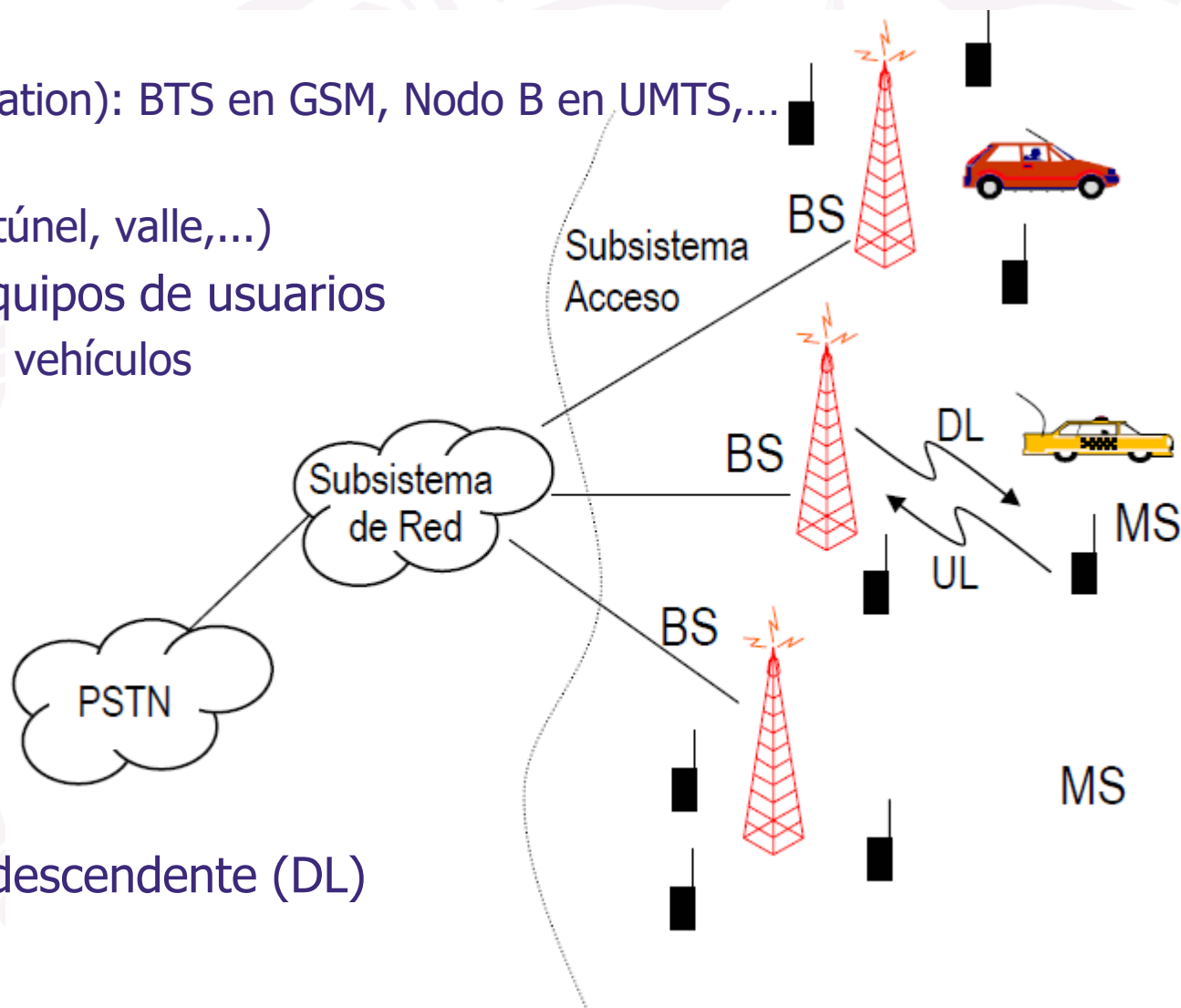


Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM

Elementos: Subsistema de Red / Subsistema de Acceso

- Estaciones fijas (FS)
 - Estación Base (BS, Base Station): BTS en GSM, Nodo B en UMTS,...
 - Estación de Control (CS)
 - Estación Repetidora (RS) (túnel, valle,...)
- Estaciones móviles (MS)=Equipos de usuarios
 - Estación móvil montada en vehículos
 - Equipos portátiles/móviles
- Elementos de control
 - Conmutación
 - Señalización
 - Localización
 - Identificación
 - Conexión entre sistemas,...
- Enlaces ascendente (UL) y descendente (DL)

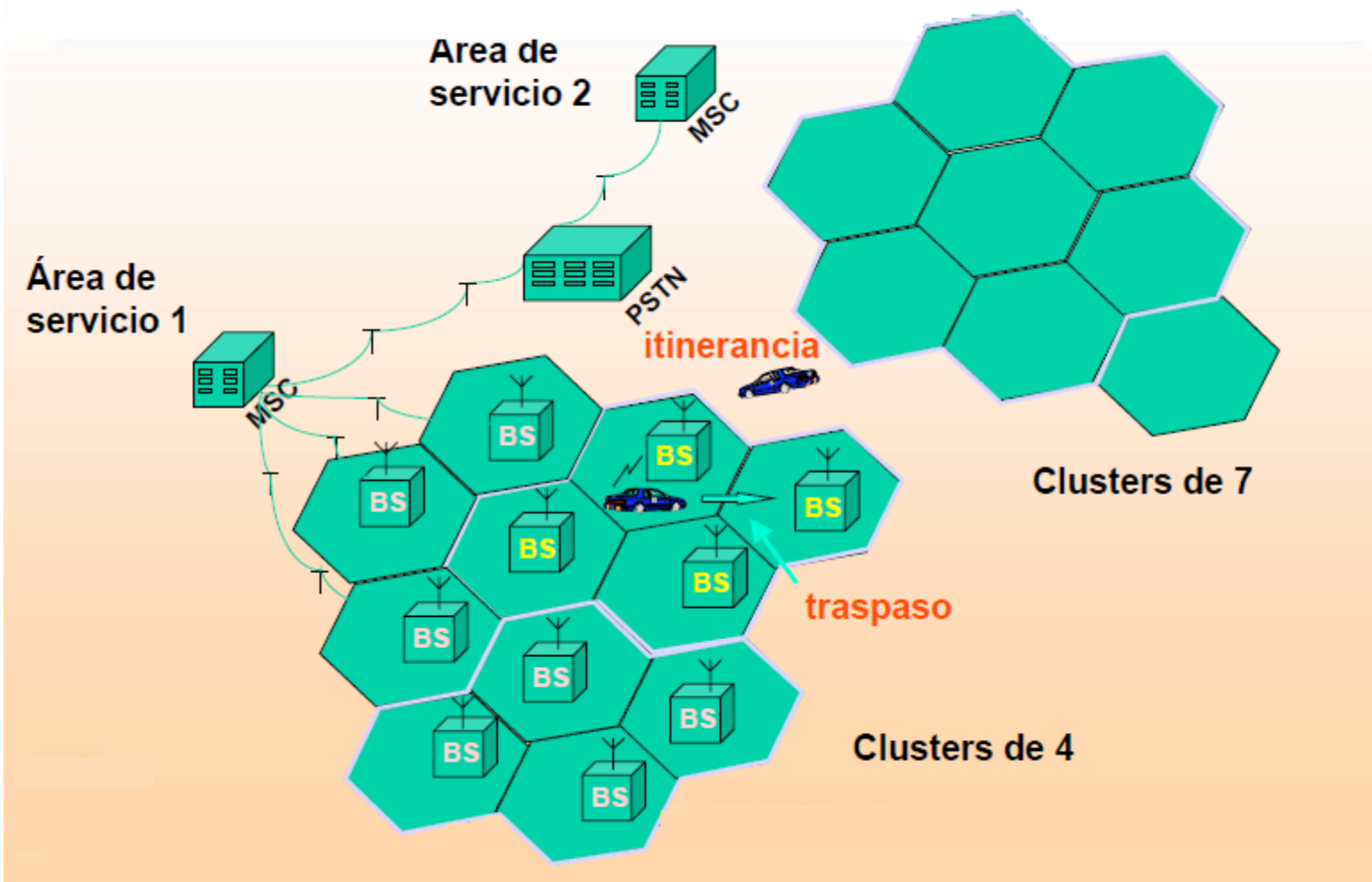




Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM

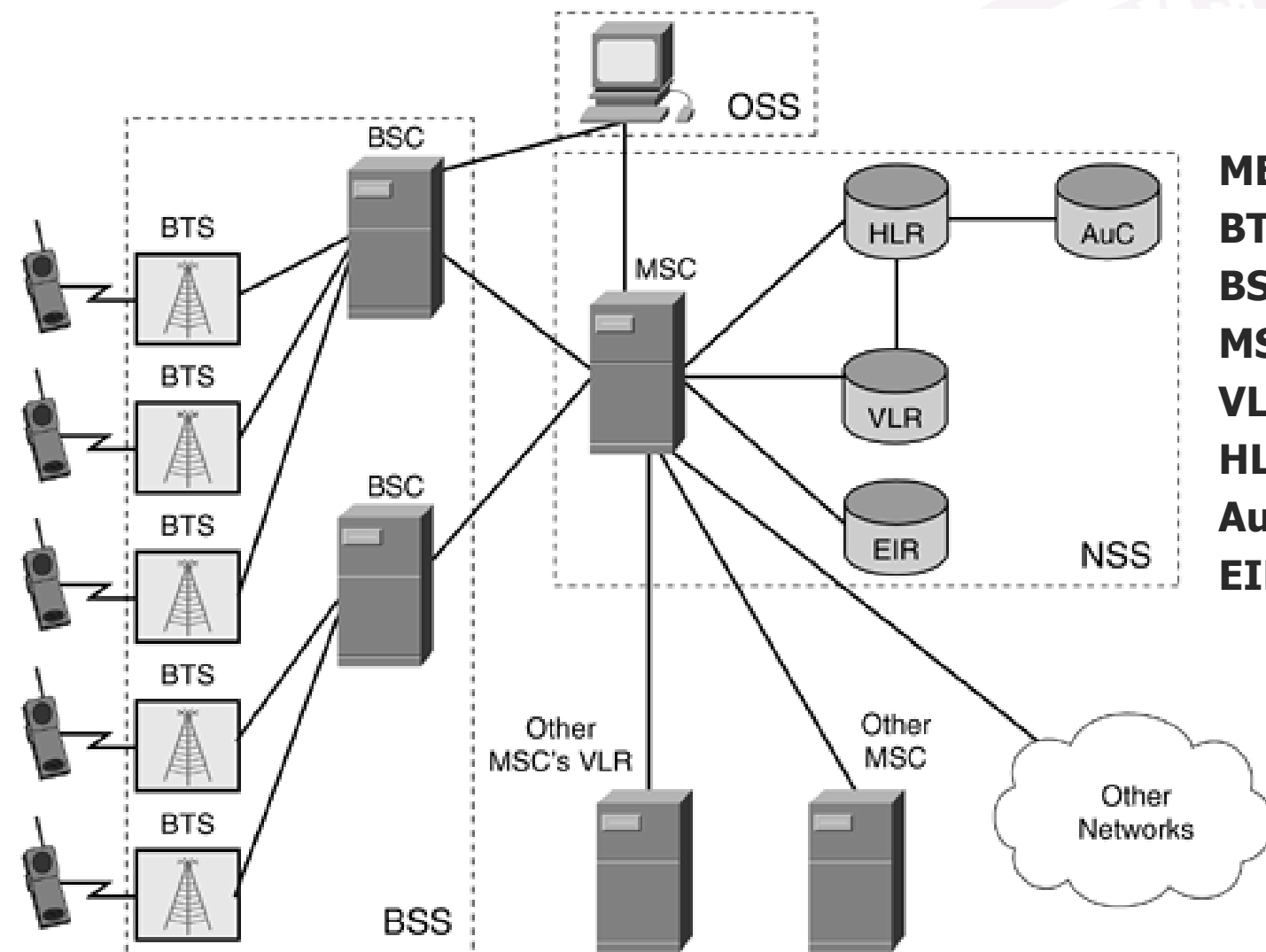
- Configuración de una red celular GSM





Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM - Componentes



- ME** – Mobile Equipment
- BTS** – Base Station Transceiver
- BSC** – Base Station Controller
- MSC** – Mobile Switching Centre
- VLR** – Visitor Location Register
- HLR** – Home Location Register
- AuC** – Authentication Centre
- EIR** – Equipment Identity Register



Las funciones básicas de los elementos funcionales más importantes

- ME: Estación móvil o terminal de usuario
- BTS: Estación base
 - Lleva el transmisor/receptor de radio que define la célula
 - Maneja el protocolo de radio con la Estación Móvil
- BSC:
 - Maneja los recursos radio de una o más BTS
 - Maneja la inicialización de los canales de radio, el salto en frecuencia y los handover
 - Es la conexión entre la Estación Móvil y el MSC
- MSC: Centro de conmutación para Móviles
 - Ofrece el servicio de conmutación de llamadas entre los móviles y la red fija
 - Maneja la movilidad
- Registros de localización, HLR y VLR
 - Almacenan información relativa a abonados residentes (HLR) y transeúntes (VLR)
- AuC: Centro de autenticación
 - Almacena, para verificación de llamadas, información relativa a la identidad abonado móvil y los equipos



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM – Acceso múltiple

- Dado que el canal de radio es un recurso limitado debe ser compartido por tantos usuarios como sea posible. El método elegido por GSM es una combinación TDMA / FDMA (Time and Frequency Division Multiple Access).
- FDMA implica la división en frecuencia. Se divide la banda asignada en 124 frecuencias de portadora. Cada una de estas frecuencias se divide en tiempo utilizando el TDMA.
- La unidad de tiempo en este esquema TDMA se denomina canal y es de $15/26$ ms. Se agrupan ocho canales en una trama TDMA $120/26$ ms, que forma la unidad básica para la definición de los **canales lógicos**.
- De todas las frecuencias asignadas a una BTS ($f_0 \dots f_n$), la f_0 se denomina frecuencia piloto de la celda (beacon frequency) y se dedica obligatoriamente durante el slot de tiempo cero a la emisión y recepción de canales de control.
- En cada frecuencia asignada a un celda hay 8 canales, numerados del 0 al 7. El canal 0 de f_0 se denomina canal piloto o canal de control. El resto de las frecuencias y los canales 1 al 7 de f_0 se denominan canales de tráfico.
- La BSC asigna par un determinado móvil en una conexión una frecuencia y un slot de tiempo. Los sucesivos envíos de bits que cada móvil hace o escucha en su tiempo de trama TDMA constituyen su canal, definido por tanto por la frecuencia y el slot de tiempo.



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM – Gestión de la Movilidad

- Dos tipos de actuaciones:
 - terminal vinculado a la red pero sin comunicación en curso:
 - asegurar que va a continuar vinculado a la red cuando se desplace (registro), localización, identificación y seguridad
 - terminal manteniendo una comunicación:
 - además, conmutación de la llamada en curso (traspaso, handover)
- Identificación de una ME:
 - la MS queda operativa cuando se inserta la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) en el equipo y el usuario teclea su PIN
 - nº identificación equipo físico: IMEI (International Mobile Equipment Identity)
 - nº identificación usuario: IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
 - El IMSI sólo se utiliza la primera vez que el usuario accede a la red; luego se sustituye por un TMSI, asignado por el VLR



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM – Gestión de la Movilidad

- Funciones de seguridad:
 - autenticación de los usuarios y equipos antes de :
 - cada registro en la red
 - cada tentativa de llamada
 - obtención de servicios suplementarios
 - transmisión de información protegida por cifrado
- Registro y localización: HLR, VLR
 - cuando la MS se conecta, tiene que registrarse para incorporarse a la red; cuando se desconecta envía un mensaje para avisar
 - cuando una MS activa cambia de zona de localización, debe registrarse se hace una actualización temporal incluso si nada ha cambiado
- Handover:
 - se monitoriza el medio radioeléctrico en ambos sentidos y en el proceso de conmutación en curso participan la BSS y la ME
 - Los algoritmos de conmutación en curso y control de potencia residen en el lado de la red, la cual a partir de la información suministrada por la ME conoce su situación respecto a las células próximas



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM – Gestión de la Movilidad

- Por handover (handoff en IUSA), se entiende el procedimiento realizado para el cambio de canal o de célula, manteniendo una comunicación, sin que esta resulte afectada.
- Los objetivos del handover en el sistema GSM son:
 - Mantener la calidad del enlace.
 - Minimizar la interferencia co-canal.
 - Gestionar la distribución de tráfico.
- El momento en el que se debe realizar el handover viene determinado por unas medidas, llevadas a cabo por el sistema. Estas medidas comprueban tanto la potencia como la calidad de la transmisión, y son llevadas a cabo bien por la MS, bien por la BTS.
- La MS envía cada 0.5 segundos las medidas que obtiene a la BTS:
 - BER (Bit Error Rate) en el enlace descendente (BTS→MS).
 - Nivel de la señal recibida.
 - Nivel de señal en células adyacentes.



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM – Gestión de la Movilidad

- La BTS realiza estas medidas:
 - BER en el enlace ascendente (MS→BTS)
 - Nivel de la señal recibida.
 - Retardo
- A parte de estas medidas, hay otros factores que determinan en que momento se realiza el handover:
 - Carga de trafico en las diferentes células
 - Niveles de interferencia
 - Capacidad de las celulas



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM – Gestión de la Movilidad

- Según las entidades que intervengan en el handover, se distinguen cuatro tipos:
 - Traspaso interno a una BTS
 - Traspaso interno a un BSC
 - Traspaso interno a una MSC
 - Traspaso entre MSC
 - Traspaso básico
 - Traspaso subsiguiente

- El traspaso interno a una BSC se realiza de la siguiente manera:
 - El BSC decide que es necesario efectuar un handover
 - El BSC reserva y activa nuevos canales en la BTS a la que se va a realizar el traspaso
 - El BSC ordena a la MS el cambio a los nuevos canales
 - La MS confirma que el traspaso se ha realizado eficazmente
 - Los recursos usados anteriormente son liberados



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM – Control de Potencia

- El control de potencia en GSM puede ser utilizado tanto en la MS como en la BTS, y su finalidad es la de reducir la interferencia co-canal mientras se trabaja con una potencia transmisora adecuada para mantener la calidad de la señal de voz a través del canal radioeléctrico. Este control de potencia es obligatorio para la MS pero no para la BTS. La MS debe ser capaz de variar su potencia de transmisión desde su máximo valor (diferente según la clase de MS de que se trate) hasta 20 mW en pasos de 2 dB. Este procedimiento le permite también ahorro de batería.
- Para el acceso inicial de una MS, dicha MS debe utilizar su valor definido por la clase de MS o el valor máximo definido en esa célula. Después, la BTS calcula el nivel de potencia en radiofrecuencia que debe usar la MS y se lo indica mediante 4 bits que están dedicados a tal efecto en un canal de señalización. El cambio de potencia de la MS se realiza a una velocidad de 2 dB cada 60 ms, y la MS confirma a la BTS el nivel de potencia que utiliza en ese mismo canal de señalización.



Sistemas de Comunicaciones Móviles

Sistema GSM – Otras técnicas

- Como la mayoría de las comunicaciones en sistemas voz son activas sólo la mitad del tiempo, el sistema GSM utiliza la transmisión discontinua (DTX) apoyándose en un detector de actividad vocal (VAD), transmitiendo aquellos tramos de voz en los que considera que hay actividad de voz. Ello conlleva dos ventajas:
 - La señal co-canal interferente se reduce 3 dB de media
 - La duración de la batería de la MS se amplía considerablemente
- Los intervalos en los que no se transmite voz se rellenan con “ruido confortable”. Un algoritmo se encarga de extraerlo para enviarlo periódicamente en los periodos de silencio, en tramas de identificación de silencio (SID) al extremo receptor de la comunicación. La opción DTX es obligatoria para la MS y optativa para la BTS.
- La recepción discontinua, implica que la MS esté diseñada para tener activados los receptores sólo cuando es necesario.
- La propagación multitrayecto es muy importante en móviles produciendo un desvanecimiento de la señal muy característico. Este efecto negativo se corrige en parte mediante la técnica de salto lento de frecuencia. La frecuencia de saltos es de 217 saltos/s.