



# Redes PMR. Sistema TETRA

**REDES DE ACCESO CELULAR**

## Introducción

- Los sistemas *PMR (Private Mobile Radio)* pertenecen y están controlados por las mismas empresas o instituciones a las que prestan servicios (ayuntamientos, comunidades autónomas, confederaciones hidrográficas, empresas de explotación de transporte metropolitano, aeropuertos, puertos, empresas petrolíferas, empresas distribuidoras de energía, etc.).
- Los servicios de radiocomunicaciones profesionales también pueden ser prestados a través de operadores legalmente habilitados (*PAMR: Public Access Mobile Radio*).
- En la actualidad, existen numerosas redes basadas todavía en tecnología analógica (PMR convencional, trunking analógico MPT-1327, ...), aunque se está produciendo de forma progresiva la migración a tecnologías digitales (TETRA, Tetrapol, P25, ...).
- En Europa, la tecnología digital dominante es TETRA (*TErrestrial Trunked Radio*).
- TETRA es un estándar elaborado por el ETSI que ha reunido propuestas de operadores de redes, administraciones nacionales, fabricantes de equipos y usuarios de servicios móviles para establecer una norma abierta para las comunicaciones móviles digitales profesionales.

## Introducción

- **Motivos para la creación de un nuevo sistema de comunicaciones profesionales:**
  - Optimización del espectro radioeléctrico.
  - Mayor seguridad en las comunicaciones.
  - Mayor capacidad de transmisión de datos.
  - Facilitar la conectividad hacia redes externas a los sistemas de radiocomunicaciones profesionales.
  - Estandarización de un sistema a nivel europeo (ahora mundial) que permita grandes coberturas.
  - Sucesión natural de los sistemas trunking analógicos.
  
- Se ha constituido la organización TETRA MoU, que agrupa a fabricantes, organizaciones de usuarios, operadores, entidades normativas, centros de pruebas y desarrolladores de aplicaciones con el fin de fomentar la implantación de la tecnología TETRA, promover la interoperabilidad, preparar especificaciones y planes de test TIP (*TETRA Interoperability Profile*) y organizar certificaciones IOP (*Interoperability*): [www.tetramou.com](http://www.tetramou.com)

## Introducción

### ■ Conjunto de estándares TETRA

#### → V+D (*Voice plus Data*)

(también conocido como **TMO**, *Trunked Mode Operation*)

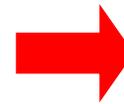
- Transmisión de voz y de datos utilizando una estación base.

#### ■ **DMO** (*Direct Mode Operation*)

- Comunicación entre terminales sin necesidad de estación base.

#### ■ ~~PDO (*Packet Data Optimized*)~~

- ~~• Transmisión exclusiva de datos.~~



Modo avanzado de  
datos en TETRA  
Release 2

# Arquitectura de red TETRA

## Elementos e interfaces

AI - Air Interface (Trunked Mode Operation)

DMO - Direct Mode Operation

ISI - Inter-System Interface

LS - Line Station (dispatcher)

LSC - Local Switching Controller

MMI - Man Machine Interface

MS - Mobile Station

NMS - Network Management System

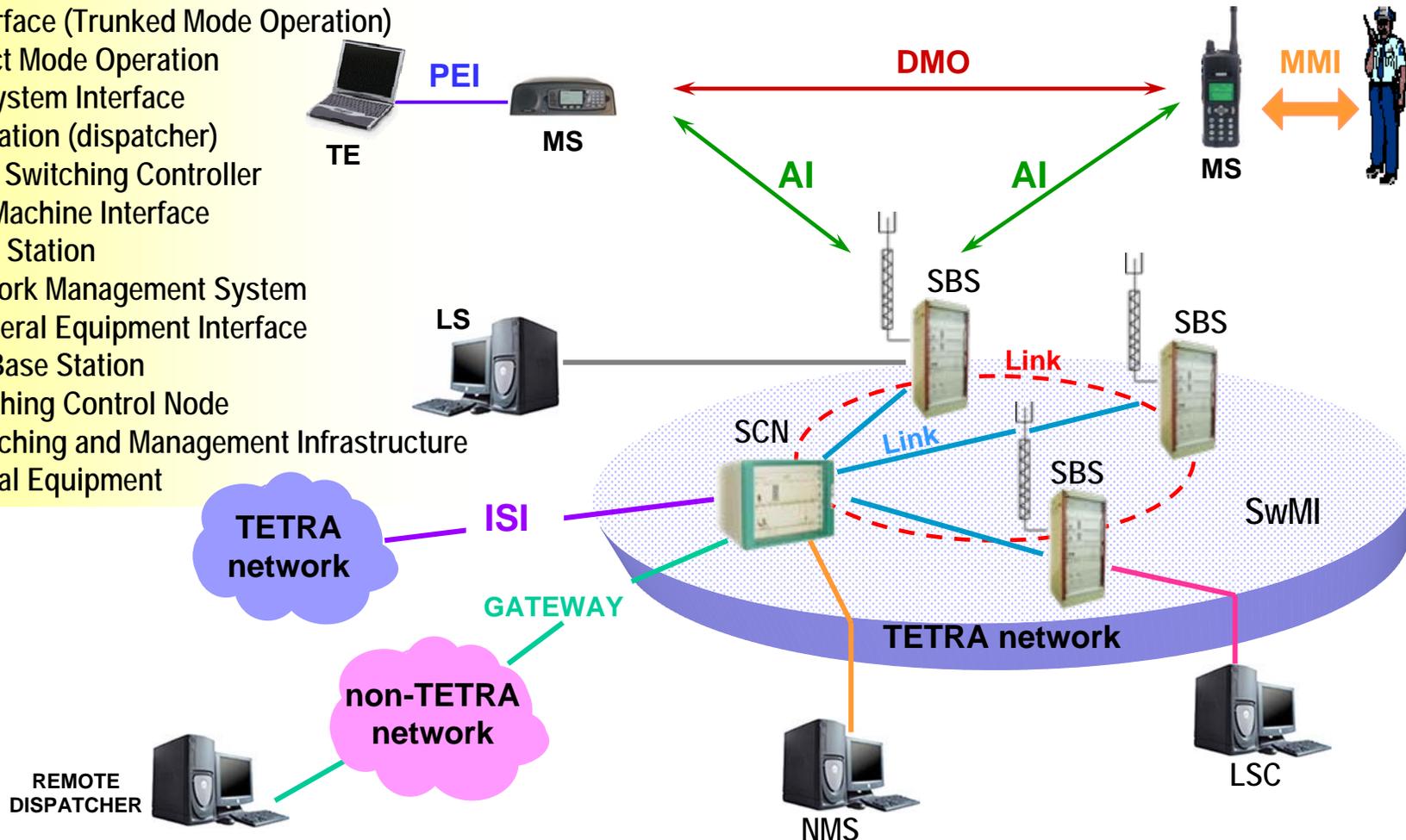
PEI - Peripheral Equipment Interface

SBS - Site Base Station

SCN - Switching Control Node

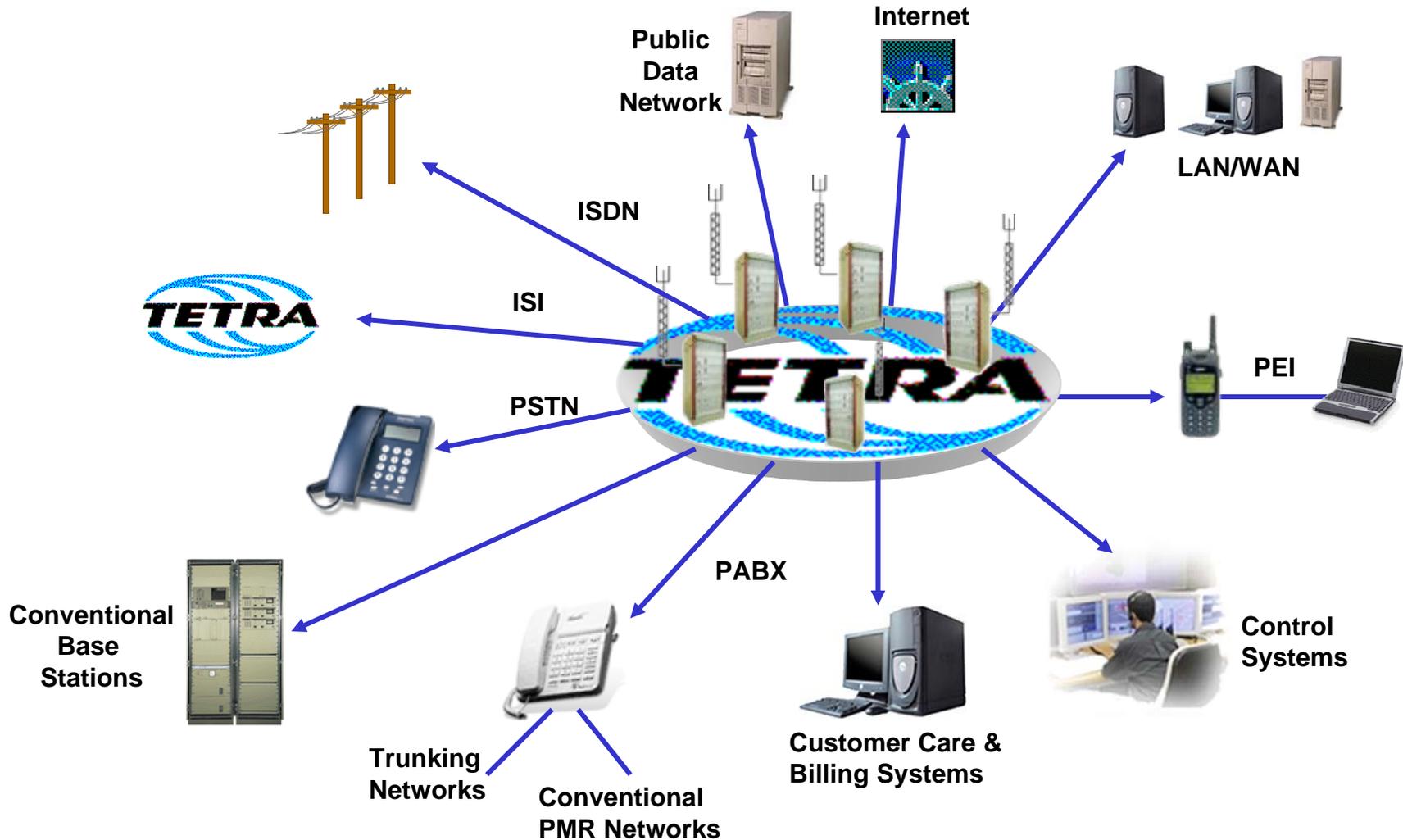
SwMI - Switching and Management Infrastructure

TE - Terminal Equipment



# Arquitectura de red TETRA

## ■ Conectividad TETRA



## Tecnología TETRA

### ■ Características funcionales

- Configuración jerárquica de flotas con distintas prioridades:
  - o Distintos niveles de acceso.
  - o Distintos niveles en la prioridad de llamadas.
- Convivencia de flotas independientes sobre una misma red.
- Control de potencia de transmisión de los terminales desde la estación base.
- Habilitación de economizado de energía en los equipos terminales desde la estación base.
- Negociación de recursos del sistema según necesidades:
  - o Transmisiones simultáneas de voz y datos.
  - o Transmisiones de datos con anchos de banda distintos en cada sentido.
- Permite al equipo terminal pasar entre células de una misma red (handover) y entre redes (migración).

## Tecnología TETRA

### ■ Características funcionales (cont)

- Permite el uso de mecanismos de autenticación de los terminales dentro del sistema.
- Posibilidades de cifrado de la información en la interfaz aire y entre extremos.
- Rapidez en el establecimiento de llamadas (< 300 ms para llamadas de voz directas).
- Posibilidad de llamadas de grupo y de broadcast.
- Interfaces estandarizadas en los distintos ámbitos de conexión del sistema (terminal a estaciones base, acceso externo a terminales, interconexión de sistemas, etc.).

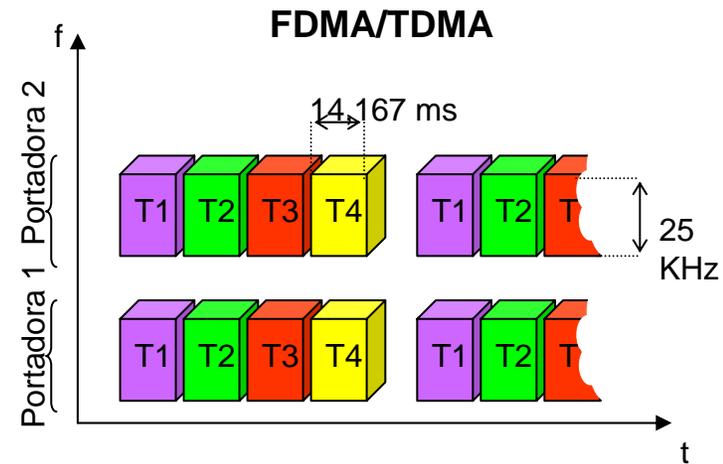
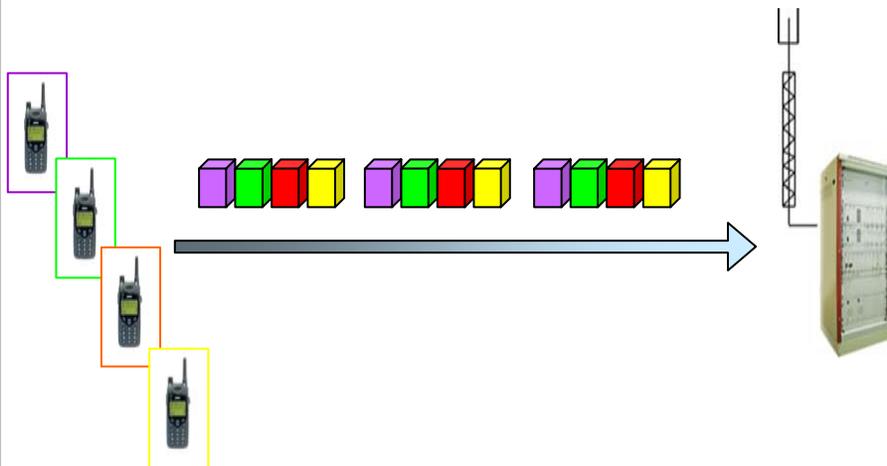
## Tecnología TETRA

### ■ Características radioeléctricas

- Sistema TDMA (*Time Division Multiple Access*) de 4 slots por trama.
- Acceso aleatorio mediante Aloha ranurado.
- Modulación  $\pi/4$  DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) a 36 kbps con filtros conformadores del tipo coseno realzado con  $\beta = 0,35$ .
- Separación de canales: 25 kHz.
- Rechazo al canal adyacente  $> 60$  dBc.
- Potencia de equipos móviles de 1; 1,8; 3 y 10 W.
- Potencia de estaciones base de 0,6 a 40 W.
- Bandas de trabajo: 350-370, 380-400, 410-430, 450-470, 806-870 MHz.
- Operación en escenarios diversos (urbano, suburbano, rural, montañoso) y con velocidades de desplazamiento de hasta 200 km/h.
- En [TETRA Release 2](#) se incluyen nuevas canalizaciones (50, 100 y 150 kHz) y nuevas modulaciones ( $\pi/8$  D8PSK, 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM).

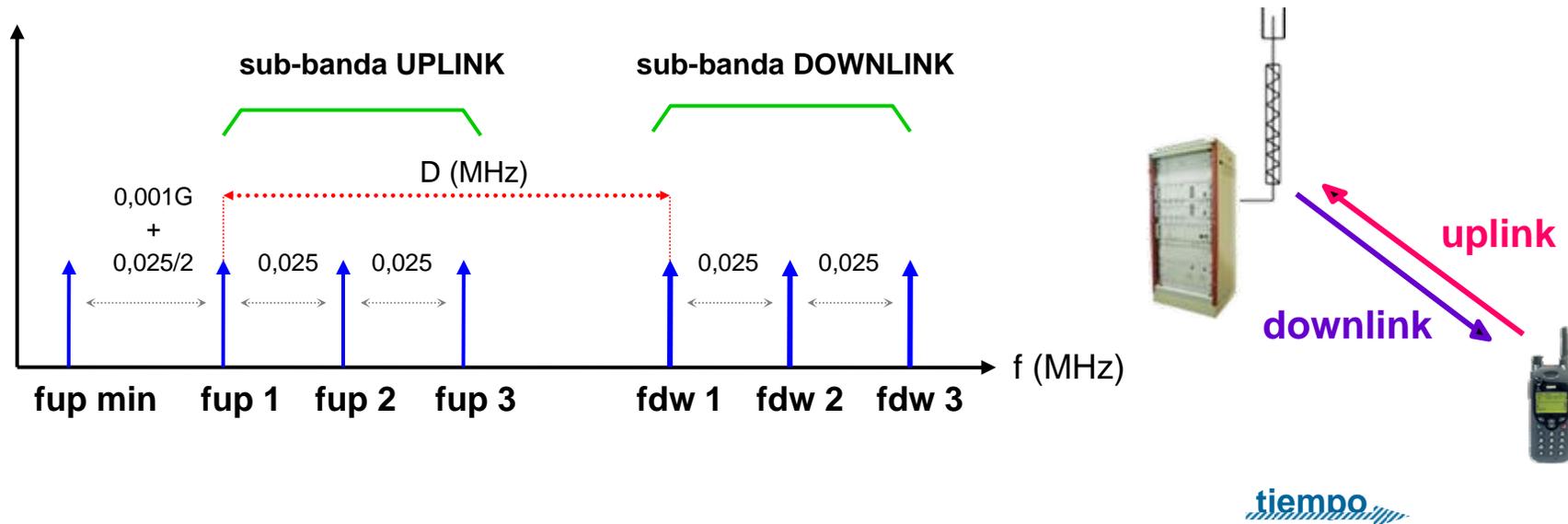
## Estructura TDMA

- La tasa de modulación es 36 kbps (18 kbaudios).
- Cada portadora RF se divide en 4 canales físicos (timeslots). El recurso radio básico será un 'timeslot' (14,167 ms).
- Las llamadas vocales utilizan un único canal (timeslot).
- Las llamadas de datos pueden utilizar hasta 4 canales (timeslots).
- Voz y datos pueden ser transmitidos simultáneamente en timeslots diferentes.

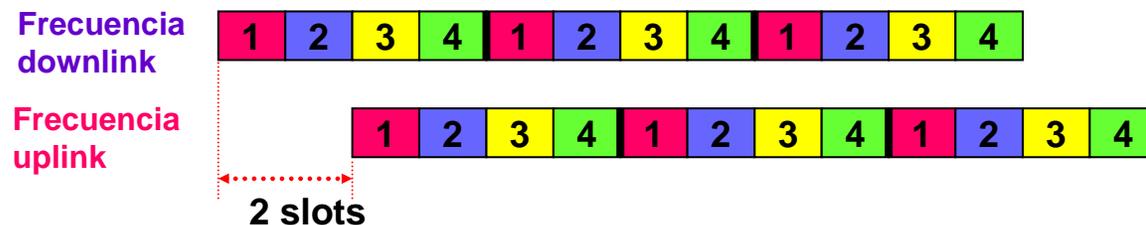


# Estructura TDMA

- El duplexado es FDD (*Frequency Division Multiplex*), de modo que una comunicación requiere un canal de 25 kHz en el UL y otro de 25 kHz en el DL. Ambos canales están separados una distancia fija D MHz (10 MHz en la banda de 400 MHz y 40 MHz en la banda de 800 MHz).

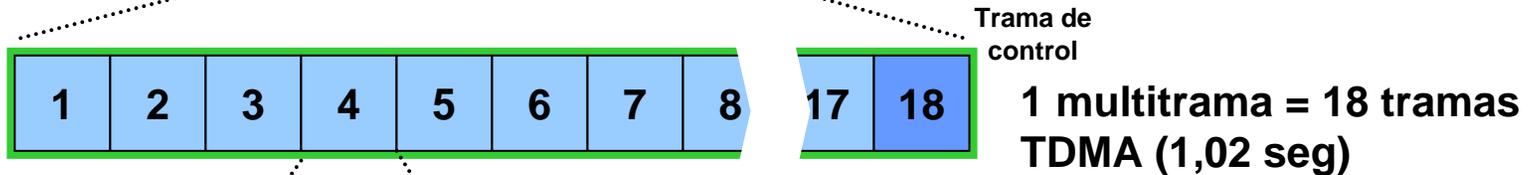
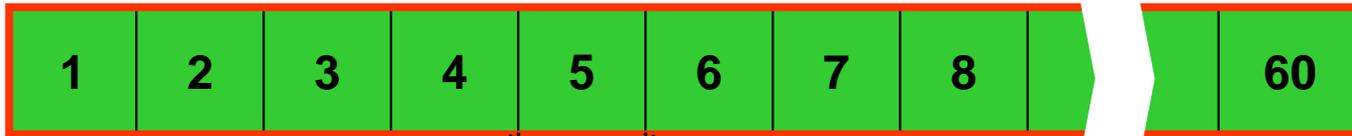


- La estructura uplink está retardada 2 timeslots con respecto a la referencia downlink



# Estructura TDMA

1 hipertrama = 60 multitramas (61,2 seg)



1 subslot = 7,08 ms

- La trama 18 se dedica a la transmisión de información de control.

# Eficiencia espectral



## Canales TETRA

- **Canales lógicos:** Se definen por el tipo de información que transfieren entre el móvil y la red.
  - **Canales de control (CCH).** Transportan exclusivamente mensajes de señalización o información de datos en modo paquete:
    - o Canal de control de difusión, BCCH (*Broadcast Control Channel*):
      - *BNCH (Broadcast Network Channel)*. Envía información sobre la red e identidades de las BS (DL).
      - *BSCH (Broadcast Synchronization Channel)*. Se envían datos a las MS para el ajuste de su frecuencia, sincronización temporal y de las secuencias de aleatorización (DL).
    - o Canal de linealización, LCH:
      - *CLCH (Common Linearisation Channel)*. Compartido por todas las MS para linealizar sus transmisores (UL).
      - *BLCH (Base station Linearisation Channel)*. Usado por la BS para linealizar su transmisor (DL).
    - o Canal de señalización, SCH (*Signalling Channel*): SCH/F (bidireccional, full rate), SCH/HD (DL, half rate), SCH/HU (UL, half rate).
    - o Canal de asignación de acceso, AACH (DL). Se inserta en todos los timeslots del DL para informar a la MS de los canales lógicos a mapear en el siguiente subslot o slot del UL (incluidos los permisos de acceso aleatorio) y los que aparecen en ese mismo slot del DL.
    - o Canal sustraído, STCH (*STealing Channel*) . Utiliza un canal TCH para el envío de señalización urgente asociada a una llamada.

## Canales TETRA

### ■ Canales lógicos (cont):

- **Canales de tráfico (TCH).** Transportan mensajes de voz o datos con conmutación de circuitos: voz: TCH/S; datos: TCH/7.2, TCH/4.8, TCH/2.4.

### ■ Canales físicos: Un canal físico está constituido por un radiocanal (dos frecuencias) y un intervalo de tiempo (time slot). Cada radiocanal ofrece cuatro canales físicos. Se definen 3 tipos de canales físicos:

- **Canal físico de Control** (CP: *Control Physical Channel*):
  - o Canal de control principal: MCCH (*Main Control Channel*).
  - o Canal de control secundario: SCCH (*Secondary Control Channel*). El PDCH (*Packet Data Channel*) es un SCCH específico para transmisión de paquetes de datos.
- **Canal físico de Tráfico** (TP: *Traffic Physical Channel*).
- **Canal físico no asignado** (UP: *Unallocated Physical Channel*).

### ■ De las portadoras de una estación base, una de ellas será la portadora principal y en ella se ubicará el MCCH, que está siempre localizado en el timeslot 1 de dicha portadora.

## Servicios TETRA

- Servicios de voz. El vocoder TETRA es un ACELP (*Algebraic Code Excited Linear Prediction*) que opera a 4,56 kbps. Con la redundancia añadida en la codificación de canal, el canal requerido para la comunicación es de 7,2 kbps
  - Llamadas de voz individuales y de grupo.
  - Servicios dúplex y semi-dúplex.
  - Llamadas directas o por descuelgue.

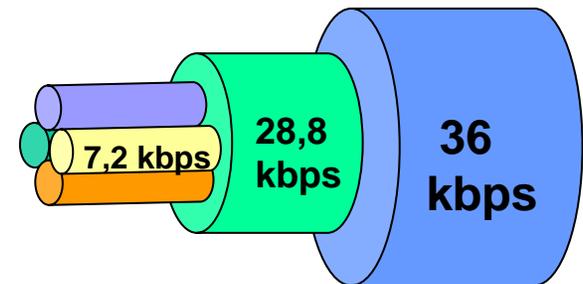
Posibilidad de cifrado adicional (en la interfaz aire y/o entre extremos).

- Servicios de datos.
  - Mensajes de datos cortos y estados.
  - Datos en modo de paquetes.
  - Datos en modo de circuitos.

También soporta cifrado adicional.

- Servicios suplementarios.

- Cada slot (para  $\pi/4$ -DQPSK) proporciona una capacidad máxima de 7,2 kbps (sin codificación de canal), y permite servicios de 4,8 kbps y 2,4 kbps con codificación de canal.



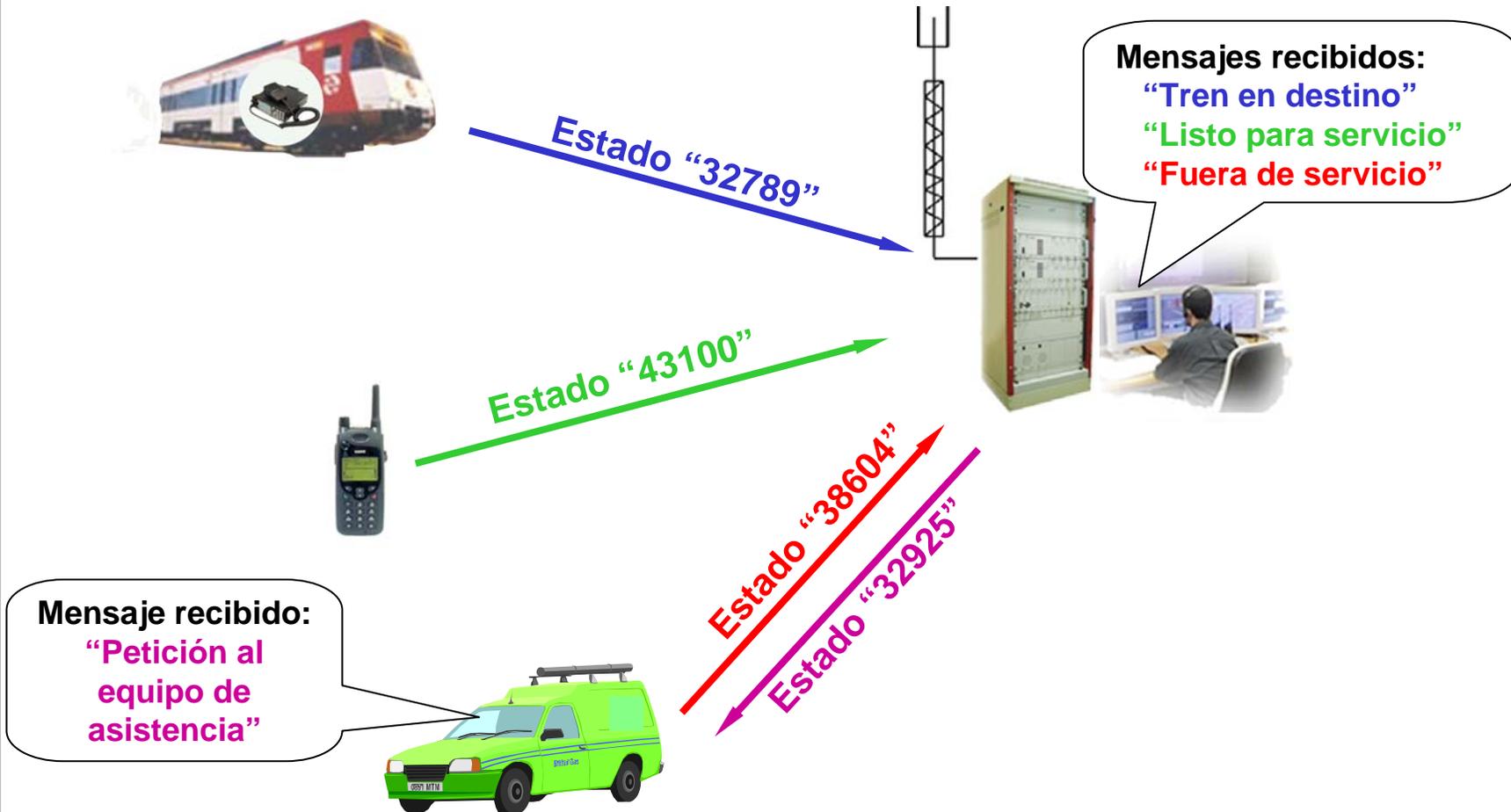
## Servicios TETRA

### ■ Mensajes de estado

- El servicio TETRA de mensajes de estado permite transmitir y recibir mensajes pre-codificados a través de la red TETRA.
- Soporta transmisiones punto a punto o punto-multipunto.
- Este servicio emplea canales de control (MCCH, SCCH, PDCH, STCH).
- Para el envío y recepción de mensajes de estado durante llamadas en modo circuito (voz, datos) se emplean los mecanismos de “stealing”.
- El servicio de mensajes de estado tiene un tiempo de respuesta prácticamente instantáneo.
- Los mensajes son datos enteros de 16 bits (longitud fija). Hay 32768 valores posibles para uso de aplicación y otros 32768 valores están reservados para futuros requisitos del estándar.

# Servicios TETRA

## ■ Mensajes de estado (cont)



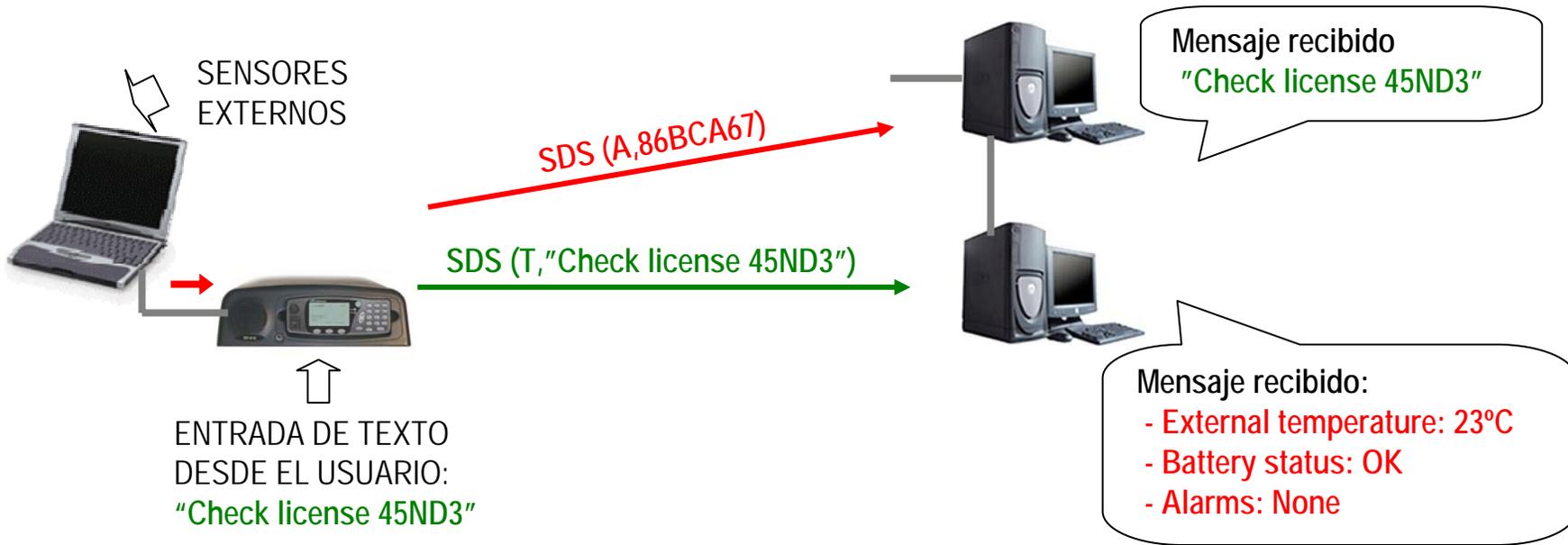
## Servicios TETRA

- **Servicio de datos cortos (SDS)**
- El Servicio de datos cortos (SDS) permite transmitir y recibir mensajes cortos pre-definidos o definidos por el usuario a través de la red TETRA.
- Soporta transmisiones de datos punto a punto o punto-multipunto.
- Según el tamaño del mensaje se distinguen varios tipos de SDS:
  - Tipo 1 (2 bytes) , tipo 2 (4 bytes), tipo 3 (8 bytes).
  - Tipo 4 (longitud variable):
    - o 140 bytes (formato ISO 8-bit) / 160 bytes (formato GSM-7bit) cuando se emplea “LLC Basic Link”.
    - o 256 bytes usando “LLC Advanced Link” (no cubierto por los perfiles de interoperabilidad).
- Este servicio emplea canales de control (MCCH, SCCH, PDCH, STCH).
- Dependiendo del tamaño de los SDS, se podrán emplear mecanismos de stealing para enviar o recibir mensajes durante llamadas en modo circuito (voz, datos).
- SDS tiene un tiempo de respuesta rápido (del orden de milisegundos).

## Servicios TETRA

- **Servicio de datos cortos (SDS) (cont)**
- El SDS-Transport Layer (TL) es un protocolo adicional (opcional) para SDS tipo 4 que mejora el servicio por medio de reconocimiento extremo a extremo, almacenamiento y reenvío (con centro de servicios en la SwMI) y soporte para múltiples protocolos de aplicaciones.
- El uso de diferentes Identificadores de Protocolo (PIDs) previene a las aplicaciones de interacciones o conflictos no deseados. La asignación de PID corresponde al ETSI quien centraliza esta información para asegurar futura interoperabilidad y evitar congestión de identificadores.

Ejemplo de uso: Dos aplicaciones basadas en SDS usando diferentes PIDs (marcado como "A" y "T").



## Servicios TETRA

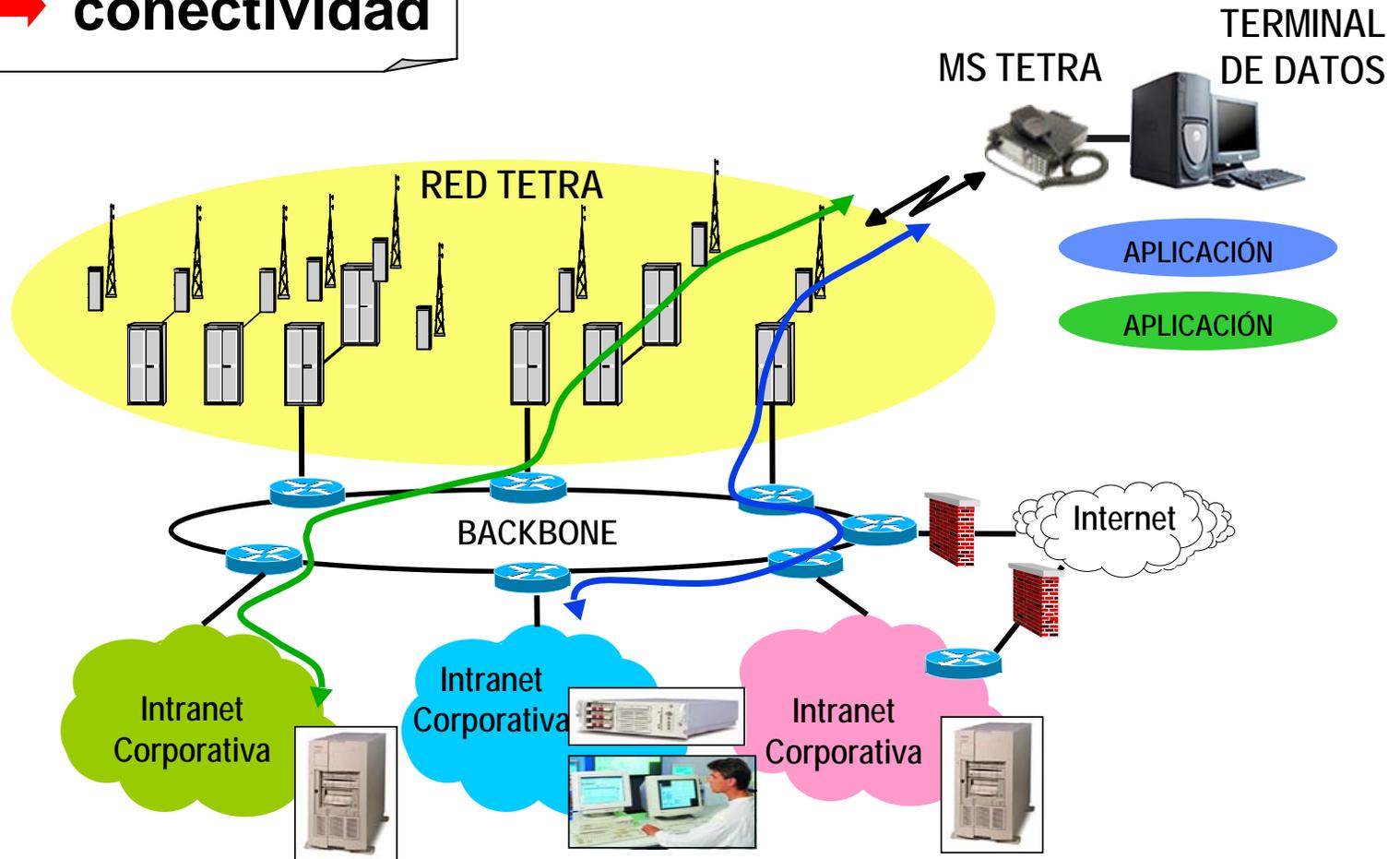
### ■ Datos en modo paquete

- El protocolo TETRA de transmisión de datos en modo de paquetes permite extender las comunicaciones de datos para actuar como una sub-red IP.
- Servicio soportado mediante “LLC Advanced Link”.
- Capacidades monoslot y multislot.
- Transmisión hasta 4,8 Kbps en monoslot (neto alrededor de 3,6 kbps).
- Operación punto a punto y punto-multipunto.
- Soporta autenticación y compresión de cabeceras IP.
- El servicio se proporciona mediante el canal lógico PDCH, un canal de control específico para propósitos de datos en modo paquete. El PDCH será sólo usado durante la transferencia de datos.
- Mientras el PDCH se encuentra activo, también se permite el envío de mensajes SDSs usando el servicio “LLC Basic Link”.
- Típico tiempo de respuesta  $> 2$  s (incluyendo petición de canal y establecimiento del enlace avanzado).

# Servicios TETRA

## Datos en modo paquete (cont)

**IP** → **conectividad**



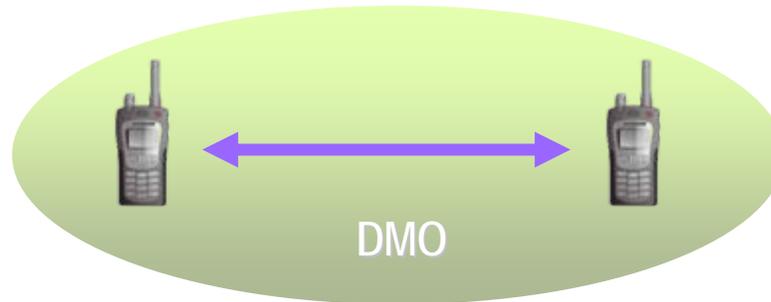
## Servicios TETRA

### ■ Datos en modo circuitos

- El servicio de datos en modo de circuito es el más potente en términos de transferencia de datos, donde el MS actúa como un módem transparente sobre la red TETRA.
- Capacidades mono-slot y multislots.
- Operación semi-dúplex y dúplex.
- Velocidades de datos desde 7,2 kbps hasta 2,4 kbps en operación monoslot, dependiendo del nivel de protección de datos seleccionado.
- Operación punto a punto y punto-multipunto.
- El servicio emplea canales de tráfico (TCH/7.2, TCH/4.8, TCH/2.4) a través del plano-U (usuario). El canal de tráfico se emplea durante toda la llamada.
- Rápido establecimiento de llamada, típicamente < 300 ms.

## Modo de operación directo (DMO)

- Comunicación entre terminales sin necesidad de infraestructura fija TETRA.
- Similares características radio que el modo TMO.
- Permite transmisión de voz, mensajes de datos cortos y mensajes de estado, soportando cifrado de la información.
- Permite comunicaciones de datos en modo de circuitos mediante el empleo de un único slot (entre 2,4 a 7,2 kbps, según protección).
- **Modos de trabajo:**
  - **Standard DMO:**
    - o Funcionamiento normal directo entre terminales.
    - o Concepto similar al de comunicación símplex convencional.

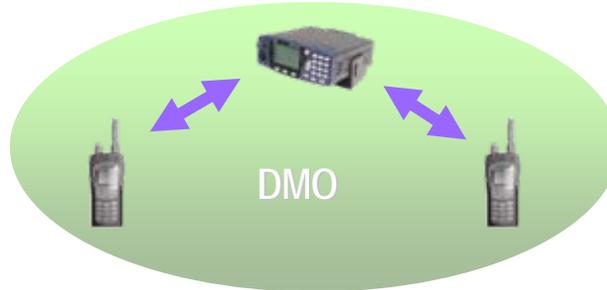


## Modo de operación directo (DMO)

### ■ Modos de trabajo (cont):

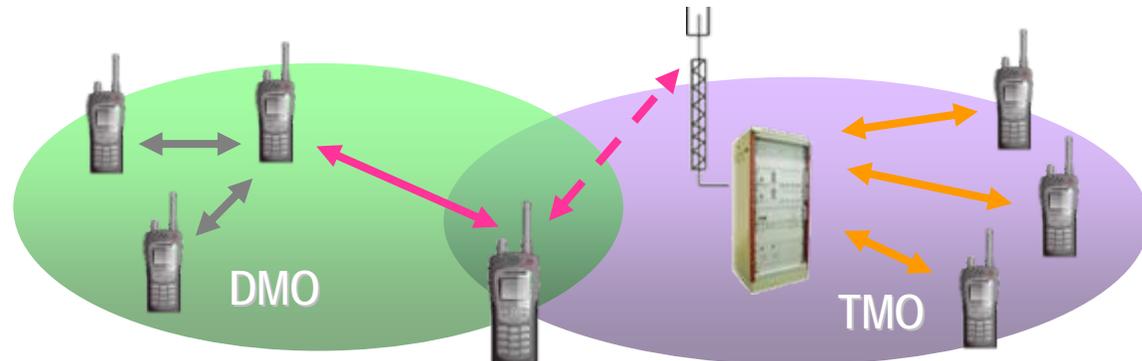
- **Repetidor DMO (*DMO Repeater*):**

- o El terminal retransmite la señal recibida por otro slot distinto.
- o Concepto similar al de repetidor convencional.



- **Doble escucha (*Dual Watch*):**

- o El terminal trabaja con un grupo fuera del sistema y a la vez monitoriza la infraestructura TETRA TMO por si recibe llamadas.

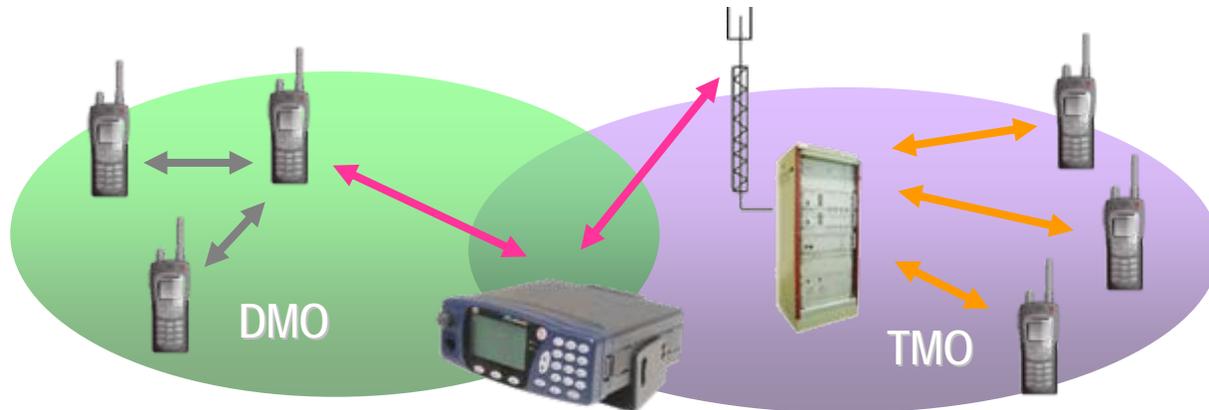


## Modo de operación directo (DMO)

### ■ Modos de trabajo (cont):

- **Pasarela DMO (*DMO Gateway*):**

- o El terminal retransmite comunicaciones de DMO a TMO y viceversa.



## Bibliografía

- J. Dunlop, D. Girma, J. Irvine. "Digital Mobile Communications and the TETRA System". Ed. Wiley. 1999.
- Peter Stavroulakis (editor). "TErrestrial Trunked RAdio - TETRA. A global Security Tool". Ed. Springer-Verlag. 2007.
- <http://www.tetramou.com>