

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE RADIO TETRA CON CENTRAL  
TELEFÓNICA**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**JOSUE RUBEN ALTAMIRANO YUPANQUI**

**PROMOCIÓN  
1996 - I**

**LIMA – PERÚ  
2009**

## INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE RADIO TETRA CON CENTRAL TELEFÓNICA

Dedicado especialmente para mi  
princesita Adriana, razón de ser de mi  
vida, a la memoria de mi padre, a mi querida  
madre, a mis hermanos y hermanas, y para aquella  
persona tan especial que gracias a su apoyo constante  
me permitió iniciar y culminar el presente informe.

## SUMARIO

En el presente informe denominado INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE RADIO TETRA CON CENTRAL TELEFÓNICA, se aborda la solución al problema que se presenta en el dimensionamiento para la integración del sistema de radio TETRA y PBX. Determinar el número de canales de conexión entre ambos sistemas, así como cuantificar la cantidad máxima de terminales que operarán, es el punto de partida que todo profesional debe tener en consideración a la hora de elaborar su diseño y planteamiento de un sistema integrado.

Un sistema con canales de conexión sobredimensionado resultaría en una inversión elevada e innecesaria, pues los canales estarían parcialmente ocupados durante la mayor parte del tiempo, traduciéndose en un escaso rendimiento del mismo.

Por otra parte, un sistema con canales insuficientes de conexión, provocaría grandes períodos de saturación, es decir, muchos intentos de llamadas no podrán establecerse por falta de canales libres, traduciéndose finalmente en una escasa y mala calidad del servicio. Por tanto, la etapa del dimensionado del sistema, busca un equilibrio entre ambas situaciones.

Se presenta una propuesta de diseño en la que conviven el sistema de radio TETRA y el sistema de radio analógico, integrados a la PBX. Se toma en consideración que es necesario la convivencia de estas dos tecnologías de radio, debido a la fuerte inversión que se realizaría de darse un reemplazo total del sistema de radio analógico. Siendo lo más probable el cambio progresivo de dicho sistema, que se traduce en inversiones por etapas y que pueden ser manejados por las empresas.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	2
<b>PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA:</b>	
<b>CARENCIA DE INTEGRACIÓN PMR Y PBX</b> .....	2
1.1 Formulación del problema .....	2
1.2 Objetivos .....	4
1.3 Alcances .....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	5
<b>MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	5
2.1 Antecedentes .....	5
2.2 Sistema Radial TETRA .....	6
2.2.1 Definición .....	8
2.2.2 Arquitectura (14) .....	11
2.2.3 Especificación tecnológica .....	13
2.2.4 Servicios de TETRA .....	14
2.2.5 Características interfaz aire .....	18
2.2.6 Modos de operación .....	23
2.2.7 Seguridad .....	25
2.2.8 Aplicaciones .....	26
2.2.9 Ventajas y desventajas (3) .....	26
2.3 Central Telefónica .....	27
2.3.1 Definición .....	30
2.3.2 Arquitectura .....	32
2.3.3 Interconexión .....	37

<b>CAPÍTULO III</b> .....	40
<b>METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	40
3.1 Alternativas de solución .....	40
3.2 Solución del problema .....	42
3.3 Recursos .....	43
<b>CAPÍTULO IV.</b> .....	44
<b>ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	44
4.1 Dimensionamiento de la implementación .....	46
4.2 Estimación de tráfico a cursar .....	47
4.3 Estrategia para la implementación .....	52
<b>CONCLUSIONES</b> .....	56
<b>ANEXO A</b> .....	58
<b>CONCEPTO DE RADIOCOMUNICACIONES MÓVILES</b> .....	59
A.1. Composición de un sistema de comunicaciones móviles (2) .....	60
A.1.1 Estaciones fijas (FS) .....	60
A.1.2 Estaciones móviles .....	61
A.1.3 Equipos de control .....	61
A.2. Clasificación de los sistemas móviles (3).....	61
A.3. Clases de canales de comunicaciones móviles (3) .....	63
A.3.1. Canales simplex .....	64
A.3.2. Canales semidúplex .....	65
A.3.3. Canales dúplex (full dúplex) .....	66
<b>ANEXO B</b> .....	67
<b>CONCEPTO DE ACCESO MÚLTIPLE (3)</b> .....	68
<b>ANEXO C</b> .....	75
<b>CONCEPTO DE MODULACIÓN (3)</b> .....	76
C.1. Modulación de fase (PSK o Phase Shift Keying) (3) .....	78
C.1.1 Modulación QPSK diferencial $\pi/4$ ( $\pi/4$ -DQPSK o $\pi/4$ -Differential QPSK) .....	79
<b>ANEXO D</b> .....	82
<b>ACRÓNIMOS</b> .....	83

<b>ANEXO E</b> .....	85
<b>GLOSARIO</b> .....	86
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	89

## INTRODUCCIÓN

En estos tiempos se vive una marcada tendencia por la integración de los servicios públicos de telecomunicaciones existentes (voz, datos, video), como consecuencia del desarrollo tecnológico que se viene experimentando.

A todo este desarrollo tecnológico, no han estado ajenos los servicios privados de telefonía fija (PBX) y móvil (PMR), quienes también han tenido su propia evolución, siendo actualmente totalmente digitales; los cuales a través de redes independientes de las redes públicas ofrecen servicios, por ejemplo en el campo de las radiocomunicaciones a grupos cerrados de usuarios, pertenecientes a los cuerpos de la policía, bomberos, flotas de transportes, etc., que tienen su particular modo de operación y deben reunir requisitos exclusivos que les permitan mantener las comunicaciones en situaciones críticas y de emergencia, donde las redes públicas colapsan por el aumento del tráfico generado por las personas que se encuentren en la zona afectada.

El punto de partida para la implementación de una red, es la cuantificación del tráfico que debe soportar el sistema de comunicación. Determinar el tráfico demandado permite un dimensionamiento adecuado de la red, (cantidad de equipos terminales, canales de interconexión, canales de comunicación, ancho de banda, etc.), con lo cual se logra determinar los requerimientos de hardware, enlaces, terminales, etc., en cantidad adecuada tal que garanticen la disponibilidad del servicio en la red.

En tal sentido el presente informe, propone el diseño de una red integrada PBX – TETRA, que sirva de punto de partida para su implementación.



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA: CARENCIA DE INTEGRACIÓN PMR Y PBX

### 1.1 Formulación del problema

La falta de integración (interoperabilidad y/o convergencia) entre distintos sistemas de comunicación que puede disponer una entidad sea ésta pública o privada, repercute directamente en la toma de decisiones, debido a la disponibilidad de información en tiempo real.

La adopción de la convergencia de servicios en general: voz, datos y video, en una sola red de la entidad, implica un menor costo de capital, procedimientos simplificados de soporte, configuración de red y una integración con sus oficinas sucursales, teniendo como beneficio principal la disposición de información en tiempo real desde cualquier lugar de la entidad, sea ésta local o remota.

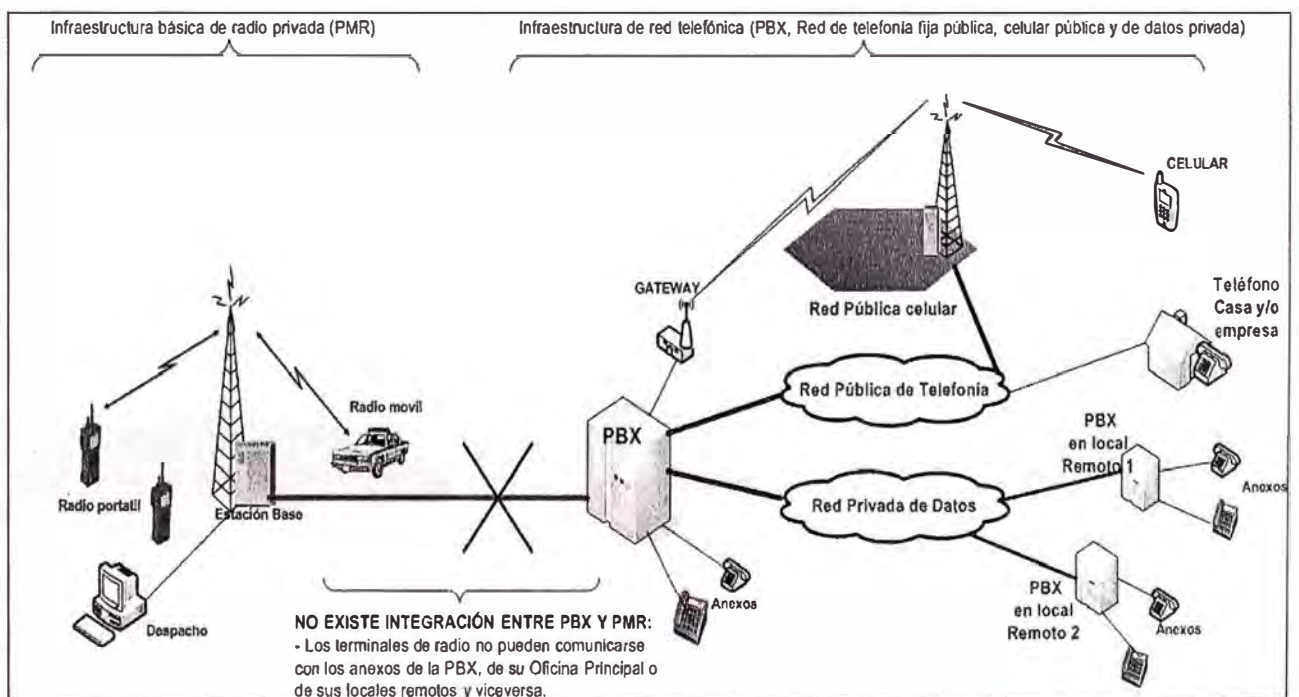


Fig. 1.1 Sistema PMR y PBX, aislados entre sí.

Particularmente, nos centraremos en la integración de un sistema básico de radio digital privado (PMR - TETRA) y los sistemas de telefonía privada (PBX).

Sin embargo, a las desventajas citadas, se suma otra, la de disponer un sistema de radio privado analógico. No podemos pasar por alto esta realidad existente en muchas entidades. Muchos sistemas de radio PMR de tecnología analógica convencional, instalados y operativos, proceden en muchos casos de los años ochenta, o de los años noventa para el caso de tecnología troncal (trunking) analógica.

Los sistemas de radio analógicos presentan las siguientes desventajas:

- Baja eficiencia espectral, por tener un solo canal por cada radiocanal.

- Carecen de seguridad en sus comunicaciones, fácil de escuchar con un scanner .

- Interferencias (intencionadas o no) en los momentos de mayor necesidad para establecer la comunicación.

- Falta de interoperabilidad y escalabilidad con otros sistemas de radio, redes heterogéneas, de modo que un terminal no puede comunicarse con otro terminal perteneciente a una red distinta.

- Normalmente se presentan problemas de saturación y de cobertura (sobre todo en redes monocanales), así como otros derivados de la obsolescencia de la tecnología empleada.

- Existe una escasa, cuando no nula, capacidad para transmitir datos, y mucho menos video lento.

- Carencia de plataforma que permita enviar otro tipo de información como documentación e imágenes.

Asimismo, para el caso de equipos adquiridos hace más de 10 años, también se tiene las desventajas siguientes:

- No permite la ampliación, ni expansión del sistema

- No cuenta con respaldo técnico de fábrica, se carece de garantía del fabricante.

- Tecnología convencional obsoleta, repuestos discontinuados en el mercado.

- Equipos no fabricados actualmente.

Estos sistemas de radio analógicos han alcanzado sus posibles límites de innovación, después de mas de medio siglo de mejoras continuadas en las mismas, su nivel tecnológico posiblemente ha alcanzado el punto de inflexión (16), dando paso a las tecnologías de radio digital, caso del TETRA, el cual además de la eficiencia del espectro radioeléctrico,

permiten más alternativas de integración con distintos sistemas de comunicaciones tales como sistemas de radio, IP, PBX, PSTN, ISDN, etc.

## **1.2 Objetivos**

El principal objetivo es la integración de un sistema de radio digital TETRA con una central telefónica privada (PBX), permitiendo las comunicaciones de voz entre los terminales de radio y terminales telefónicos, de manera transparente y en tiempo real.

Lo anterior permitirá ampliar la cobertura de las comunicaciones y servicios, en base al aprovechamiento de las infraestructuras disponibles como la de circuitos privados, la red de telefonía pública, la red pública celular y al enfoque que tienen los sistemas de radio privado PMR. Siendo este enfoque, la de brindar servicios de comunicaciones privadas de radio a sectores críticos como los servicios de seguridad y emergencias (policía, bomberos, ambulancias, etc.), gestión de flotas, transporte, minerías eléctricas, cuencas hidrográficas, aduanas, mercados de petróleo, gas, etc.

Sin embargo, aunque no es parte del presente estudio, es necesario indicar que el sistema TETRA, soporta otras funcionalidades como los modelos de comunicación mediante datos, que permiten aplicaciones como localización por GPS, transmisión de archivos, video lento, mensajes de texto, etc. Así como la capacidad de montar una infraestructura de radio TETRA sobre una red IP.

## **1.3 Alcances**

El alcance del presente estudio es el dimensionamiento de una nueva red integrada PMR digital (TETRA) y PBX. Considera la migración progresiva de un sistema de radio básico PMR analógico convencional a un digital (TETRA) y la convivencia de estas dos tecnologías de radio mientras dure este proceso.

El dimensionamiento consistirá en cuantificar la cantidad máxima de terminales telefónicos (anexos) de la PBX y la cantidad de terminales de radio analógicos (PMR analógico) y digitales (TETRA) que pueden interactuar entre sí, sin provocar saturación por ocupación de los medios que disponen.

La orientación que se tiene del sistema esta enfocada para operaciones de seguridad y situaciones de emergencia, donde todo es cuestión de minutos y un buen despliegue de servicios es necesario, particularmente en las comunicaciones de voz instantáneas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

#### **2.1 Antecedentes**

No se puede empezar hablar de la telefonía móvil sin dedicar antes al menos unas líneas a lo que ha sido y es la telefonía fija, ya que en esta última está el origen de la primera y ambas están ligadas entre si. De una manera muy simple, la telefonía móvil ofrece los mismos servicios que la telefonía fija, pero sin la necesidad de tener un terminal con cable ligado a un determinado lugar.

La telefonía fija nació en 1876, con el invento del teléfono por A.G. Bell. A partir de esto se ha ido sucediendo una serie de inventos y desarrollos destinados a ofrecer un mejor servicio, automatizado y de más calidad (alcanzando el 2002 casi mil millones de personas a lo largo de todo el mundo). El servicio fijo ha cubierto la necesidad de comunicación a distancia durante prácticamente un siglo desde su nacimiento, reemplazando al telégrafo, su predecesor. Pero en los últimos veintisiete años la sociedad ha venido demandando una mayor libertad de movimientos y los usuarios han mostrado la necesidad de estar comunicados en todo momento y lugar, lo que ha hecho necesaria la introducción de nuevos métodos y tecnologías de comunicaciones, entre ellas las que hacen uso de la radio y evitan la necesidad de utilizar cables (1).

La utilización de la radio para la comunicación móvil es una idea que surge con los primeros experimentos de transmisión a larga distancia del italiano Marconi, realizados en 1901, en los que se instalaron los primeros sistemas de “radio móvil” sobre vehículos con apariencia de tranvías.

Las aplicaciones de la radio como medio de comunicación a distancia han sido y son muchas; tantas que no cabe concebir el mundo actual sin ellas. Hacer una lista de todas ocuparía varias páginas, a las que continuamente habría que ir añadiendo más y más aplicaciones, ya que cada día se descubre alguna nueva. Baste, con decir que utilizando la radio se puede enviar cualquier mensaje, sea voz, texto o imagen, a cualquier distancia y prácticamente de manera instantánea (1).

La telefonía móvil, de uso público, en sus inicios vino a ser un complemento de la telefonía fija, pero ya tiene entidad propia y en muchos países su número de usuarios es incluso mayor que el de telefonía fija. No obstante, la red móvil se apoya en la red fija y existe una interconexión entre ellas, de manera que se pueden dirigir llamadas de móvil a fijo y de fijo a móvil, y conectarse a Internet (1).

Así como en la telefonía fija, la red telefónica pública esta formada por un conjunto de centrales telefónicas, existiendo las centrales privadas para aplicaciones empresariales, denominadas PBX; del mismo modo, la red de telefonía móvil pública esta compuesta por estaciones base, repetidores, antenas, etc., existiendo la telefonía móvil privada, denominada PMR (Private Mobile Radio), encontrando principalmente aplicaciones en la seguridad pública, asistencia médica, la aeronáutica, los transportes marinos, las empresas privadas de seguridad, los transportes públicos, etc.

Como cualquier otro sistema, las redes privadas móviles (PMR) han tenido su evolución que va desde los primeros sistemas analógicos, hasta los sistemas digitales troncalizados como es el caso del sistema TETRA (Terrestrial Trunked Ratio).

La interconexión de estas redes privadas (PBX y PMR), permite ventajas sobre las redes públicas de telefonía fija y móvil, como por ejemplo, esta exento de pago por no depender de ningún operador de telefonía, controlan su asignación de recursos evitando congestiones o colapsos de sus comunicaciones por sobrepasar la capacidad de recursos disponibles. Este último punto se hace evidente en casos de desastres (terremotos, inundaciones, etc.) en la que las redes públicas de telefonía fija y móvil colapsan ante estos eventos, y es aquí donde entran a tallar las redes privadas.

## **2.2 Sistema Radial TETRA**

Desde el inicio de los años ochenta se han producido grandes cambios en todas las facetas relacionadas con las Tecnologías de Información y las Telecomunicaciones. El campo de las comunicaciones móviles no sólo ha participado en estos cambios sino que además es uno de los que se están beneficiando de la situación, debido al avance tecnológico como la demanda de nuevos servicios (4).

Dentro de los sistemas móviles privados, la evolución ha permitido el paso desde sistemas convencionales en los que cada grupo homogéneo de usuarios utiliza un canal radioeléctrico en una determinada área de cobertura, a los sistemas troncales en los que

varios usuarios o grupos de usuarios no necesariamente homogéneos emplean un conjunto de canales radio comunes, todos ellos accesibles por los diferentes grupos de usuarios (4). El estándar TETRA atiende a las siglas de TransEuropean Trunking Radio, es un estándar ETSI (European Telecommunications Standards Institute) de segunda generación de los sistemas PMR, convirtiéndose así en un sistema troncal PAMR. Este último aspecto permite que el sistema pueda ser implementado indistintamente en entornos públicos y privados, con la flexibilidad que esta circunstancia ofrece desde el punto de vista del despliegue a medida del operador y las empresas particulares (3).

El concepto troncal (trunked) no es nuevo, pues es el fundamento de los concentradores de enlaces telefónicos, que se dimensionan en base a parámetros de tráfico telefónico. La tecnología troncal está aceptada como un método de mejorar la carga por canal y, en consecuencia, la eficiencia espectral (4).

La tecnología utilizada es de este modo digital, y el estándar se configura como el equivalente al GSM en el mundo de los sistemas de despacho en lo que a evolución tecnológica se refiere. Mas aún, TETRA es posterior en el tiempo a GSM y se beneficia de la circunstancia de que fue ya específicamente pensado para la transmisión de datos.

El TETRA viene, por tanto, a suplir las limitaciones de los sistemas troncales analógicos, y en base a la tecnología digital ofrecer una amplia variedad de facilidades y servicios, entre otros el de conexión a otras redes (3).

El TETRA tiene como origen el año 1989 en el marco de los trabajos del ETSI en torno a los sistemas troncales. En aquel entonces, el TETRA era conocido bajo el nombre del proyecto que lo desarrollaba, el MDTRS (Mobile Digital Trunked Radio System o Sistema de Radio Troncal Digital Móvil). La especificación de interfaz aire, fundamental en la creación del estándar como tal, fue definitivamente aceptada y promovida a estándar en 1995 (European Telecommunication Standard, ETS) (3).

TETRA es el resultado del trabajo realizado por varios expertos desde 1989. Es uno de los grandes proyectos financiados por la Comunidad Europea, que se beneficia de un MoU (Memorandum of Understanding, más información en <http://www.tetra-association.com>) de fecha 1 de diciembre de 1994, firmado ya por 65 miembros a finales de 1995, de los cuales 28 son fabricantes, y el resto operadores y usuarios (4).

### **2.2.1 Definición**

TETRA es un sistema de radio móvil digital troncalizado basado en un estándar abierto desarrollado para cubrir las necesidades de las comunicaciones móviles profesionales (PMR). Similarmente a la tecnología móvil celular, comparte recursos del espectro radioeléctrico, comunicaciones por radiofrecuencia, mediante el cual un grupo de canales de radio son compartidos a los usuarios según la demanda de llamadas y duración de las mismas. La tecnología usada en TETRA es TDMA (Time División Múltiple Access) 4:1 con una canalización de 25 KHz para dos frecuencias de trabajo que proporciona cuatro canales independientes de comunicación, lo que es equivalente a una ocupación de 6.25KHz por canal. En transmisión de datos permite llegar a 28,8 Kbps (4).

TETRA es un sistema de gran calidad y eficiencia muy adecuado para aplicaciones profesionales en servicios de seguridad y emergencia, de transporte público y de distribución (agua, electricidad, etc.), entre otros (2).

El estándar TETRA tuvo un desarrollo en tres fases que se conocen y agrupan en el TETRA Release 1 (versión 1). Reconociendo la necesidad de adaptar TETRA a una serie de circunstancias de mercado para proporcionar servicios mejorados, se ha comenzado a trabajar en un nuevo programa que tiene como objetivo el TETRA Release 2 (nótese que no es como el GSM, en que se hablaba de Phase 2; TETRA ya tuvo fases, y ahora se habla de versiones, como en otros sistemas - UMTS, por ejemplo-) (3).

#### **➤ TETRA Release 1:**

El primer original TETRA estándar considerado en la ETSI era conocido como el estándar TETRA V+D (voz más datos), el cual luego de las mejoras y desarrollos presentados ahora se le conoce como TETRA Release 1, del cual nos ocuparemos en el presente informe..

#### **➤ TETRA Release 2:**

En 1999 el trabajo de los grupos de interés formados por usuarios, operadores y fabricantes se plasmó en la definición de unos objetivos de mejora del TETRA Release 1, según:

- Provisión de velocidades de datos 10 veces mayores de las del TETRA Release 1.
- Definición de un mayor número de codificadores (códecs) para el interfuncionamiento con otros sistemas sin necesidad de conversiones intermedias.

- Mejora de la eficiencia en el funcionamiento de la interfaz aire (ocupación espectral, alcance, etc).
- Mejora de interfuncionamiento con GSM y UMTS.
- Evolución de la SIM (módulo de identificación de suscriptor) de TETRA hacia la USIM (SIM universal).
- Compatibilidad total con TETRA Release 1 (3).

➤ **Interfaces del sistema TETRA Release 1:**

Como uno de los objetivos de desarrollo del estándar, se proponía el desarrollo de las interfaces del sistema de modo que fueran completamente abiertas. Esto formó parte del esfuerzo de convencimiento del ETSI hacia los suministradores, y es una de las grandes ventajas del TETRA: completa interoperabilidad en la interfaces definidas, además de una gran libertad de implementación de servicios y aspectos complementarios diversos allá donde no existe definición explícita de cómo hacer las cosas (3).

En la Fig. 2.1, se muestra los elementos de red cubiertos en el estándar TETRA Release 1, conocidas como interfaces (13).

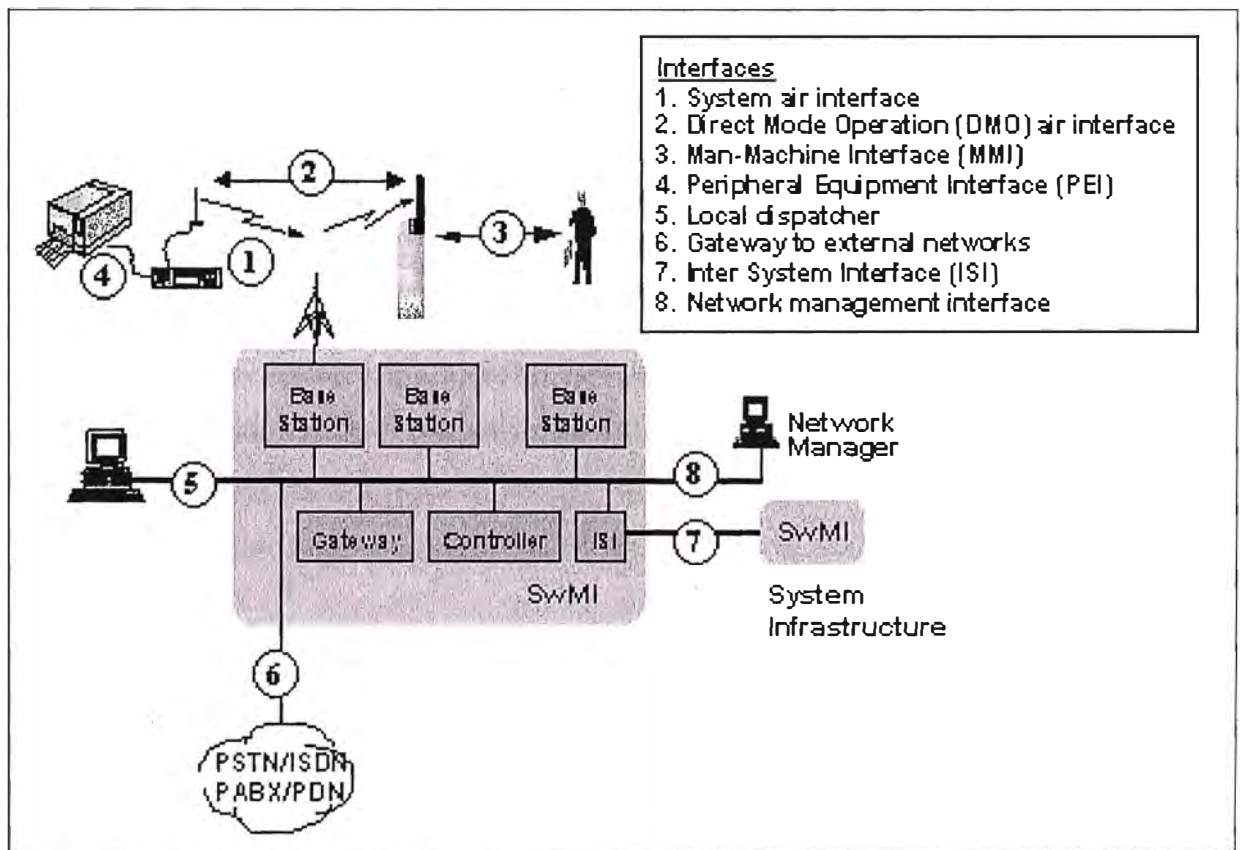


Fig. 2.1 - Interfaces estándar TETRA (13)



**a) Interfaz Aire [1]:**

Es la interfaz más importante y compleja de las interfaces de TETRA, que define el funcionamiento entre las estaciones base del sistema y los terminales, asegurando la interoperabilidad de terminales de diferentes fabricantes.

**b) Interfaz DMO [2]:**

(Direct Mode Operation u Operación en Modo Directo), uno de los grandes avances de TETRA respecto de otras plataformas troncales. Asegura la comunicación entre terminales incluso fuera del área de cobertura de la red TETRA.

**c) Interfaz MMI [3]:**

(Man-Machine Interface o interface hombre – maquina), define fundamentalmente la presentación de teclado de los terminales.

**d) Interfaz PEI [4]:**

(Peripheral Equipment Interface o interface de equipamiento periférico), para la conexión de terminales a otros dispositivos externos y que sea de esta forma posible el diálogo a nivel de aplicaciones en la transmisión de datos.

**e) Interfaz despachador local [5]:**

Define la forma de conexión de la consola con la red TETRA.

**f) Interfaz de pasarela hacia PSTN/ISDN/PABX [6]:**

Permite la comunicación de los sistemas TETRA con el exterior, bien sea a sistemas públicos o privados.

**g) Interfaz ISI [7]:**

(Inter-System Interface o interfaz intersistema) permite la conexión con otros sistema TETRA de diferentes fabricantes, donde a nivel de infraestructura de red no definida en el estándar, cada uno diseña como más le conviene. Este hecho facilitará la introducción de los avances tecnológicos en las plataformas TETRA.

**h) Interfaz gestión de red [8]:**

Recomendación que define los requisitos en la gestión de la red TETRA.

No se han normalizado interfaces dentro de la infraestructura de conmutación y gestión (Switching and Management Infraestructure : SwMI) lo cual, manteniendo las ventajas de un mercado abierto, deja libertad a los fabricantes para ofrecer las soluciones más ventajosas en términos de costo-calidad (12).

La abreviatura SwMI se utiliza para clasificar todo el equipo y subsistemas que abarquen una red TETRA, incluyendo estaciones base (13).

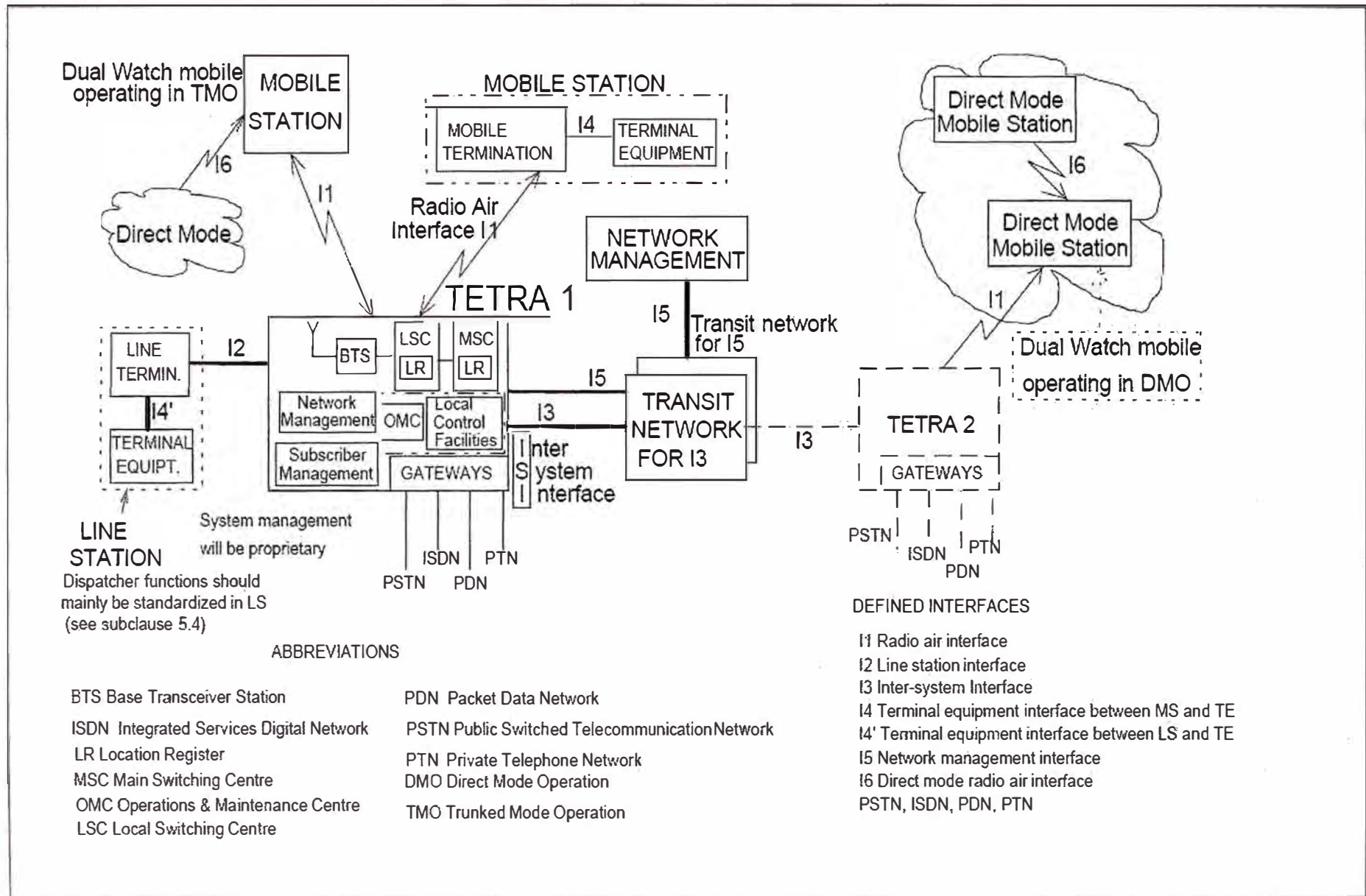
### **2.2.2 Arquitectura (14)**

La especificación TETRA no impone limitaciones sobre la forma de la arquitectura de la red de radio. La infraestructura (a menudo llamada en los estándares TETRA como infraestructura de conmutación y gestión - SwMI - Switching and Management Infrastructure) es definida sólo en términos de las seis interfaces especificadas. Las interfaces definidas en la especificación son las necesarias para garantizar la interoperabilidad, compatibilidad y administración de la red. En la Fig. 2.2 se define una serie de entidades del sistema que pueden identificarse:

- Un sistema TETRA individual comprende BSs, switches, centro de operaciones y administración así como control asociado y administración de facilidades (es decir, todo dentro del sistema TETRA individual, en la Fig. 2.2 indicado como TETRA 1);
- El MS comprende la unidad de terminación móvil (MTU) y los equipos terminales (TE). Estas dos entidades son conectados a través de la interfaz definida I4;
- El LS comprende la unidad de terminación de línea (LTU) y el equipo terminal TE. Estas dos entidades son conectados a través de la interfaz definida I4;
- La unidad central de administración de red (véase ETR 292 (5)) es conectada a través de la interfaz definida I5;
- Escenarios de los MSs operando en una red DMO. Aquí, los MSs se comunican entre sí directamente a través de la interfaz aire en modo directo definido I6. También se pueden comunicar con otros a través de un repetidor en modo directo (DM-REP), utilizando la interfaz definida. También se pueden comunicar con el sistema troncal TETRA utilizando un modo de operación definido como “dual watch” (doble vigilancia) que permite a un MS operar en la interfaz aire I1 y al mismo tiempo monitorear la interfaz de aire I6 y viceversa.

Es importante entender que el sistema de entidades mostrado en la Fig. 2.2 se encuentran en el dominio de TETRA, lo que significa que todos ellos están en el mismo espacio de direcciones. Las diferentes capacidades de los modos V + D LS, V + D MS y el DM-MS, las funciones y facilidades disponibles son todas muy similares. El modo de funcionamiento y las técnicas de direccionamiento son también muy similares.

Fig. 2.2 Arquitectura sistema TETRA (14)



Los gateways definidos para la red de telecomunicaciones pública conmutada (RTPC), Red de Servicios Digitales Integrados (ISDN), la red de paquetes de datos (PDN) y la Red Telefónica Privada (PTN) facilitan el acceso de TETRA a dichas redes. Alguna forma de conversión de direcciones o mecanismo dual es requerido para la comunicación entre TETRA y los otros sistemas. Se espera que esto sea considerado con más detalle en las futuras normas

Las sub-entidades funcionales identificadas en el sistema TETRA 1 en la figura 2.2 (BTS, LSC, MSC, etc) no están definidas dentro del estándar y las interfaces entre ellos son propietarias. Ellos sólo se muestran para propósitos informativos.

Un interés particular para muchas aplicaciones es la funcionalidad requerida en los cuartos de control local y remoto. Las especificaciones TETRA toman en cuenta algunas limitaciones de la administración de red, funciones que son necesarias para el desempeño de un centro de administración de una red remota sobre la interfaz I5 (ver ETR 292), pero se anticipa que la mayoría de la funcionalidad de la administración del sistema serán propietarias para un particular equipamiento.

Un estándar LS solo tendrá acceso a configurar servicios similares a MS (por ejemplo servicio portadores, teleservicios y suplementarios). Sin embargo esto será suficiente para soportar una mayor funcionalidad de despacho. Alguna capacidad especial (como monitoreo de múltiples llamadas en curso) necesitará ser implementada como “aplicaciones especiales” sobre los estándares del servicio.

### **2.2.3 Especificación tecnológica**

TETRA es un sistema digital con multiacceso por división de tiempo TDMA, por lo cual cada usuario transmite y recibe información en forma de ráfagas de bits a elevada velocidad, separadas por intervalos de ausencia de señal. Además, en TETRA se hace uso de un amplio procesamiento de la señal digital para dificultar la escucha intencionada (aleatorización de bits), proteger la información frente a las perturbaciones del canal radio (codificación del canal con entrelazado), generar las ráfagas de información y preparar la señal digital para la modulación (codificación diferencial) (12).

Las especificaciones básicas de la interfaz radio de TETRA, son las siguientes:

Multiacceso : TDMA con 4 intervalos por trama.

Canalización : 25 KHz (opción a 12,5 KHz).

Modulación :  $\pi/4$  - DQPSK, con filtros conformadores en coseno alzado, con un parámetro de caída progresiva  $\alpha=0,35$ .

Velocidad de modulación: 36 Kbit/seg.

Retardo de multitrayecto máximo: 5useg.

Relación portadora/interferencia cocanal:  $C/I_c = 19\text{dB}$ .

El codec utilizado por TETRA pertenece a la familia CELP (Code Excited Linear Predictive) que utiliza algoritmos de análisis-síntesis. En transmisión se extraen, mediante análisis, los parámetros básicos formantes de la voz que se transmiten codificados en binario. En recepción se sintetiza la señal de voz a partir de esos parámetros (12).

### 2.2.4 Servicios de TETRA

El desarrollo de la norma TETRA se ha orientado a potenciar los servicios que se requerirán en las modernas aplicaciones de redes PAMR, teniendo en cuenta su evolución hacia entornos multimedia. Se aprovecha, además, la flexibilidad que ofrece el TDMA para proporcionar transmisiones simultáneas de voz y datos, así como una anchura de banda “a la medida”, de forma que se ofrecen diferentes velocidades de datos de hasta 28.8 Kbps con distintos grados de protección. Es posible también la transmisión de imágenes, incluido video en color en tiempo real, utilizando técnicas de compresión (2).

Las especificaciones de radio móvil de la suite TETRA, es ilustrada en la Fig. 2.3, mostrando las partes importantes:

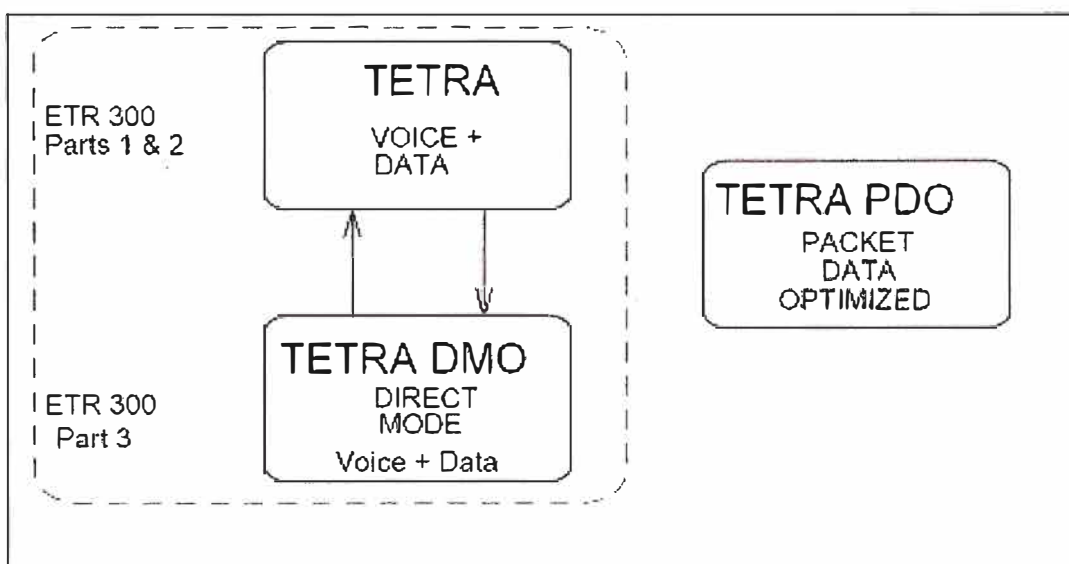


Fig. 2.3 Estándares de la Suite TETRA (14)

De la Fig. 2.3, se ilustra tres modalidades básicas de funcionamiento que sustentan sus propios servicios:

- Modo voz + datos (V + D) – Norma ETS 300 392:  
Transmisión de voz y datos a través de circuitos conmutados.
- Modo directo DM (Direct Mode) – Norma ETS 300 392:  
Transmisión de voz unidireccional (simplex) entre dos sistemas móviles sin utilizar una red TETRA. Sobre un canal físico se puede establecer dos llamadas DMO simultáneas
- Modo paquetes de datos optimizado PDO (Packet Data Optimized) ETS 300 396:  
Tráfico de datos basado en la conmutación de paquetes. El servicio PDO permite, entre otros, el establecimiento de servicios modernos como los de mensajería, correo electrónico e informática vehicular: localización y gestión del tráfico de vehículos.

Un camino conveniente para categorizar los servicios de telecomunicaciones básicas es dividirlos, dependiendo del punto de acceso, en servicios portadores (BEARER SERVICES) y los teleservicios (TELESERVICES). Esto es ilustrado en la Fig. 2.4.

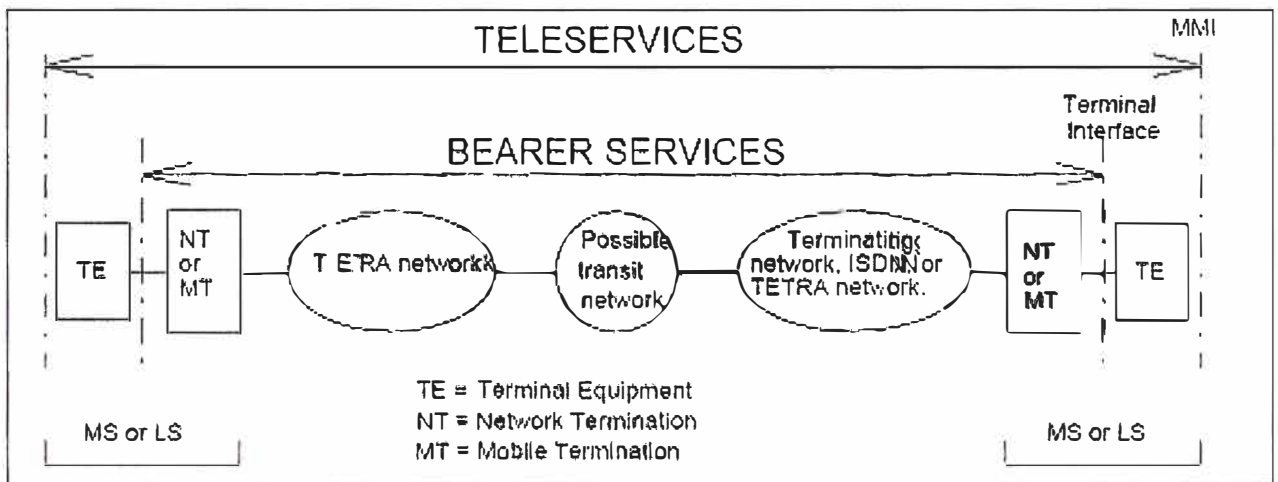


Fig. 2.4 Servicios portadores y teleservicios soportados por TETRA (14)

Un teleservicio, es un servicio del sistema visto por el usuario final a través de la interfaz hombre máquina (MMI) (por ejemplo el teclado). Una llamada individual o una llamada de grupo es un teleservicio, invocado por ejemplo al introducir la llamada por un botón de la MMI (Man Machine Interface). Por otro lado, los servicios en modo circuito o en modo de paquetes de datos no están disponibles en la MMI, pero actúa dentro del sistema de radio.

El servicio portador, provee capacidad de comunicación entre el terminal de las interfaces de red, con excepción de la funciones de la terminal. Esto es caracterizado por atributos de la capa inferior (capas 1 a 3). (NOTA: Vea la subcláusula 5.1 para una explicación de las capas OSI, ETR 300-1).

Un teleservicio proporciona la capacidad completa, incluyendo las funciones del terminal, para la comunicación entre usuarios. Así pues, además de atributos de la capa inferior que también incluye atributos de la capa superior (capas 4 a 7).

Un servicio suplementario modifica o complementa un servicio portador o un teleservicio. La lista de los servicios portadores y servicios remotos soportados por TETRA están dados en el anexo A, cláusula A.1. La lista servicios suplementarios soportados por TETRA se dan en el anexo A, el punto A.2 (ETR 300-1)

Los servicios suplementarios son aplicables a la mayoría de los servicios portadores y servicios remotos (14).

Por tanto, los servicios de TETRA pueden clasificarse como sigue:

- **Teleservicios:**

Llamadas para conversación en lenguaje claro o cifrado de los siguientes tipos:

**Llamada Individual** (punto a punto), conecta a un usuario de la red con otro usuario, de forma similar a un sistema de telefonía pública.

**Llamada de Grupo** (punto a multipunto), conecta a un usuario de la red con un grupo de otros usuarios. Los grupos no tienen por que ser fijos, pudiéndose formarse dinámicamente. Se puede configurar la llamada de grupo que resulta necesaria para que cada usuario pueda confirmar la recepción de la llamada, lo cual permite a la estación llamante asegurarse de que todos los usuarios la han recibido.

**Llamada de Difusión** (punto a multipunto, unidireccional), las llamadas de difusión se transmiten desde el centro de control con el fin de informar a todos los usuarios, los cuales no necesitan confirmar la llamada.

- **Servicios portadores:**

Llamadas bidireccionales de datos, individuales, de grupo y de difusión con diferentes modos y niveles de operación (transmite breves mensajes de texto entre los usuarios como los mensajes SMS de GSM):

- **Conmutación de circuitos (CS):**

- Sin protección: 7,2 14,4 21,6 y 28,8 kpbs
- Con protección baja: 4,8 9,6 14,4 y 19,2 Kbps
- Con protección alta: 2,4 4,8 7,2 y 9,6 Kbps

- **Conmutación de paquetes (PS):**

Basado en los protocolos TCP/IP o X.25, dependiendo de la aplicación, con una velocidad máxima de datos de 28,8 Kbps.

- Sin conexión (circuitos virtuales)
- Con conexión (datagramas).

▪ **Servicios suplementarios:**

La variedad es muy amplia por lo que indican los más importantes:

- Tipo PMR / PAMR:
  - Prioridad de acceso, emergencia.
  - Autorización de llamadas por el controlador.
  - Selección de área.
  - Escucha ambiente, escucha discreta.
  - Identificación del usuario que llama.
  - Asignación dinámica de grupos.
- Tipo telefonía:
  - Reencaminamiento de llamadas.
  - Prohibición de llamadas entrantes / salientes.
  - Llamada en espera.
  - Retención de llamada.
  - Presentación de números en llamada
- Servicios de seguridad:
  - Autenticación .
  - Confidencialidad e integridad de la comunicación
  - Privacidad.
  - Monitorización autorizada.



- Autorización de llamadas por el controlador.

### **2.2.5 Características interfaz Aire**

#### **a. Banda de frecuencias:**

Al contrario de lo ocurrido en el caso de los estándares GSM, DCS y DECT, para TETRA no ha existido nunca un acuerdo de bandas de frecuencia único a nivel internacional. Ante esta situación, sólo contamos a nivel europeo con la recomendación de la CEPT, que establece (3):

- 380 – 390 Mhz, 390 - 400 Mhz
- 410 – 420 Mhz, 420 - 430 Mhz
- 450 – 460 Mhz, 460 - 470 Mhz
- 870 – 888 Mhz, 915 - 933 Mhz

La banda 380-390/390-400 Mhz está destinada para el uso exclusivo de los cuerpos de seguridad y para los servicios de emergencia. Se ha liberado en gran parte de Europa con la intención de que haya una banda común en todo el continente que permita la itinerancia entre redes y se pueda así facilitar la colaboración entre los cuerpos de seguridad de distintos países (2).

Respecto a aplicaciones comerciales, los primeros equipos del mercado trabajan en la banda 410-420/420-430 Mhz. Parece que esta banda se dedicará para usos civiles, lo cual, como en el caso anterior, abre las puertas a la itinerancia (roaming) entre los operadores de redes PAMR a nivel europeo. Como alternativa para casos en los que no se pueda utilizar la banda de 410-430 Mhz se ha propuesto la banda 450-470 Mhz.

Por último, las bandas 870-888/915-933 Mhz se destinan a sistemas móviles con asignación dinámica de canales de voz o datos (2).

#### **b. Modulación:**

En TETRA se utiliza la modulación de fase diferencial cuaternaria  $\pi/4$  – DQPSK y en la que se añade incrementos de fase de  $\pi/4$  en cada salto de fase de dos bits con lo que se logra una notable reducción de los lóbulos laterales (12). En la Fig. 2.5 se representa el esquema de bloques del codificador:

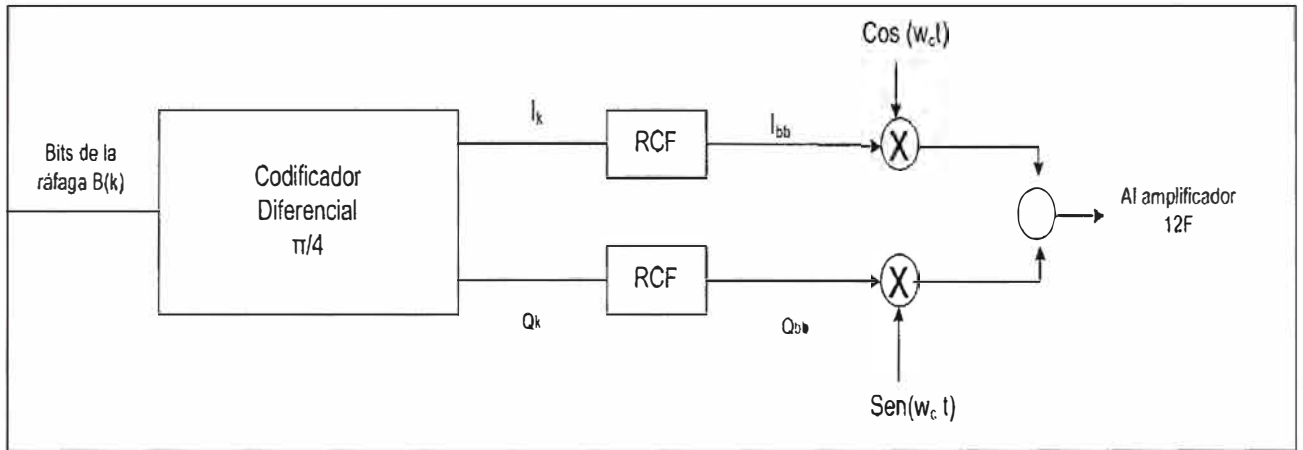


Fig. 2.5 Codificador de TETRA

En el codificador se divide la ráfaga en dos subráfagas  $I_k$  y  $Q_k$  que contienen, respectivamente los bits de las ramas en la fase y cuadratura. Estos, tras pasar por sendos filtros en coseno alzado (RFC), actúan sobre los moduladores binarios en seno y coseno(2). Las transiciones de fase de  $D\theta(k)$  se relacionan con los bits de modulación como se indica en la TABLA N° 2.1.

TABLA N° 2.1 Transiciones de Fase

B(2K-1)	B(2K)	$D\theta(k)$
1	1	$-3\pi/4$
0	1	$+3\pi/4$
0	0	$+\pi/4$
1	0	$-\pi/4$

Las ventajas de la modulación  $\pi/4 - DQPSK$ , básicamente son:

- En cada símbolo, se transmiten dos bits, lo que produce una eficiencia de 2 bits/s/Hz.
- Las transiciones no pasan por un cero de amplitud, lo que resulta muy importante para diseñar el amplificador linealizado de RF.
- Puesto que la información se transmite mediante cambios de fase, no es necesario conocer el valor absoluto de la fase de la señal, pudiéndose utilizar demoduladores muy simples, salvo en los casos que se precise ecualizar el receptor.

El principal inconveniente de este tipo de modulación se deriva de la necesidad de requerir un amplificador de salida lineal, lo que obliga a disminuir el rendimiento de éste.

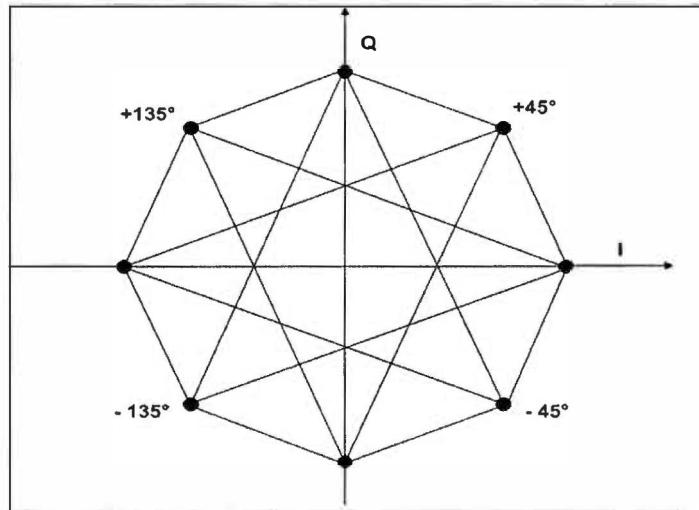


Fig. 2.6 Constelación de símbolos y transiciones de fase posibles.

Tal como se refirió anteriormente, TETRA utiliza un método de acceso al medio TDMA bidireccional, sin embargo se emplean combinaciones de acceso al medio TDMA / FDMA para obtener más canales de comunicación, en forma similar a lo usado por la tecnología GSM, lo cual se ilustra en la Fig. 2.7.

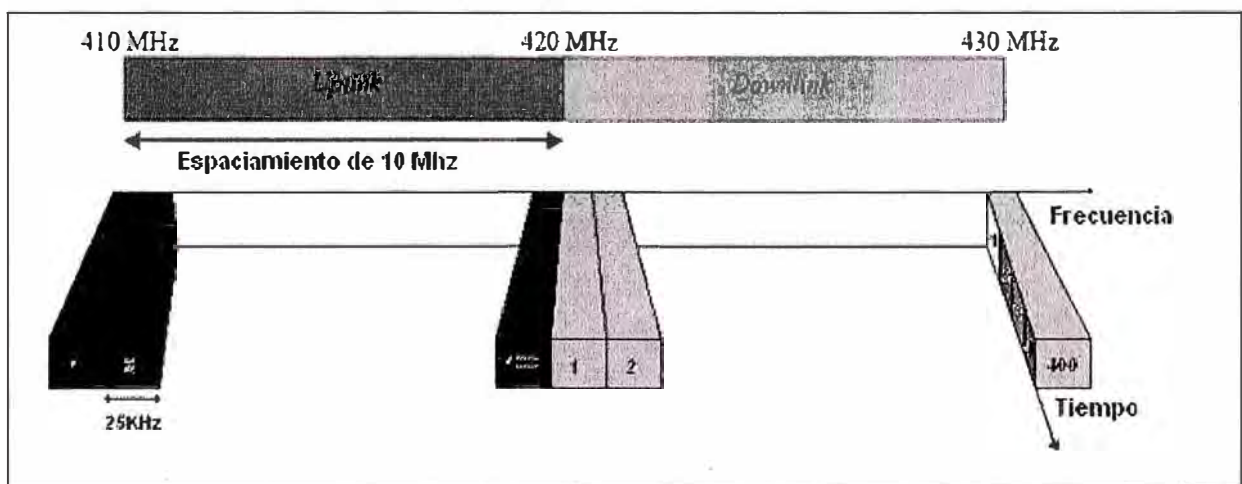


Fig. 2.7 Método de acceso FDMA/TDMA

### c. Estructura de la trama TDMA V+D

Para la modalidad V+D, la técnica de multiacceso es un multiplex temporal: TDMA en el enlace ascendente y TDM en el descendente, en estructura jerárquica.

El nivel básico de la jerarquía es la trama (frame) formada por 4 intervalos TS (Time Slot). La estructura jerárquica superior a la trama es la multitrama (multiframe) formada por 18 tramas. En el nivel más alto está la hipertrama, constituida por 60 multitramas.

La última (décimo octava) trama de la multitrama se reserva para control y señalización, por lo que el intercambio de información se realiza en las 17 primeras tramas.

El intervalo TS tiene una duración igual a  $85/6$  (14,17) mseg y una capacidad de 510 periodos de bit, por lo que la velocidad de transmisión es  $510/(85/76)=36$  Kbps. Como en todo sistema TDMA, el contenido de bits de un intervalo se denomina ráfaga (12).

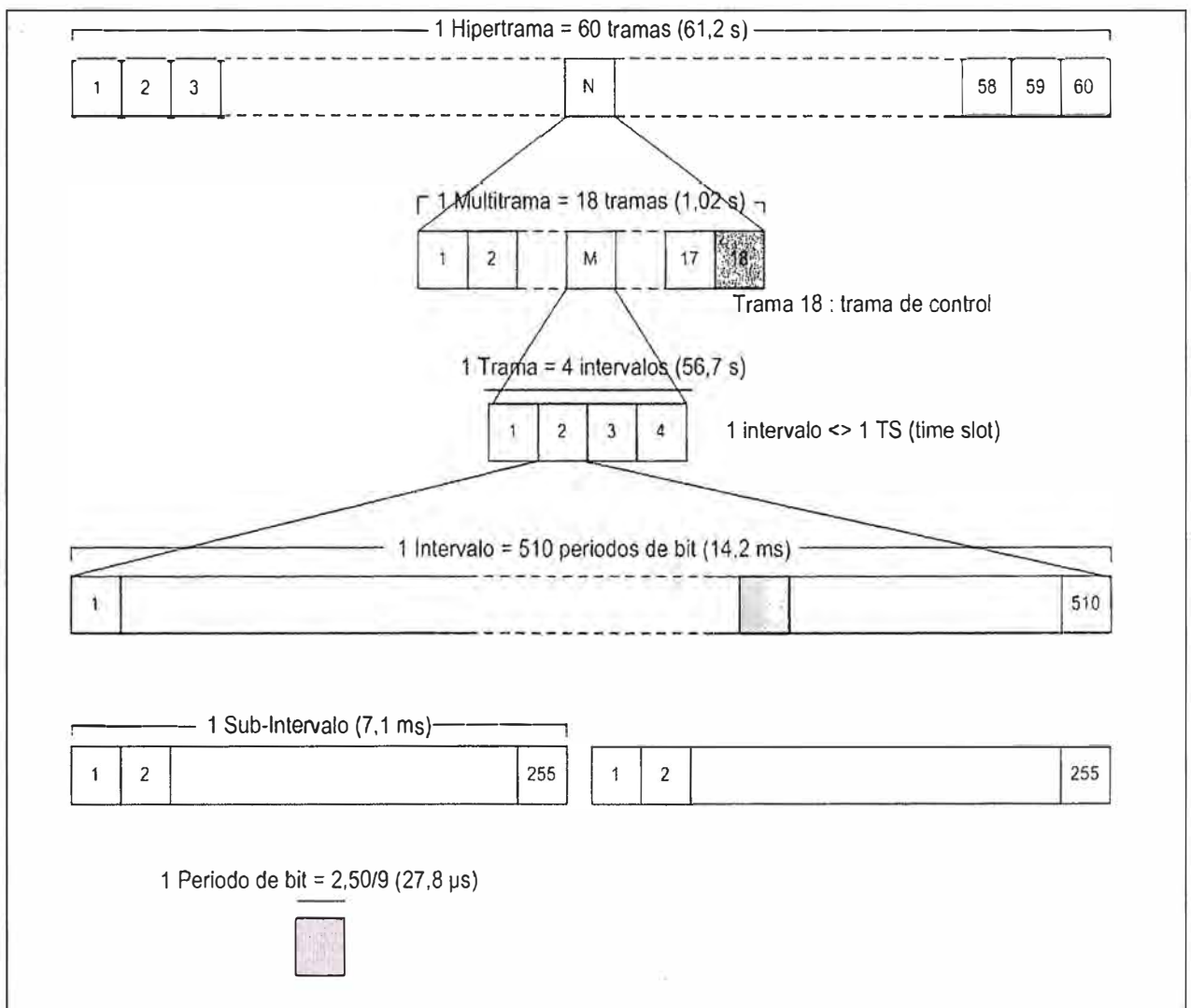


Fig. 2.8 Estructura jerárquica del TDMA de TETRA

Cada radiocanal ofrece, básicamente, 4 canales físicos aunque, en algunos casos, pueden ser más o menos, según se utilicen subintervalos o agrupaciones de dos o más intervalos para transmitir la información. Por ejemplo, si se emplean tres intervalos de una portadora

para transmitir una señal de datos de alta velocidad, tal portadora únicamente ofrecerá dos canales físicos: uno formado por el grupo de los tres intervalos y el otro constituido por el cuarto intervalo.

Las tramas correspondientes a los enlaces ascendentes y descendentes están desplazados en dos intervalos. En consecuencia, los intervalos de transmisión y recepción de un equipo no coinciden en el tiempo, por lo que resulta innecesario el duplexor de antena. En la estación móvil este desplazamiento tiene cierta tolerancia para incluir el avance temporal (12).

#### **d. Tipos de canales**

En el sistema TETRA se ha definido canales lógicos y canales físicos. Sobre los canales físicos se disponen los canales lógicos oportunos.

##### ▪ **Canales Lógicos:**

Se puede definir un canal lógico “como la comunicación lógica entre dos partes de un sistema, atendiendo exclusivamente a su descripción formal y no a su realización física” (2). Se clasifican en:

Canales de control (CCH):

Canal de control de difusión, BCCH.

Canal de linealización, LCH.

Canal de señalización, SCH.

Canal de asignación de acceso, AACH.

Canal sustraído, STCH.

Canales de tráfico (TCH).

##### ▪ **Canales Físicos:**

Un canal físico está constituido por una portadora radioeléctrica y un intervalo de tiempo TS (Time Slot) elegido entre los cuatro posibles (cuatro canales físicos disponibles por portadora). Cada radiocanal, formado por dos portadoras, ofrece cuatro canales físicos.

Toda célula dispone de una dotación de radiocanales de dos frecuencias. La frecuencia superior de cada pareja se utiliza para el enlace descendente y la inferior para el ascendente. De entre los radiocanales de la dotación hay uno (que puede ser el único existente) en cuyo primer intervalo se insertan los canales de control. A este radiocanal se le llama radiocanal principal de la célula (2).

Con todo ello, se definen tres clases de canales físicos:

- Canal físico de control, CP (Control Physical Channel).
- Canal físico de tráfico, TP (Traffic Physical Channel).
- Canal físico no asignado, UP (Unallocated Physical Channel).

### 2.2.6 Modos de operación

Las modalidades de operación son activadas por los terminales de radio TETRA no por la infraestructura de red.

- **Trunked Mode Operation (TMO):**

El terminal está registrado y controlado por la red.

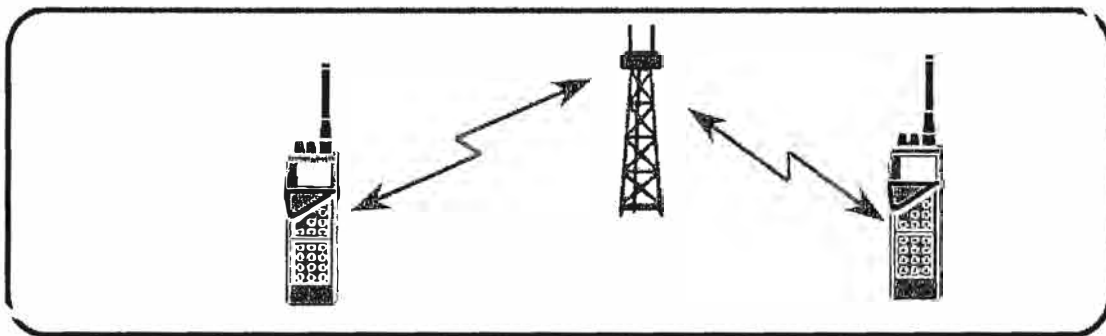


Fig. 2.9 Trunked Mode Operation

- **Direct Mode Operation (DMO):**

Es la facilidad con que cuentan los móviles definidos en el sistema TETRA para funcionar directamente los unos contra los otros, sin mediación de la red en esta comunicación.

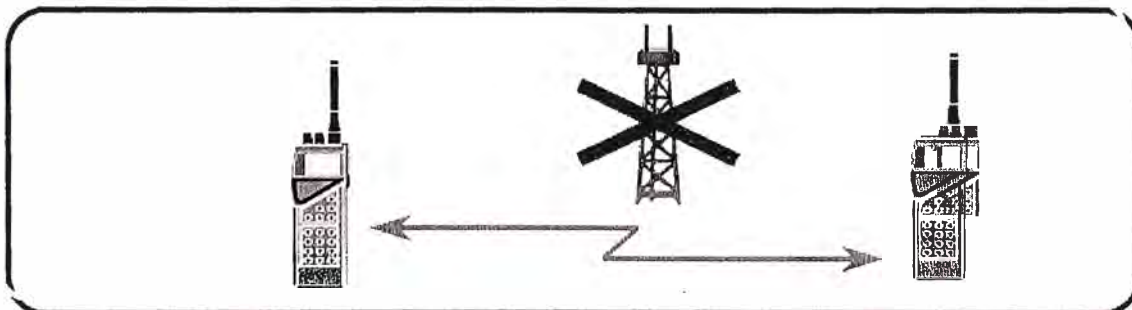


Fig. 2.10 Direct Mode Operation

Existen escenarios que combinan los modos de operación TMO y DMO:

- Comunicación entre terminales DMO:
  - Estándar: “back-to back” o “simplex”



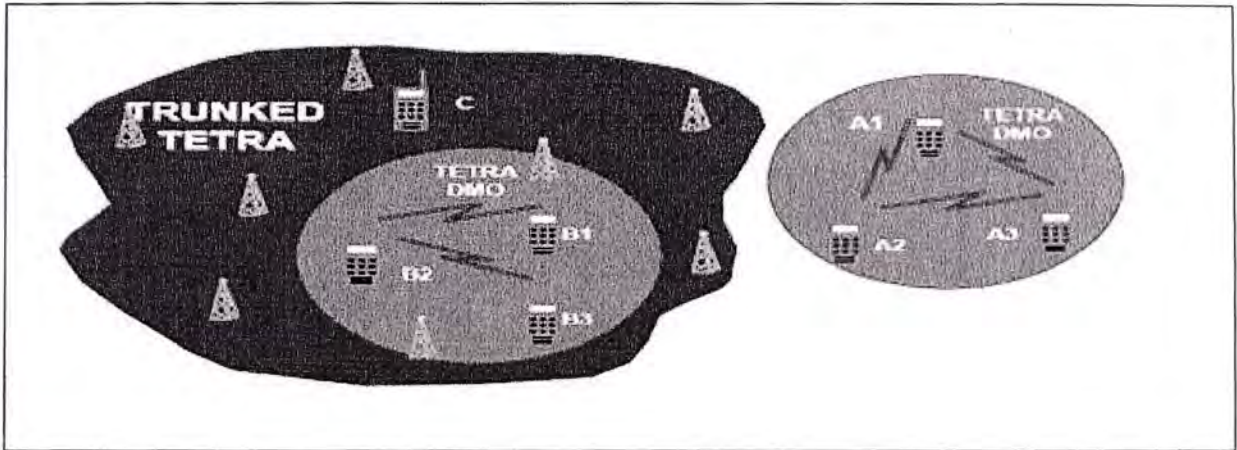


Fig. 2.11 DMO Back- to- Back o Simplex

- Extendido: vía repetidor DMO

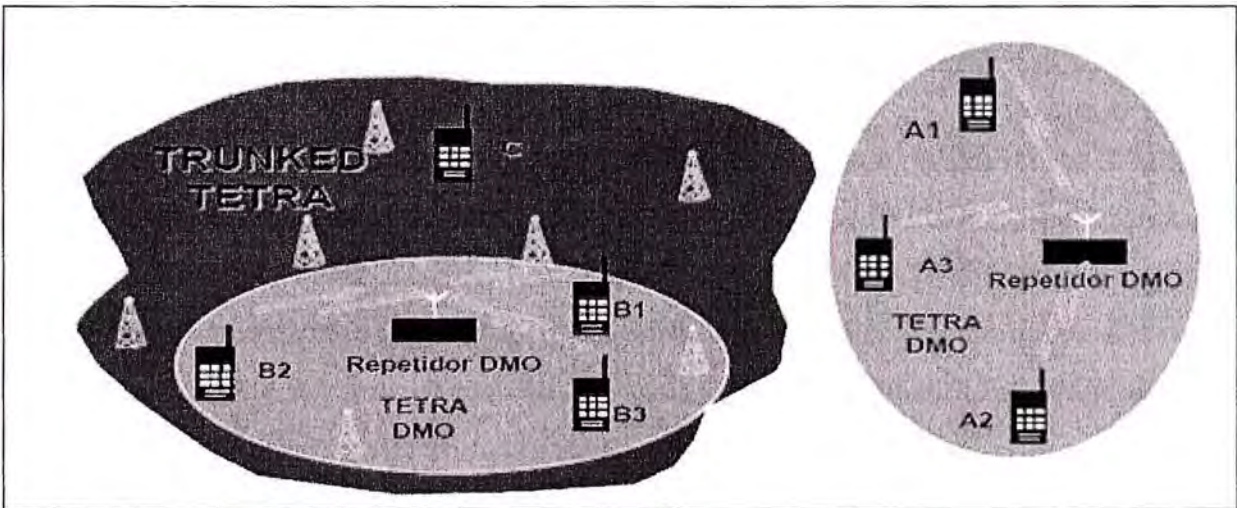


Fig. 2.12 DMO repetidor

- Comunicación entre terminales TMO y DMO:
  - Con exploraciones periódicas (“scanning”): Dual Watch.

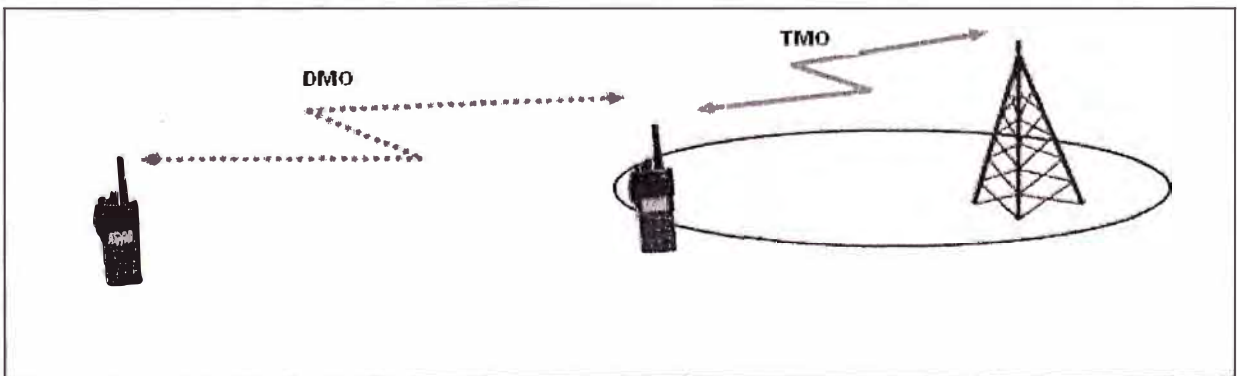


Fig. 2.13 Combinación TMO-DMO “Dual Watch”

- Continuo: Vía Gateway DMO.

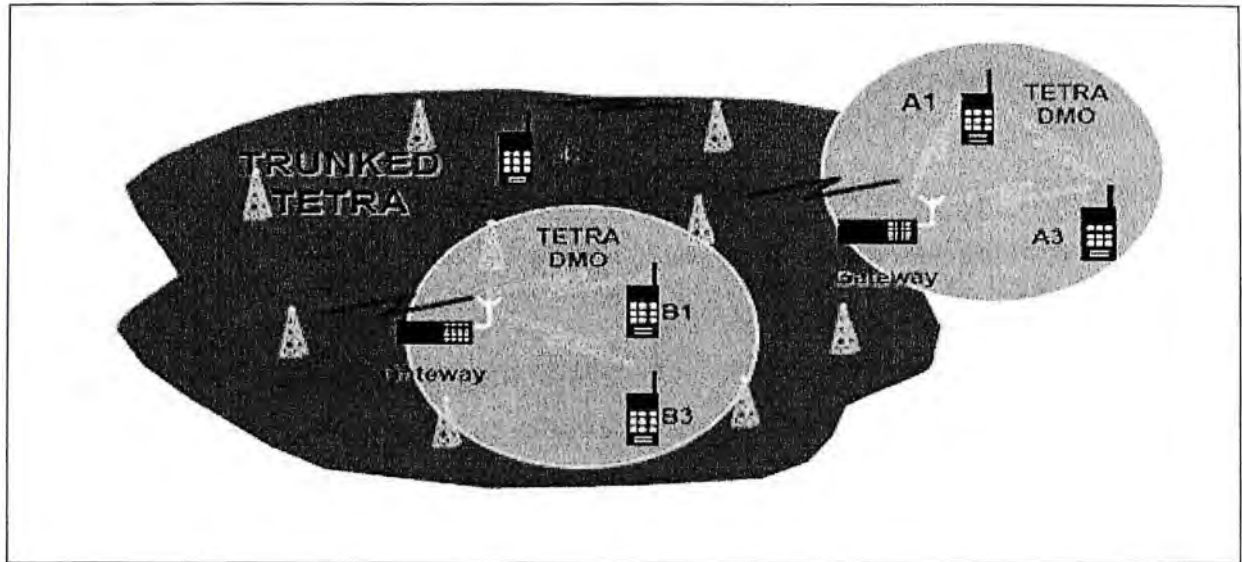


Fig. 2.14 Combinación TMO-DMO "Vía Gateway DMO"

### 2.2.7 Seguridad

En TETRA se utiliza un extenso procesamiento de la señal digital para dificultar la escucha intencionada (aleatorización de bits), proteger la información frente a las perturbaciones del canal de radio (codificación de canal con entrelazado), generar las ráfagas de información y preparar la señal digital para la modulación (codificación diferencial).

En la Fig. 2.15, se muestra el esquema de la llamada configuración de referencia que recoge el procesamiento indicado en el sentido de transmisión.

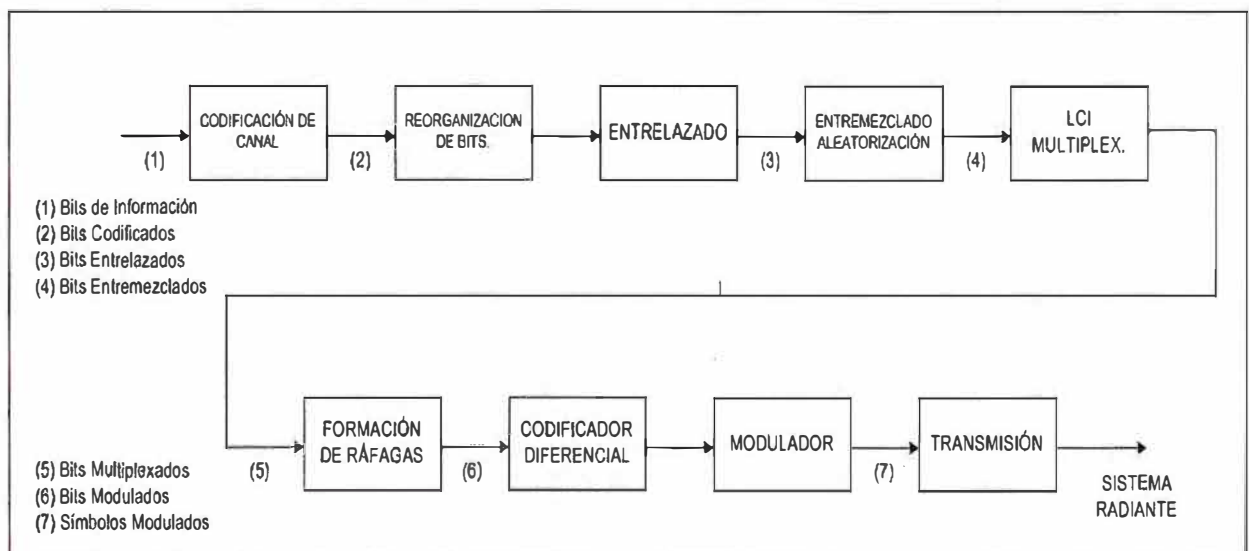


Fig. 2.15 Procesado de señal en TETRA en transmisión



Los bits de información procedentes de la fuente de voz o datos pasan a un codificador de canal, que utiliza un código bloque y un código convolucional con remoción de algunos de los bits de paridad (puncturing), añadiendo bits complementarios (tail bit) para facilitar el funcionamiento del decodificador. Seguidamente se procede a una reordenación de los bits empleando una matriz, a fin de preparar el entrelazado. En esta operación los bits se rellenan por filas y se lee por columnas. Estos bloques se incorporan a las ráfagas intercaladas con bloques de elementos de señal anteriores y posteriores.

Posteriormente, se someten los bloques de bits a un proceso de aleatorización (scrambling) con lo que se transmite de una forma desordenada. Se multiplexan luego los bloques de bits aleatorizados con los bits de linealización de canal y se tiene así la estructura básica de la ráfaga, a la cual se le agregarán diferentes grupos de bits, según el tipo de ráfaga. Los bits de ráfaga se aplican a un codificador diferencial en el que se generan los símbolos (parejas de bits) que atacan al modulador DPSK.

### **2.2.8 Aplicaciones**

Como se ha visto en capítulos anteriores, TETRA es un estándar abierto de comunicaciones definido por el Instituto de Normas para las Telecomunicaciones Europeas (ETSI, por sus siglas en inglés), que define un sistema móvil de radio digital para aplicaciones PMR (Radio Móvil Privada) y PAMR (Radio Móvil de Acceso Privado) enfocadas fundamentalmente a sectores críticos como son los servicios de seguridad y emergencias (policía, bomberos, ambulancias, etc.) para servicios de voz y datos.

Aunque los principales consumidores de esta tecnología siguen siendo los cuerpos de seguridad pública de distintas administraciones, muchos otros sectores se están decantando por sistemas TETRA digitales, dadas las ventajas tecnológicas que aportan en voz, datos y aplicaciones. Es el caso de transporte, minerías eléctricas, cuencas hidrográficas, así como los mercados de petróleo y gas.

### **2.2.9 Ventajas y Desventajas (3)**

La necesidad del estándar TETRA es un asunto controvertido, y como tal tiene sus partidarios y sus detractores. Las razones para esta polémica residen fundamentalmente en:

- Existencia de un conjunto amplio de estándares del mismo entorno de aplicación que él mismo, con un grado de madurez variable:

Sistemas PMR tradicionales de FM analógica con sistemas de controles adecuados.

- ASTRO, sistema propietario de Motorola, configurable para funcionamiento convencional y troncal.
  - CDMA 450, promovido por Lucent Technologies tratando de implantar las tecnologías CDMA en el entorno PMR.
  - GSM R, desarrollo y adaptación del estándar de segunda generación de telefonía pública GSM a los entornos ferroviarios.
  - iDEN, sistema propietario de Motorola, muy implantado en Norteamérica y con una filosofía muy similar al TETRA.
  - TETRAPOL, tecnología propietaria inicialmente desarrollada por MATRA a finales de los ochenta para la seguridad pública en Francia. Esta es la opción competidora más clara a nivel de sistema hoy en día.
- Existencia de otro estándar, de la misma generación que TETRA, y que esta ampliamente extendido dentro de los sistemas públicos de telefonía móvil. El desarrollo y profunda implantación del GSM como estándar, por tanto, y el hecho de que se constituya como un sistema de telefonía pública en el que la inclusión de sus avances recogidos en la fase 2+ de su desarrollo y otras características donde se incorporan aspectos de PAMR en los que se encuadra TETRA (llamadas de grupo, etc), hace plantearse a las empresas en sus tomas de decisiones estratégicas si el estándar TETRA es rentable, adecuado y oportuno.

Sin embargo, es necesario resaltar que un estándar abierto asegura la libre competencia entre las empresas, más opciones, nuevos desarrollos y precios razonables según se masifiquen.

### **2.3 Central Telefónica**

Desde que en 1876 Graham Bell inventara el teléfono, se tuvo el problema de conectar muchos usuarios entre sí, ya sea de forma local o distante. Al principio se pensó que la solución podría ser la utilización de una red con estructura en malla que uniera a todos los usuarios entre sí. Pero el rápido aumento del número de conexiones a realizar hizo inviable esta estructura de conexión, debido a la complejidad de los enlaces y al alto coste que esto implicaba. Por esta razón, fue necesario introducir el concepto de conmutación entre las funciones a realizar por una central telefónica, de forma que pueda establecerse un camino

para la comunicación entre dos usuarios y que, una vez terminada, se pueda liberar para ser utilizada por otros usuarios (5).

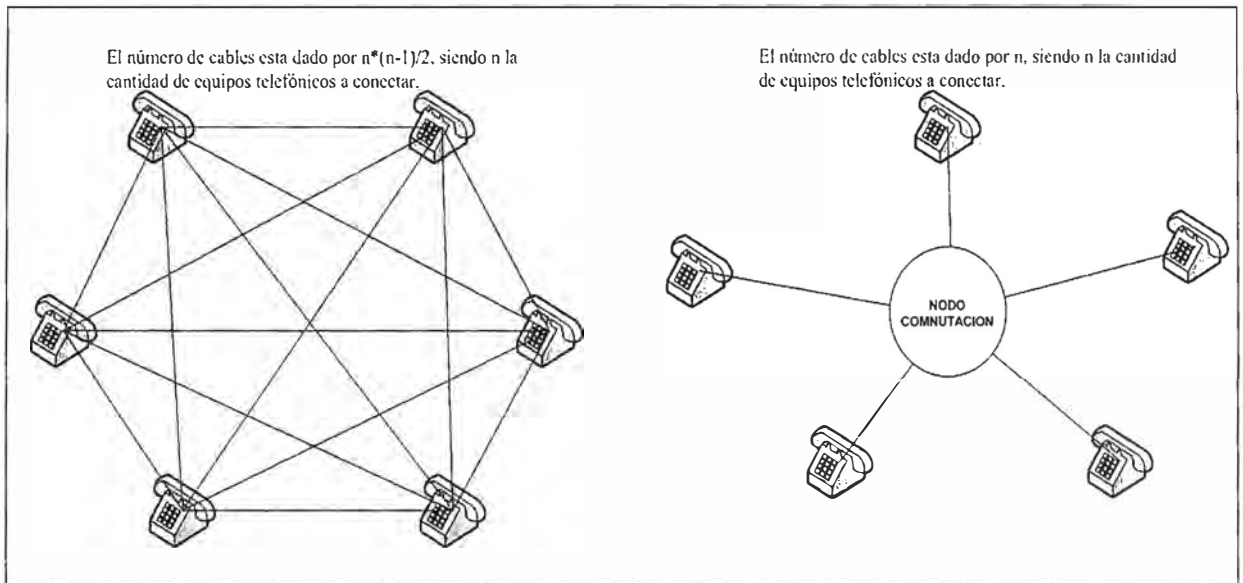


Fig. 2.16 Tipo de conexión (Izquierdo : malla. Derecho: estrella )

El objetivo básico de una central telefónica es establecer el enlace entre dos abonados – uno llamante y otro llamado – que desean establecer una comunicación; para ello debe disponer de los medios físicos, funciones y señalización necesarios para alcanzarlo con efectividad.

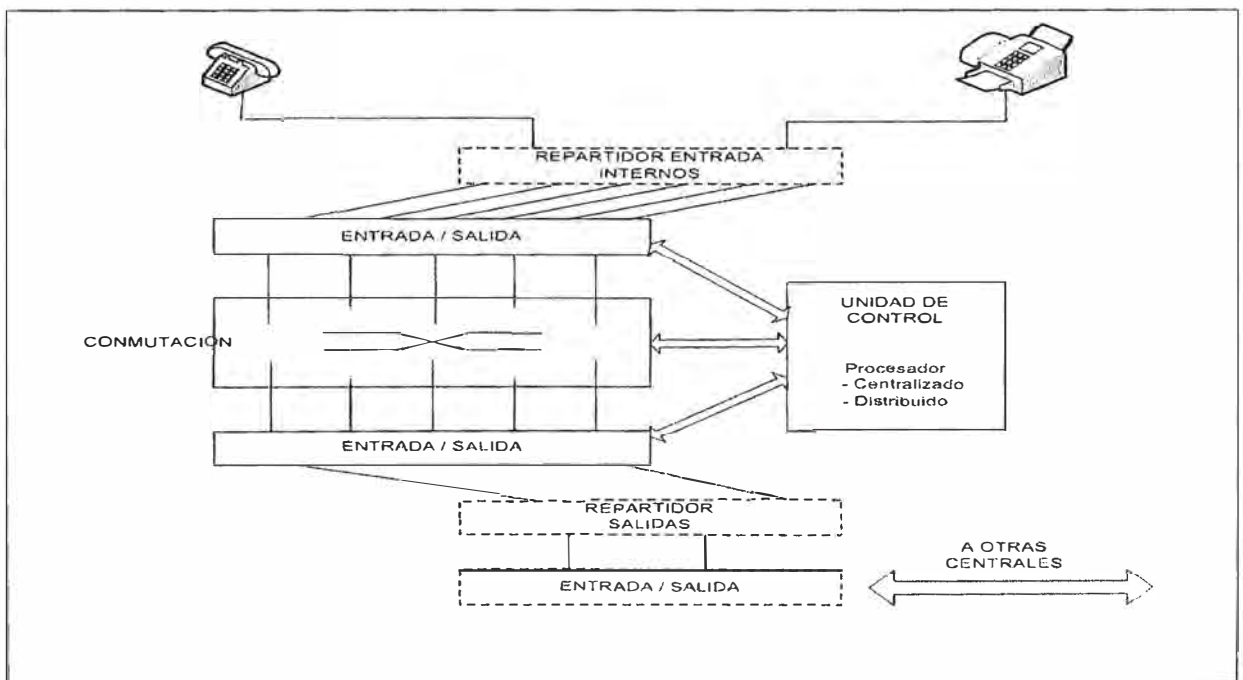


Fig. 2.17 Esquema de bloques de una central telefónica

Como sucede en cualquier comunicación, es necesario fijar una serie de reglas y métodos – protocolo- que gobiernen el proceso de intercambio de información, desde el preciso momento de su inicio hasta su finalización.

En toda central telefónica se distinguen dos tipos de enlaces, los de entrada/salida de otras centrales y los internos, necesarios para unir los abonados de la misma central, como se ilustra en la Fig. 2.17 (6).

El conjunto de centrales telefónicas conectadas jerárquicamente entre sí, forman la Red Publica de Telefonía (RPT). El principio de conexión jerárquica establece que cada unidad inferior dependerá única y exclusivamente de otra unidad de orden superior. En una red telefónica todos los usuarios de la red no pueden estar conectados a una sola central, debido entre otros, a la capacidad limitada de conexiones de la propia central, la situación geográfica, etc. Este hecho provoca que se agrupe un determinado número de usuarios en torno a una central, otros en torno a otra y así sucesivamente. Para que todos estos usuarios puedan conectarse entre sí, será necesario conectar estas centrales a otra central de orden superior, que gobierne el tráfico entre usuarios de distintas centrales. Si esta situación se repite en otros ámbitos geográficos, será necesario unir estas centrales de orden superior entre sí para hacer posible la comunicación con otros usuarios y así sucesivamente hasta cubrir la posibilidad de cualquier comunicación entre usuarios, independientemente del lugar donde se encuentren (7).

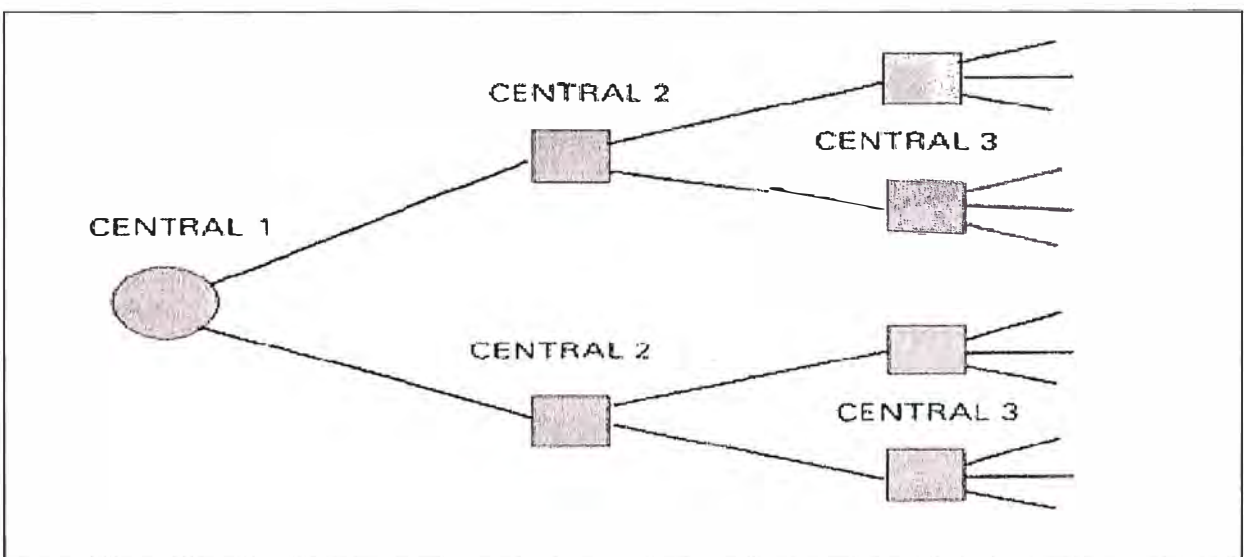


Fig. 2.18 Niveles de jerarquía central telefónica

En el campo de las telecomunicaciones, en un sentido amplio, una central telefónica es el lugar físico (puede ser un edificio, un local o un contenedor), utilizado por una empresa operadora de telefonía, donde se albergan al equipo de conmutación y los demás equipos necesarios para la operación y establecimiento de llamadas telefónicas, en este lugar terminan las líneas de abonado, los enlaces con otras centrales (8).

Sin embargo, dado que se ha popularizado el término “central telefónica” como sinónimo de “equipo de conmutación”, se ha visto por conveniente mantenerlo a lo largo de todo el texto.

Varias de las funciones que realizan las centrales telefónicas, también pueden ser efectuadas por conmutadores privados, que en realidad son pequeñas centrales telefónicas. Entre ellas están la búsquedas de personas, la selección y la configuración de grupos, la disponibilidad de distintos modos de operación para diferentes horarios, la restricción de llamadas de larga distancia y la asignación de privilegios en general a cada una de las extensiones, el almacenamiento de información sobre llamadas y de las extensiones que las originaron, la puesta en espera de llamadas, la disponibilidad de directorio en línea, etcétera. (9)

Los conceptos siguientes harán énfasis en las centrales telefónicas del tipo privado, que es la forma común que poseen las instituciones públicas o empresas privadas para sus comunicaciones telefónicas, denominados comúnmente PBX.

### **2.3.1 Definición**

Una central telefónica privada denominada comúnmente PABX (Private Automatic Branch Exchange) o últimamente, sólo PBX ya que se entiende que todas son automáticas, no es mas que un conmutador que conecta líneas de entrada (trunk=enlace) y las extensiones internas. De esta forma podemos disponer de más de un aparato (terminal telefónico, fax, módem, etc.) conectado a la red telefónica, aunque sólo podrán llamar a la vez tantos como líneas de salida tengamos en esa central (9).

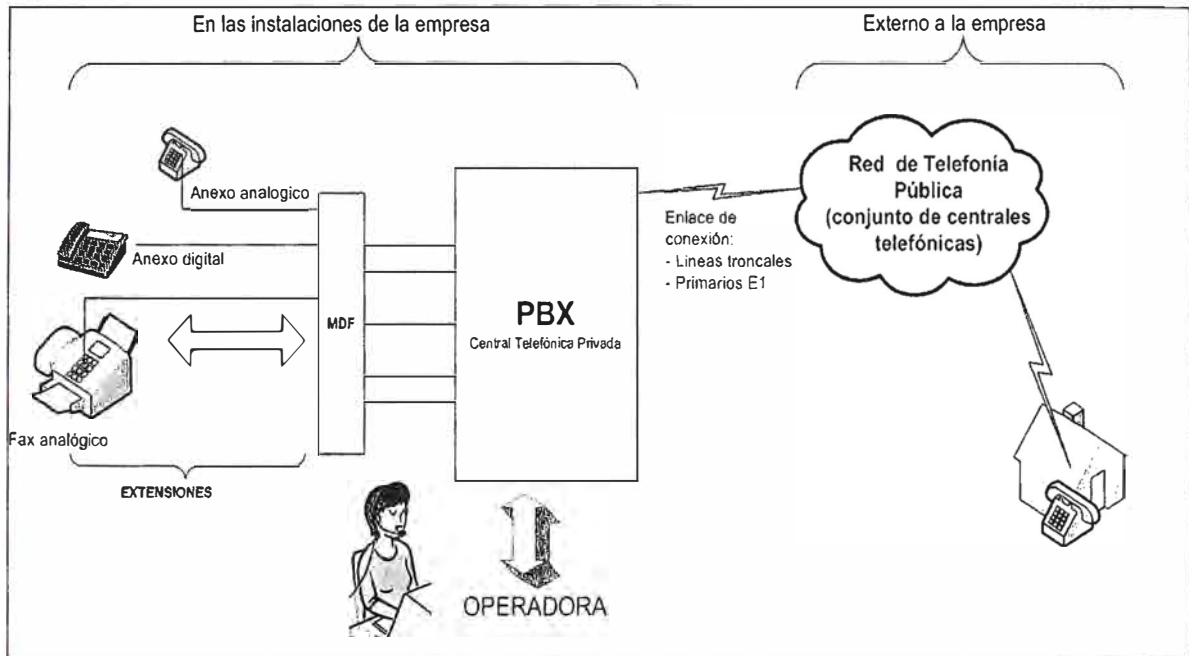


Fig. 2.19 Central telefónica privada básica (PBX)

Las PBX son, en gran medida, similares a las centrales públicas. Ambas constan de dos partes claramente definidas: la unidad de conmutación (otros autores la denominan Red de Conexión (9)) y la unidad de control, siendo en términos generales, la primera la encargada de establecer el canal físico para poner a los usuarios en comunicación, y la segunda, la de atender la señalización entrante y saliente, procesar las señales recibidas e indicar a la primera que circuitos interconectar.

La unidad o matriz de conmutación a su vez pueden ser de dos tipos: sin bloqueo o con bloqueo, según que todos sus usuarios pueden mantener o no un enlace con otro.

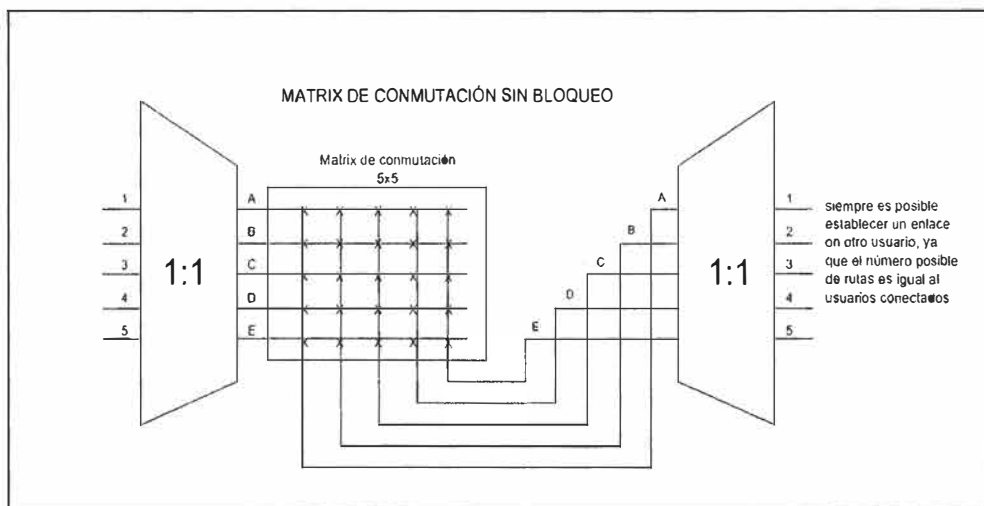


Fig. 2.20 Matrix sin bloqueo

En el primer caso, ilustrado en la Fig. 2.20 y el habitual en las modernas centrales, el número de posiciones de conmutación corresponde con el de usuarios de entrada multiplicado por el de salida, con lo que siempre es posible establecer un enlace.

En el segundo caso, ilustrado en la Fig. 2.21, el número de posiciones de conmutación es limitado, por lo que sólo es posible la comunicación de un número limitado de usuarios, dando la central congestión (bloqueo) en caso de que dicho número sea excedido (6).

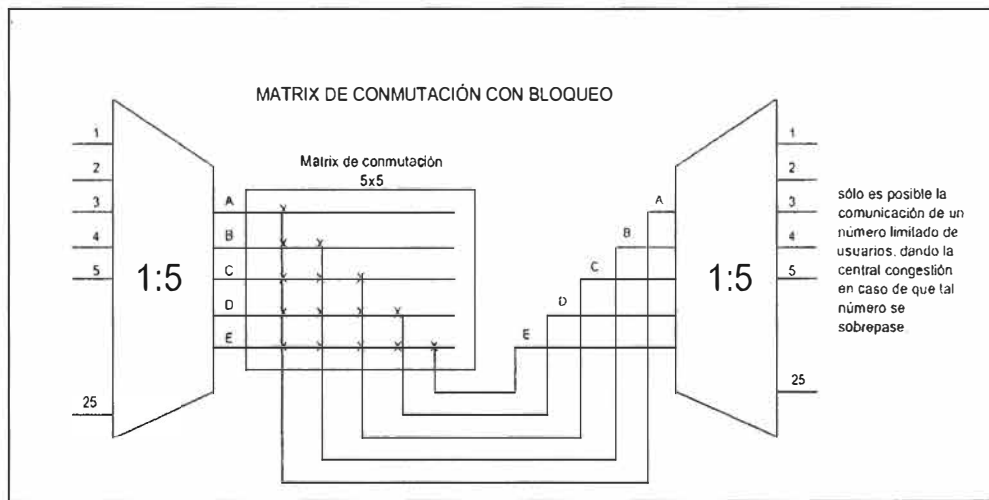


Fig. 2.21 Matrix con bloqueo

### 2.3.2 Arquitectura

Toda PBX consta de unos elementos hardware (procesadores, selectores, extensiones, etc.) y otros softwares, siendo estos últimos los que definen la gama de servicios ofrecidos y que marcan las principales diferencias entre unas y otras.

Los principales componentes de la arquitectura de un sistema de conmutación PBX digital se refleja en la figura 2.22.

#### a) Matriz de conmutación

Comprende el conjunto de órganos y circuitos que constituyen el soporte físico de la comunicación. En esta red se conectan los abonados y enlaces entre sí. Los abonados se conectan a la red de conexión, a través de sus correspondientes equipos de línea. Existe un equipo individual para cada abonado, cuya principal misión es detectar el descolgado.

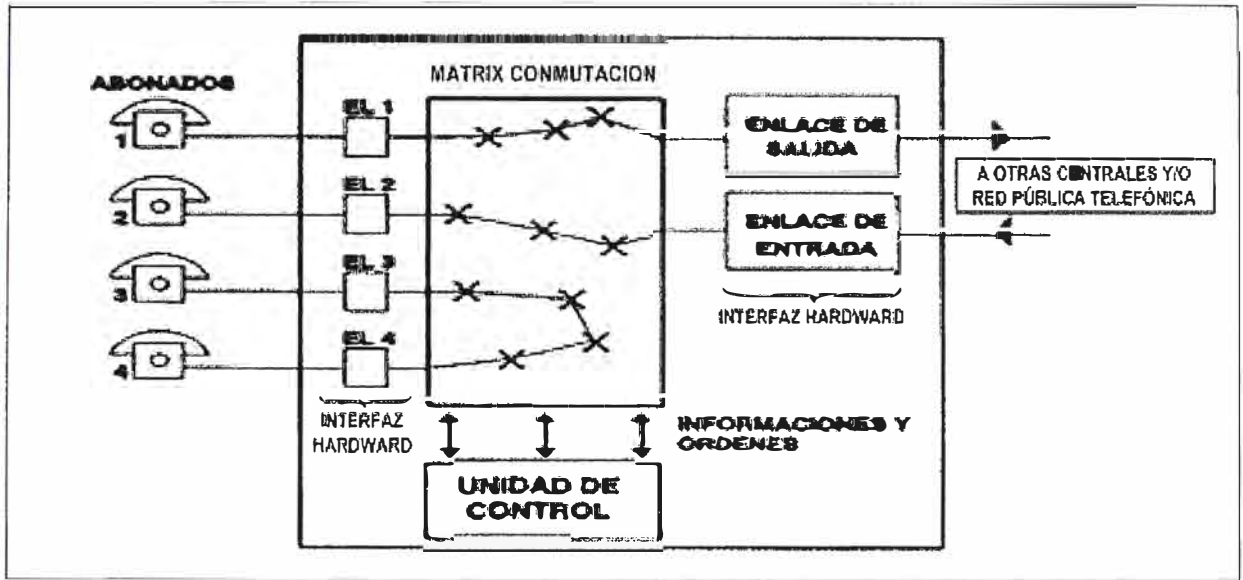


Fig. 2.22 Componentes de la PBX

La red de conmutación soporta físicamente las conexiones oportunas para establecer una llamada de cualquier tipo. A través de la red de conmutación se establece un camino que se une a la salida libre hacia la dirección deseada. Este camino lo denominan CAMINO DE CONVERSACIÓN y está definido por un cierto número de los llamados “puntos de cruce” de la red de conmutación. Cada punto de cruce es una conexión individual.

El camino de conversación no es único, puesto que entre dos puntos de la central existen multitud de caminos diferentes, definidos por puntos de cruce distintos que pueden conectarlos. Aunque la comunicación se establece físicamente a través de la red de conmutación, las funciones de mayor inteligencia, como es determinar que punto de cruce se efectuaran para una determinada llamada, las realiza la unidad de control (9).

Las operaciones que se pueden efectuar en una red de conmutación digital son:

- Operación de conmutación espacial

Es cuando una conexión (cruce) es dedicada a una comunicación durante todo el tiempo que dure esta (10). La red de conmutación espacial es una matriz de puntos  $N \times K$  que se cierran mediante una compuerta en cada punto. Es posible el acceso entre cualquier entrada  $N$  hacia cualquier salida  $K$ . El procesador central gobierna el cierre de la compuerta adecuada (11).

- Operación de conmutación temporal



Es cuando las comunicaciones son muestreadas por lo que cada una utiliza la conexión durante un periodo corto de tiempo, aumentando la eficiencia en el uso de recursos (10). La red de conmutación temporal es una conexión “virtual” entre la entrada y la salida. Se trata de memorizar los intervalos de tiempo de una trama de 2Mbps (30 Byte) en una memoria Buffer y extraerlos de dicha memoria en un orden distinto. De esta forma la información contenida en el intervalo de tiempo puede llevarse a la posición de otro intervalo. Se trata de una permutación de intervalo de tiempo sobre tramas de 2 Mbps (11).

- Operación de conmutación espacio-temporal

El tipo de red de conmutación T-S-T es el usado para la técnica denominada conmutación de circuitos, donde la conexión entre la entrada y la salida en la red se considera permanente durante la duración de la comunicación.

La red de conmutación de 3 etapas TST sin bloqueo (acceso desde cualquier entrada a cualquier salida sin importar la carga de tráfico) fue planteada por C. Clos-1953 en la BellLabs. La estructura consta de los siguientes elementos:

-ETAPA T. El número de entradas totales a la red de conmutación TST es  $N$ . Se dispone de  $N/n$  etapas de conmutación temporal  $T$  en paralelo. Cada una de ellas tiene  $n$  entradas y  $k$  salidas.

-ETAPA S. El número de etapas de conmutación espacial  $S$  es  $k$ . Cada una de ellas posee  $N/n$  entradas y  $N/n$  salidas.

-ETAPA T. El número de etapas es  $N/n$ . Cada una con  $k$  entradas y  $n$  salidas. El número total de salidas es  $N$ .

Clos probó que para no tener bloqueo se debe cumplir con  $k=2n-1$ . Por otro lado verificó que al separar en etapas TST o TSSST se permite una reducción considerable en el número de puntos de cruce cuando la cantidad de entrada y salidas  $N$  es muy elevado. Por ejemplo: una central de 10000 líneas ( $N$ ) con solo conmutación espacial ( $S$ ) requiere 108 puntos de cruce para no tener bloqueo y con la configuración TST requiere 5,6.106 puntos de cruce. Por esta razón es que los centros de conmutación electromecánicos poseen un grado de concentración importante para reducir el número de puntos de cruce y admiten el bloqueo. Como la conmutación temporal ( $T$ ) requiere una memorización de los intervalos de tiempo de tramas, el retardo introducido es importante. De allí que se fraccione la red en TST. La misma muchas veces se la dibuja plegada T-S, siendo la red  $T$  tanto la entrada como salida de canales (11).

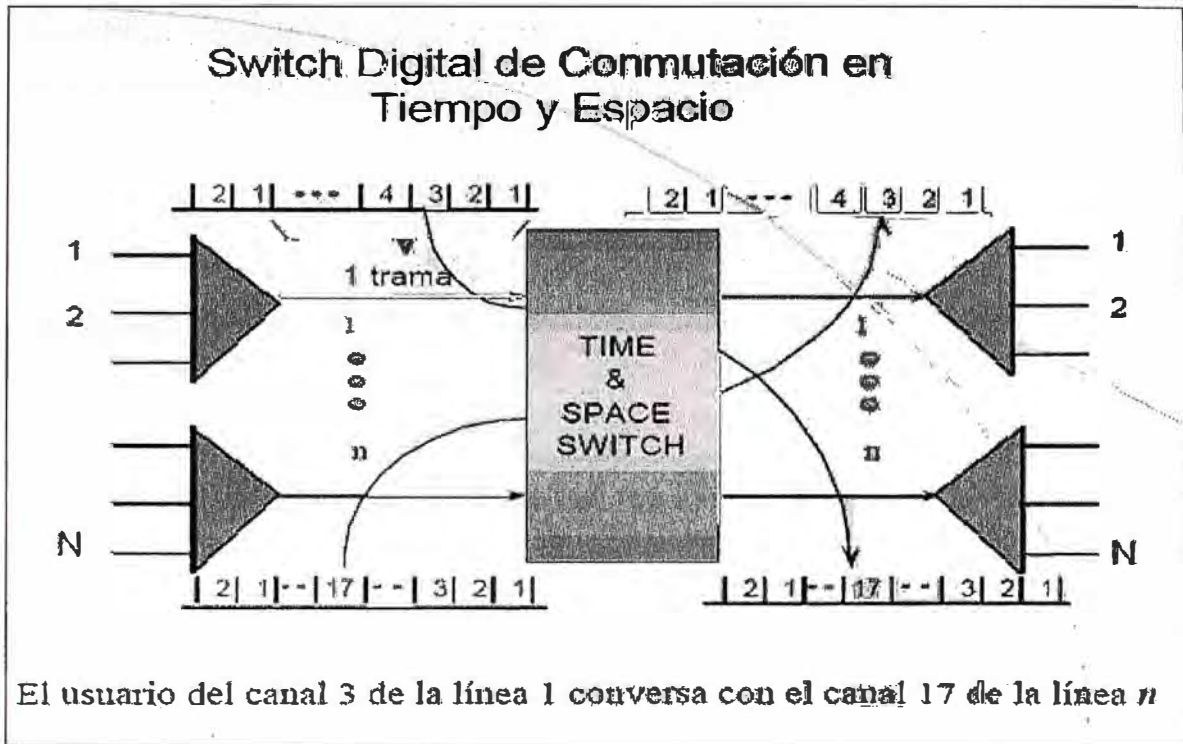


Fig. 2.23 Operación de conmutación temporal y espacial (10)

### b) Unidad de Control

La disponibilidad del sistema para satisfacer los requisitos del usuario depende de la capacidad del procesador de control. Dependiendo de la cantidad de intentos de llamada en hora cargada que se desee cursar (tráfico) pueden necesitarse procesadores más y más potentes, con un tamaño de memoria cada vez mayor (6).

La unidad de control esta constituida por un conjunto de circuitos, encargados de recibir informaciones y de producir órdenes necesarias para el completo encaminamiento de las comunicaciones, mediante el tratamiento de la información recibida. Tanto los abonados como los enlaces de llegada proporcionan una serie de informaciones, según las cuales se realizan las SELECCIONES (búsqueda de caminos de conversación libre) en la red de conmutación o matriz de conmutación de la central. El control recibe la información, la procesa o interpreta y ordena lo necesario para que se realice la conmutación.

Cualquier unidad de control tiene, como misión principal, el establecimiento, supervisión y liberación de caminos de la red de conmutación o matriz de conmutación, pero tiene también otras misiones adicionales como proporcionar estadísticas de tráfico, activar alarmas, tarifcar, apoyar la localización de averías (mantenimiento de la central), etcétera(9).

Teóricamente, el control electrónico puede hacerse de tres maneras: control por lógica cableada, control por programa cableado, y control por programa almacenado (SPC).

El control por programa almacenado (SPC), el más usado actualmente, su funcionamiento obedece a las instrucciones almacenadas en las memorias de la central, con la particularidad de que dichas instrucciones son fácilmente modificables por otros programas.

Los tipos principales de control SPC son:

- SPC centralizado: un procesador con acceso directo a todos los recursos de la central y ejecuta todas las funciones de la misma. El ordenador está duplicado por seguridad (9). Las soluciones centralizadas implican el empleo de potentes procesadores cuando se requieren grandes sistemas, por lo que la escalabilidad (facilidad para crecer) es complicada y puede ser necesario el cambio del procesador (6).
- SPC distribuido: se realiza el control mediante el empleo de procesadores de menor potencia pero distribuidos en los diferentes módulos; esto implica una mayor complejidad del software, pero, al mismo tiempo proporciona una mayor fiabilidad ya que la caída de uno de ellos no repercute en el sistema (6)

### **c) Interfaz Hardware (periféricos)**

Los usuarios se conectan al sistema vía interfaces que pueden ser tanto analógicas como digitales. Existen por lo tanto diferentes interfaces según el tipo de usuario o enlace que se desee conectar.

Una relación de interfaces es:

- A redes públicas
- A terminales
- A otras PBX
- A otros equipos externos
- A órganos de operación y mantenimiento.

Normalmente cada uno de estos tipos basa en un hardware específico con su propio procesador integrado que les permite soportar y manejar sus características específicas de señalización (6).

Los usuarios acceden a los servicios que proporciona la central a través de diversos terminales, entre los que el más habituales el teléfono. Otros, como los terminales de datos, de mensajería, fax, etc., son también usados (6).

Estos terminales o dispositivos se conectan a través de extensiones, que son las conexiones “interiores” de una central, a ella se conectan los dispositivos que usaremos para realizar una llamada de voz o para conectarnos con un PC a la red (9). A continuación se enumera las extensiones más usadas:

- Extensiones analógicas:

Son las extensiones que funcionan como la hace la línea tradicional. A ellas se pueden conectar teléfonos analógicos, teléfonos inalámbricos de conexión analógica, módems y fax tradicionales (grupo II y III).

- Extensiones digitales:

Se comportan igual que una línea RDSI y pueden funcionar en modo BUS “S0” o en modo punto a punto “T0”. En estas extensiones se instalan ordenadores con tarjetas módems RDSI, terminales RDSI o faxes grupo IV.

- Extensiones específicas:

Cada fabricante de centrales dispone de una serie de terminales (teléfonos) con funciones avanzadas que solo se pueden utilizar si se conectan a las extensiones específicas de la central. Usan señalización propia y por lo tanto no se pueden usar en una central de un fabricante un terminal de otro fabricante.

- Salida Serie

Una central telefónica suele disponer de por lo menos una salida serie que permita la conexión a un sistema de tarificación.

### **2.3.3 Interconexión**

Ya se ha comentado que una PBX es un dispositivo de telefonía que utilizan la mayoría de las medianas y grandes empresas, generalmente se instala en la propia empresa y es usado para las comunicaciones telefónicas sean internas (entre anexos) o externas (a través de enlaces denominadas líneas troncales que realizan la conexión a la PSTN).

Normalmente hay un número limitado de líneas troncales, para realizar y recibir llamadas externas desde / hacia la empresa desde un origen externo como es la PSTN.

Las comunicaciones internas de la empresa (entre anexos) no tienen costo, debido que la PBX enruta o conmuta las llamadas internamente entre los teléfonos que están conectados

físicamente a la PBX. Por el contrario, las comunicaciones telefónicas externas si tienen costo, valor que depende de la cantidad de líneas troncales que tengamos contratado (alquiler de servicio de conexión a la PSTN) y el tiempo de conversación, por lo cual es conveniente dimensionar adecuadamente la cantidad de líneas troncales que se requerirán.

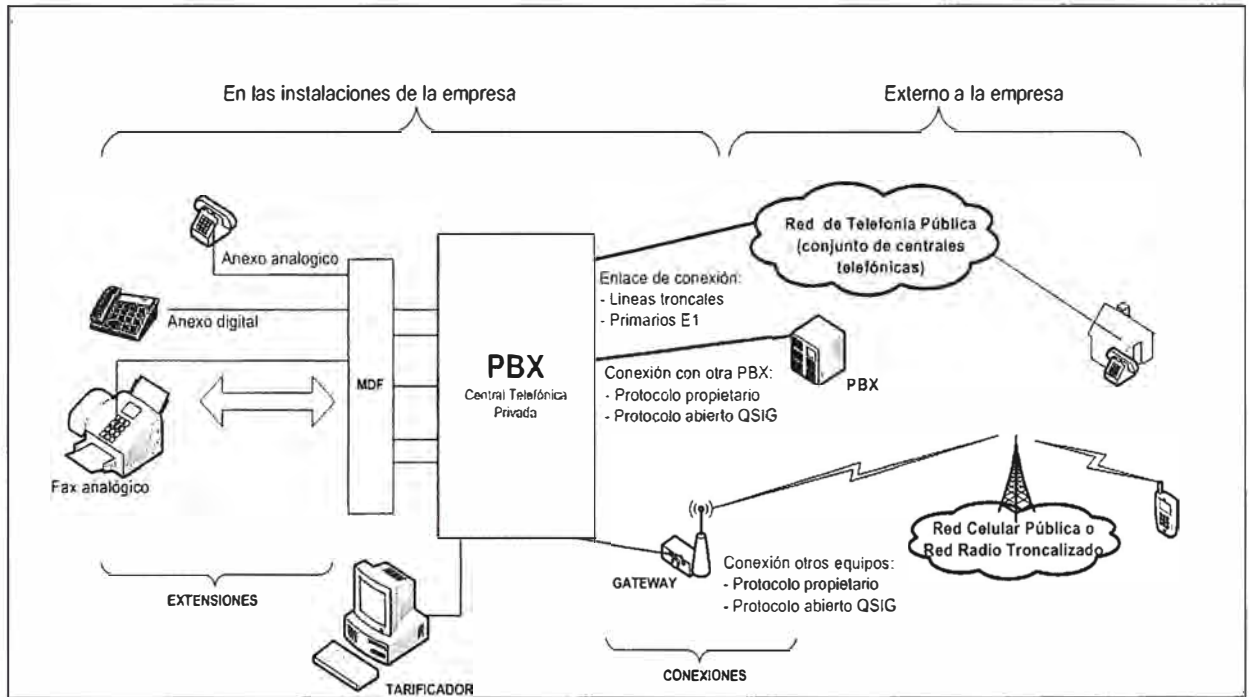


Fig. 2.24 Conexiones básicas PBX

A una central telefónica se le pueden incorporar, siempre según marca y modelo, los siguientes tipos de enlaces:

- Enlaces analógicos:

Son líneas telefónicas tradicionales analógicas domésticas, también denominadas de bucle de corriente. No soportan velocidades altas en la transmisión de datos y sólo permiten una comunicación simultánea por línea.

- Enlaces digitales E1:

Tienen un ancho de banda de 2 Mbps y aunque inicialmente se instalaban sobre cables de par de cobre, actualmente casi siempre se montan sobre líneas de fibra óptica. Sobre ellos se pueden utilizar hasta 30 canales de voz sin multiplexar, aunque existen sistemas que por compresión o multiplexión consiguen hasta cuatro veces esta capacidad.

- Enlaces RDSI (ISDN)

Siguiendo los estándares de las líneas RDSI, se utilizan de dos tipos: BRI (dos canales B de 64 Kbps y uno D de 16 Kbps) y PRI (30 canales B de 64 Kbps y uno D también de 64 Kbps).

- Enlaces E&M

Estos enlaces analógicos se utilizaban para interconectar varias centrales entre sí. Se llaman E&M por que por un grupo de pares (Ear = oído) van los datos de conexión, tiempo de llamada, etc., y por la otra (Mouth = boca) va la voz de la llamada. Es un sistema que su última versión se utilizaba la llamada señalización versión V.

En muchos casos se sustituye por sistemas QSIG que permiten la señalización y el intercambio de datos entre centrales a través de líneas RDSI Standard. QSIG tiene además la ventaja de que no es propietario por lo que permite la interconexión de centrales de diferentes fabricantes (9).

### CAPÍTULO III

## METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

### 3.1 Alternativas de solución

En algún momento, todo miembro de nuestra sociedad ha sufrido algún problema y ha precisado ayuda, y los sistemas móviles han respondido ante esta situación, convirtiéndose en una valiosa herramienta de protección y asistencia, y por que no decirlo, llegando a ser una alternativa de comunicación tan igual o mayor que la telefonía fija.

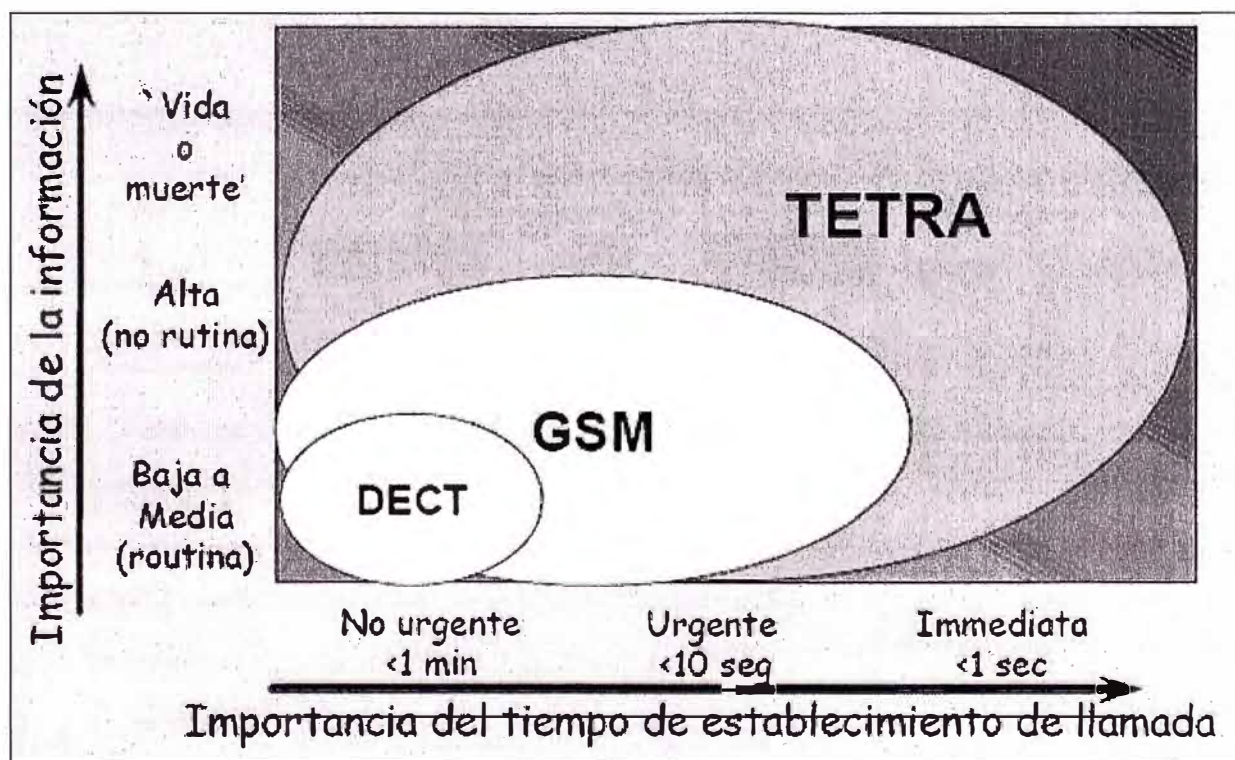


Fig. 3.1 Tiempo de respuesta de los sistemas móviles

Para estas situaciones, estos sistemas móviles requieren de establecimiento de llamadas inmediatas y la continuidad de operación del servicio en situaciones excepcionales o de emergencia, en donde los sistemas celulares públicos no garantizan la comunicación o en



muchos casos colapsan por el tráfico generado por las personas que se encuentran en aquel lugar, en la Fig. 3.1 se ilustra los tiempos de respuesta de los sistemas móviles.

Ante estos escenarios, los sistemas móviles privados son una buena alternativa de solución, principalmente los de tecnología digital que es de mayores prestaciones y rendimiento que la de tecnología analógica.

Pueden existir muchas alternativas de solución para la integración de un sistema PMR con un PBX, la diferencia entre uno y otro lo determina el sistema PMR a usar. En la actualidad existen muchos sistemas PMR digitales disponibles, por lo que la elección del sistema más adecuado se deberá principalmente a cuatro aspectos fundamentales:

- De estándar abierto, asegurarán competencia, más opciones, más funciones y servicios.
- De máxima eficiencia espectral.
- Interoperabilidad con muchos sistemas de telecomunicaciones.
- Seguridad en las comunicaciones.






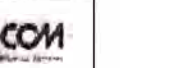
TETRA	APCO & IDEN	MPT 1327	LTR	TETRAPOL	EDACS
 Y otros					

Fig. 3.2 Fabricantes que soportan la tecnología PMR

En la Fig. 3.2, se ilustra una comparación entre las diferentes tecnologías de PMR y los fabricantes que la soportan, se puede apreciar que el sistema TETRA por ser de tecnología abierta tiene la mayor cantidad de empresas que la soportan, por lo que al estar



estandarizados las diferentes interfaces, es posible utilizar equipos de distintos fabricantes en una misma red TETRA.

Por las razones expuestas, se escoge como alternativa de solución al sistema de radio el estándar TETRA por ser de tecnología abierta.

### 3.2 Solución del problema

Como ya se ha comentado anteriormente, el presente estudio se centra en la integración de un sistema básico de radio digital privado (PMR) y los sistemas de telefonía privada (PBX). En la Fig.1.1, se pudo apreciar las desventajas que se tiene al no tener integrado un sistema de radio privado y una central telefónica privada, desaprovechándose los recursos existentes, como la de la infraestructura de la red privada, red de telefonía pública (PSTN) y la red de telefonía móvil (PSTN) al que se encuentra conectada la PBX.

En la Fig. 3.3, se muestra gráficamente la solución planteada a la integración de un sistema de radio digital TETRA y una central telefónica privada PBX.

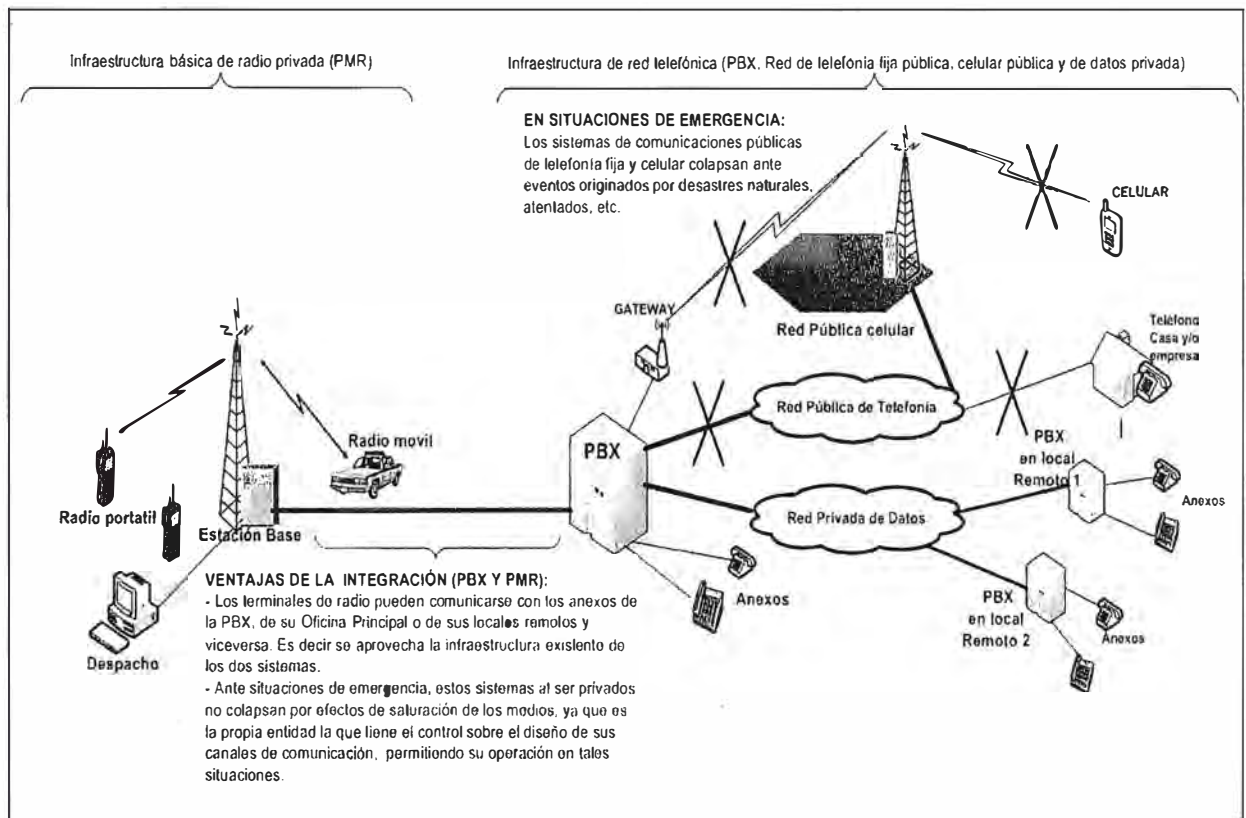


Fig. 3.3 Ventajas de la integración PBX y PMR

Muchos son los beneficios de la integración de dos sistemas privados, PMR-TETRA y PBX, los cuales podemos resumir en dos escenarios de operación:

▪ **En casos de emergencias:**

Es sabido, que eventos que se suscitan, tales como desastres naturales (terremotos, maremotos, huaycos, etc.), atentados, etc., hacen colapsar los sistemas de comunicación públicos de telefonía fija y celular, por citar un ejemplo, el terremoto en Perú el 15 de agosto del 2007, dejó incomunicado las zonas afectadas por espacio de varias horas, no hubo comunicaciones vía teléfono o celular. Otro ejemplo es en el atentado del 11 de marzo en Madrid – España, donde también colapsaron estos medios de comunicación.

En estos casos, los medios de comunicación que no colapsan por saturación del servicio, son los sistemas de comunicaciones privadas, tal es el caso de las PBX, PMR y circuitos privados de conexiones, lo cual permite en estas situaciones críticas mantener las comunicaciones dado su carácter privado, ya que establecer una llamada puede convertirse en una situación de vida o muerte.

▪ **En caso de situación normal:**

En situaciones normales, la integración de estos sistemas permitirá una mayor cobertura del servicio, facilitando las tareas de coordinación entre los distintos grupos de operación, a través de terminales telefónicos, celulares y radios, según se apreciar en la Fig.1.2.

### **3.3 Recursos**

La solución a la integración indicada, se tendrá como puntos de partida las siguientes consideraciones:

- Existencia de una infraestructura de sistema radio PMR analógico, compuesto por:
  - Radiocanal UHF.
  - Torre de antena instalada tipo ventada.
  - Equipo Base.
  - Terminales portátil, móvil analógicos.
- Existencia de una PBX híbrida digital, compuesto por:
  - Conexión a la PSTN
  - Conexión a una red privada de red, IP.
  - Existencia de equipos gateway celular, para conexión a la PLMN.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Cuando se produce una comunicación de voz entre dos terminales, se ocupan además de los terminales del llamante y el llamado, una serie de dispositivos y enlaces intermedios, que se conoce como tráfico.

Por ello el primer problema que se presenta al dimensionar la red, es el cálculo del número de canales a disponer para la red, es decir, que tráfico se va a tomar como referencia para el diseño, sin caer en las siguientes situaciones:

- Si la red tuviera suficiente número de canales, para cursar los mayores picos de tráfico, estarían parcialmente ocupados durante la mayor parte del tiempo, teniendo como consecuencia un escaso rendimiento de los mismos, que se traduce en una elevada inversión.
- Si por el contrario se dimensionan con pocos canales, de manera que existan grandes periodos de saturación, ocurrirá que en dichos periodos habrá muchos intentos de llamadas que no podrán cursarse por falta de canales libres, lo que se traduce en una escasa y mala calidad del servicio.

El dimensionado de una red, busca un equilibrio entre ambas situaciones.

La elección de un modelo de tráfico ajustado a la realidad de funcionamiento del sistema es fundamental así como el dimensionamiento y correcta evaluación de cualquier red de telecomunicación. Los modelos de teletráfico para los que existe una solución analítica exacta cuyo cómputo no sea excesivamente costoso, son pocos; y es difícil que la red o sistema analizado cumplan en medida razonable las hipótesis de partida de dichos modelos. En general no es bueno condicionar la forma en que se modela un sistema para su evaluación al hecho de que exista una solución exacta para el modelo que se va a utilizar, si se procede de este modo el abanico de modelos aplicables es muy escaso y, aunque la solución será exacta, no se ajustará a la realidad del sistema, si el modelo analizado no ha

sido elegido con cuidado. Por otra parte modelar el sistema de forma ajustada y por ello no ser capaz de proporcionar resultados es una opción que no conduce a ningún lado [17].

Los reparos que pueden presentarse a la hora de utilizar una aproximación en la evaluación de un sistema deberían desaparecer ante las dos razones siguientes:

- Los datos de partida nunca son exactos sino que cuentan siempre con un margen de error; recordemos que las medidas de teletráfico están basadas en estadísticas y que incluso la estacionalidad de los procesos subyacentes es en muchas ocasiones difícil de cuantificar. Si el error cometido por la aproximación utilizada es pequeño, comparada con el de los datos de partida, la aproximación representa un menor error [17].
- Es mejor una aproximación para un modelo ajustado a la realidad que una solución exacta para un modelo alejado de ella [17]. Siempre es preferible una buena aproximación con un modelo simple que dé información sobre los procesos que dan lugar a que se observen estos valores; que una mejor aproximación, con un modelo más complejo que no indague en las causas que propician dicho modelo[15].

La duración de una conversación telefónica ha sido caracterizada tradicionalmente mediante una distribución de exponencial. El propio Erlang realizó comparaciones visuales y de fractiles (distribución de frecuencias) entre datos empíricos y las correspondientes distribuciones exponenciales con la misma media y consideró que el ajuste era más que suficiente para efectos de cálculo. La aceptación de la distribución exponencial permitió la utilización del entorno matemático de Markov y los métodos de cálculo de Erlang-B, Erlang-C, Poisson, etc. Sin embargo la distribución exponencial de la duración de la conversación no está sustentada estadísticamente por razones matemáticas ni experimentales, sino más bien por su utilidad práctica [15].

No hay ninguna razón para esperar que la duración de la llamada en telefonía móvil siga patrones estadísticos sensiblemente diferentes de los de telefonía fija [15].

Por otro lado, recientemente algunos investigadores han cuestionado este hecho reclamando métodos estadísticos más estrictos para la estadística de la duración de una conversación telefónica [17][18]. Sin embargo, el diseñador puede seguir usando las formulas clásicas de Erlang-B y Erlang-C tal como se venia haciendo, sabiendo que en realidad la distribución de la duración de una conversación telefónica no es tan

exponencial como se creía, sino subexponencial, con lo cual estaría sobredimensionando y viceversa. Solamente la experiencia da la sensibilidad necesaria, pero debe tenerse en cuenta también que solamente se usa este procedimiento para un primer análisis [15].

#### **4.1 Dimensionamiento de la implementación**

En todo sistema de telecomunicaciones se combinan equipos, canales y en general recursos escasos (dificultad de tender cables, dificultad de obtener espectro o ancho de banda, etc.) que deben ser dimensionados correctamente para el servicio que se destinan. Se trata, por tanto, de determinar el número máximo de recursos para dar un servicio de la calidad previamente acordada [2].

La dificultad de utilizar un canal cuando es necesario realizar una comunicación es medida por el GRADO DE SERVICIO (GOS), por tanto mide la calidad del dimensionamiento. En el caso más general se suele identificar con la probabilidad de bloqueo o probabilidad de pérdida de una llamada [2].

Los sistemas troncales, en las que las llamadas se introducen en una cola FIFO y se procesan por orden de llegada. Se dimensionan generalmente con la función Erlang C, como sistemas en espera. Estos sistemas pueden considerarse en el entorno de los sistemas privados PMR [2].

Se tendrá en cuenta las siguientes hipótesis, como punto de partida, para el dimensionamiento, los cuales los valores o recomendaciones han sido tomadas de ejemplos de los libros [2][18], indicados en la bibliografía:

Modelo de sistema en espera sin pérdida; ante congestión o bloqueo en la red, las llamadas se pone en cola (aunque es finita, se considera infinita a efectos de cálculo). Situación en que todos los canales están ocupados y se produce un nuevo intento de llamada.

Duración de las llamadas terminales radio,  $H = 30$  segundos.

- Número de llamadas en la hora cargada o pico,  $L = 2$  llamadas.

Tiempo de espera del sistema de colas,  $W_0 = 60$  segundos.

Grado de Servicio,  $GOS = 4\%$ , (4 llamadas perdidas de 100 llamadas realizadas).

Número de canales radio TETRA,  $N = 3$  canales (el cuarto canal para señalización).

- Número de canales PMR analógico,  $N_a = 1$  canal.
- Porcentaje de llamadas desde terminal de radio a terminal telefónico = 10% .

Se considera que por cada radiocanal disponible, para el caso de TETRA se tendrá cuatro canales, y para el caso de un PMR analógico solo se tendrá uno canal de comunicación.

La solución al dimensionamiento planteado es determinar la cantidad máxima de terminales de radio y telefónicos que deben ser atendidos sin provocar saturación en el sistema, el cual puede apreciarse en la Fig. 4.1.

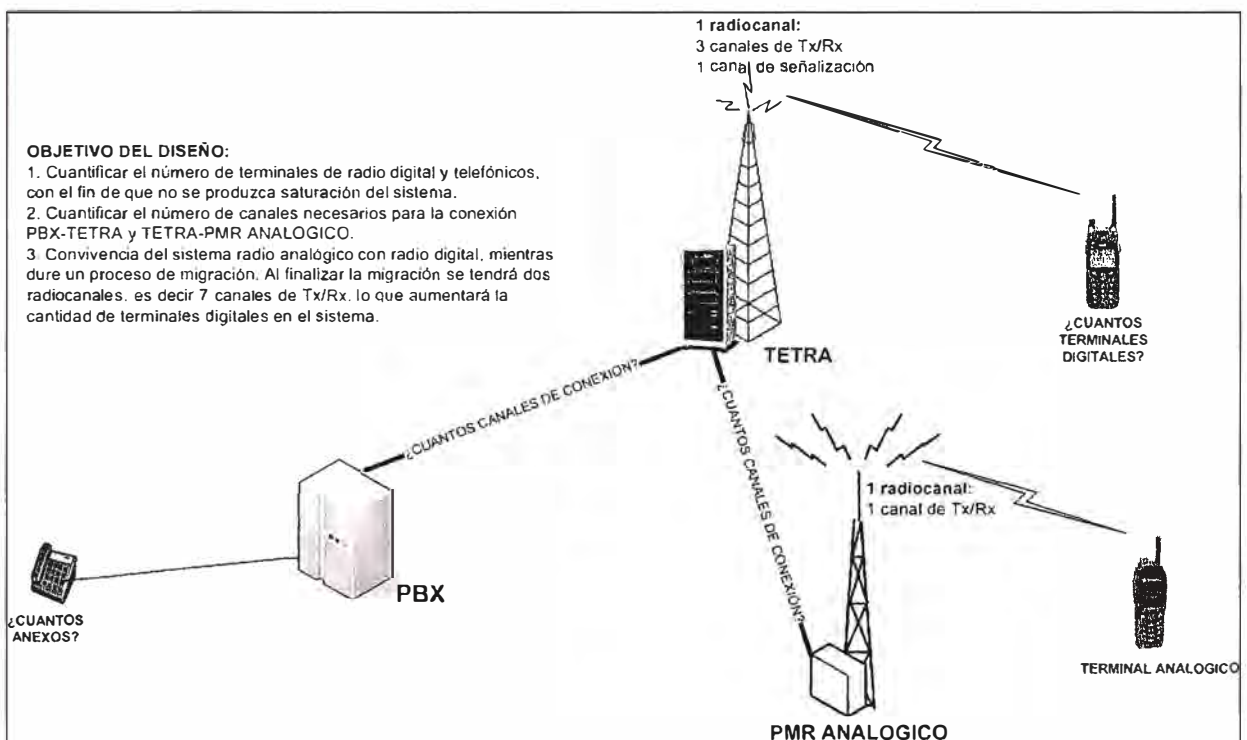


Fig. 4.1 Diseño del sistema PMR – PBX

## 4.2 Estimación de tráfico a cursar

Los resultado que se obtendrán, corresponden a la hora cargada o de mayor tráfico en la red analizada. Se usarán las siguientes formulas [2]:

Fórmula Intensidad de tráfico:

$$A = \frac{MLH}{3600\text{seg}} \text{ Erlang,} \quad \begin{array}{l} M : \text{número de móviles} \\ L : \text{número de llamadas hora pico} \\ H : \text{duración media de una llamada} \end{array} \quad (4.1)$$

Fórmula Función Erlang C:

$$C(N, A) = \frac{N \cdot B(N, A)}{N - A \cdot [1 - B(N, A)]}, \quad \begin{array}{l} B(N, A): \text{ función Erlang - B} \\ N: \text{ número de servidores o canales} \\ A: \text{ intensidad de tráfico ofrecido} \end{array} \quad (4.2)$$

Fórmula Función Erlang B:

$$B(N, A) = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{k=0}^N \frac{A^k}{k!}} \quad (4.3)$$

Fórmula Grado de servicio sin pérdida (GOS):

$$GOS(\%) = 100 * C(N, A) * e^{-\frac{W_0}{H}}, \quad W_0: \text{ tiempo espera sistema cola} \quad (4.4)$$

Fórmula número de móviles admisibles (M):

$$M = \text{entero}\left[\frac{A}{a}\right] \quad (4.5)$$

Fórmula del tráfico ofrecido móvil (a):

$$a = \frac{L * H}{3600} \quad (4.6)$$

Fórmula Grado de servicio con pérdida (GOS):

$$GOS(\%) = 100 * B(N, A) \quad (4.7)$$

• **Cálculo del tráfico soportado por el sistema TETRA:**

De los datos que se tiene:

GOS = 4%

W<sub>0</sub> = 60 seg

H = 30 seg

N = 3 canales de radio

L = 2 llamadas

En la fórmula 4.3, se tiene reemplazando los valores conocidos:

$$B(3, A) = \frac{\frac{A^3}{3!}}{\sum_0^3 \frac{A^K}{K!}} = \frac{A^3}{A^3 + 3A^2 + 6A + 1} \dots\dots\dots (1)$$

Reemplazando (1) en la fórmula 4.2:

$$C(3, A) = \frac{3B(3, A)}{3 - A[1 - B(3, A)]} = \frac{3A^3}{3A^2 + 17A + 3} \dots\dots\dots (2)$$

Reemplazando (2) en la fórmula 4.4:

$$4 = 100 * C(3, A) * e^{[-(3-A) * \frac{60}{30}]} = 100 * \frac{3A^3}{3A^2 + 17A + 3} * e^{-2(3-A)} \dots\dots\dots (3)$$

Resolviendo (3), se tiene:

$$A_{TETRA} = 1,8 \text{ Erlangs} \dots\dots\dots (4)$$

Reemplazando (4) en las fórmulas 4.5 y 4.6, se tiene que el número de terminales que cumplen los requerimientos planteados son M=108, sin embargo dado que existe una conexión entre TETRA y PMR, el cual debido a la tecnología analógica, solo permite un canal de comunicación, se puede considerar todo el sistema PMR analógico como un terminal más del sistema TETRA para el caso del enlace, por lo que el número de terminales TETRA sería:

$$M_{TETRA} = 107 \text{ terminales de radio.}$$

• **Cálculo del tráfico soportado por el sistema PMR analógico convencional:**

De los datos que se tiene:

GOS = 4%

Wo = 60 seg

H = 30 seg

N = 1 canal de radio

L = 2 llamadas

En la fórmula 4.3, se tiene reemplazando los valores conocidos:



$$B(1, A) = \frac{\frac{A}{1!}}{\sum_0^1 \frac{A^K}{K!}} = \frac{A}{A+1} \dots\dots\dots(5)$$

Reemplazando (5) en la fórmula 4.2:

$$C(1, A) = \frac{1 * B(1, A)}{1 - A[1 - B(1, A)]} = A \dots\dots\dots(6)$$

Reemplazando (6) en la fórmula 4.4:

$$4 = 100 * C(1, A) * e^{[-(1-A) * \frac{60}{30}]} = 100 * A * e^{-2(1-A)}$$

Resolviendo la ecuación anterior, se determina el valor siguiente:

$$A_{PMR} = 0,2 \text{ Erlangs} \dots\dots\dots(7)$$

Reemplazando (7) en las fórmulas 4.5 y 4.6, se tiene que el número de terminales que cumplen los requerimientos planteados es:

$$M_{PMR} = 12 \text{ terminales de radio.}$$

• **Cálculo del tráfico requerido en la PBX para atender llamadas del sistema radio:**

El enlace TETRA–PBX, debe soportar el tráfico que generen los terminales de radio digital y analógico. De la consideración de que solo el 10% del tráfico de radio será soportado por dicho enlace, se obtiene de las expresiones (4) y (7) el tráfico de dicho enlace:

$$A_{PBX} = 10\% * (A_{TETRA} + A_{PMR}) = 0,1 * (1,8 + 0,2) = 0,2 \text{ Erlangs} \dots\dots\dots(8)$$

Reemplazando (8) en la fórmula 4.7:

$$4 = 100 * B(N, 0.2) = 100 * \frac{\frac{0,2^N}{N!}}{\sum_0^N \frac{0,2^K}{K!}} \dots\dots\dots(9)$$

Hallaremos el valor de N en la expresión (9), analizando el comportamiento del diseño propuesto. De la figura 4.1 la ocupación máxima de canales de los sistemas de radio será de cuatro, dado que cada sistema tiene: tres canales para TETRA y un canal para PMR analógico, limitantes propias de la tecnología para un radiocanal por sistema de radio. De aquí que el enlace PBX-TETRA en su máxima ocupación corresponde a cuatro canales. Luego de la expresión (9), tabulando para valores de N, según:

$$N=1 \rightarrow GOS(\%) = 100 * B(1, 0.2) = 100 * \frac{0,2}{\sum_0^1 \frac{0,2^K}{K!}} = 16,66 \%$$

$$N=2 \rightarrow GOS(\%) = 100 * B(2, 0.2) = 100 * \frac{0,2^2}{\sum_0^2 \frac{0,2^K}{K!}} = 1,63 \%$$

$$N=3 \rightarrow GOS(\%) = 100 * B(3, 0.2) = 100 * \frac{0,2^3}{\sum_0^3 \frac{0,2^K}{K!}} = 0,34 \%$$

Luego, el valor que cumple para valores menores de GOS = 4%, es para N=3. Se puede apreciar que prácticamente no se perderán ninguna llamada por ocupación del canal del enlace PBX-TETRA, lo cual ratifica el análisis inicial.

En la TABLA N° 4.1 y la Fig. 4.2 se aprecia los valores obtenidos del diseño propuesto, el cual opera a su máxima capacidad sin provocar saturación de los canales disponibles.

TABLA N° 4.1 Resultados del diseño

SISTEMA / CONEXIÓN	CANALES	TERMINALES	TRÁFICO SOPORTADO	GOS	
TETRA	3	107	1,8	4%	sin pérdida
PMR ANALÓGICO	1	12	0,2	4%	sin pérdida
PBX-TETRA	3	12	0,2	0,30%	con pérdida
PBX-PMR					

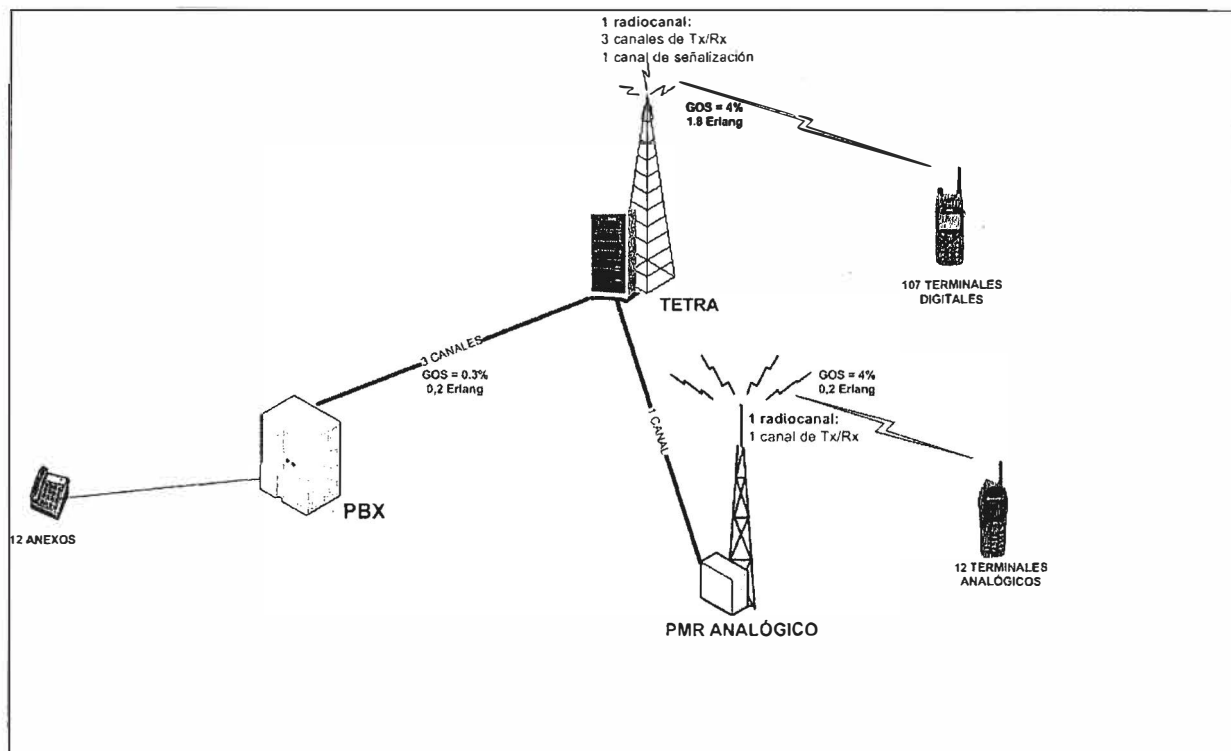


Figura 4.2 Presentación de resultados del diseño del sistema PMR – PBX

### 4.3 Estrategia para la implementación

El diseño presentado servirá como punto de partida de configuración de la PBX y TETRA para la integración de los mismos (se considera la convivencia de un PMR analógico). Dicho diseño es independiente del fabricante de la PBX o TETRA.

Asimismo, el número de terminales obtenidos e indicados en la Tabla N° 4.1, corresponden a los máximos valores de terminales que pueden operar en el sistema propuesto sin provocar saturación en las comunicaciones. Por tanto una operación en el sistema con un número de terminales menor a lo indicado en la Tabla N° 4.1 implicará mejoras en el GOS, o que es lo mismo, menores valores de pérdidas de comunicación por ocupación del canal.

Como estrategia de implementación, es recomendable una ejecución por etapas, mediante la coexistencia de dos sistemas de radio, el TETRA y el PMR analógico y su migración progresiva; lo cual evitará fuertes inversiones que se originarían con un cambio total del sistema radial analógico a un sistema digital TETRA.

En la tabla N° 4.2, se presentan los costos referenciales obtenidos en el mercado local, para una implementación pequeña, la cual comprende una sistema de radio TETRA básico compuesto de una estación base, consola de administración, 30 equipos portátiles y 5 equipos móviles, con interfaces para conexión a la PBX y al PMR analógico.

TABLA N° 4.2 Costos de implementación

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTOS (Inc IGV)		TOTAL (nuevos soles)
			US (Tc=3.3)	Nuevos Soles	
1	Licencias MTC (canon anual)				
	Base	1		1,704	1,704
	Portátil	30		355	10,650
	Móvil	5		355	1,775
2	Compra equipos TETRA				
	Estación Base y antena	1	170,000		561,000
	Estación portátil	30	1,300		128,700
	Estación móvil con GPS	5	2,300		37,950
	Consola administración	1	20,000		66,000
3	Instalación y configuración	1	7,000		23,100
<b>COSTO TOTAL IMPLEMENTACIÓN EN NUEVOS SOLES (INC IGV):</b>					<b>830,879</b>

El cronograma de la implementación de la solución propuesta, se muestra en la Fig. 4.4, al final del presente capítulo.

Por otro lado, para la fuente de energía del sistema integrado TETRA-PBX, es recomendable que cuente con respaldo de energía a través de equipos UPS con autonomía suficiente, los cuales a su vez deberán estar conectados como primera prioridad a los grupos electrógenos de la entidad, tal que permita garantizar el abastecimiento de energía ante cortes prolongados del mismo. De nada servirá que se tengan todas las consideraciones de diseño, redundancia del sistema, etc., si no se toma en cuenta el suministro de energía, así como las condiciones de humedad y temperatura de la sala donde albergará los equipos.

Asimismo, es estratégico seleccionar la frecuencia a usar para la implementación del sistema de radio digital, ya que su valor impacta directamente en la cobertura o alcance de la señal. Por ello, si comparamos la distancia de cobertura lograda con la misma potencia, por ejemplo, en las bandas 400, 900 y 1800 Mhz, se obtiene que transmitiendo a 400 Mhz

se consiguen distancias de cobertura dos veces superiores que si se transmitiera a 900 Mhz y cuatro veces de que se emitiera a 1800 Mhz. Ilustrado en la Fig. 4.3.

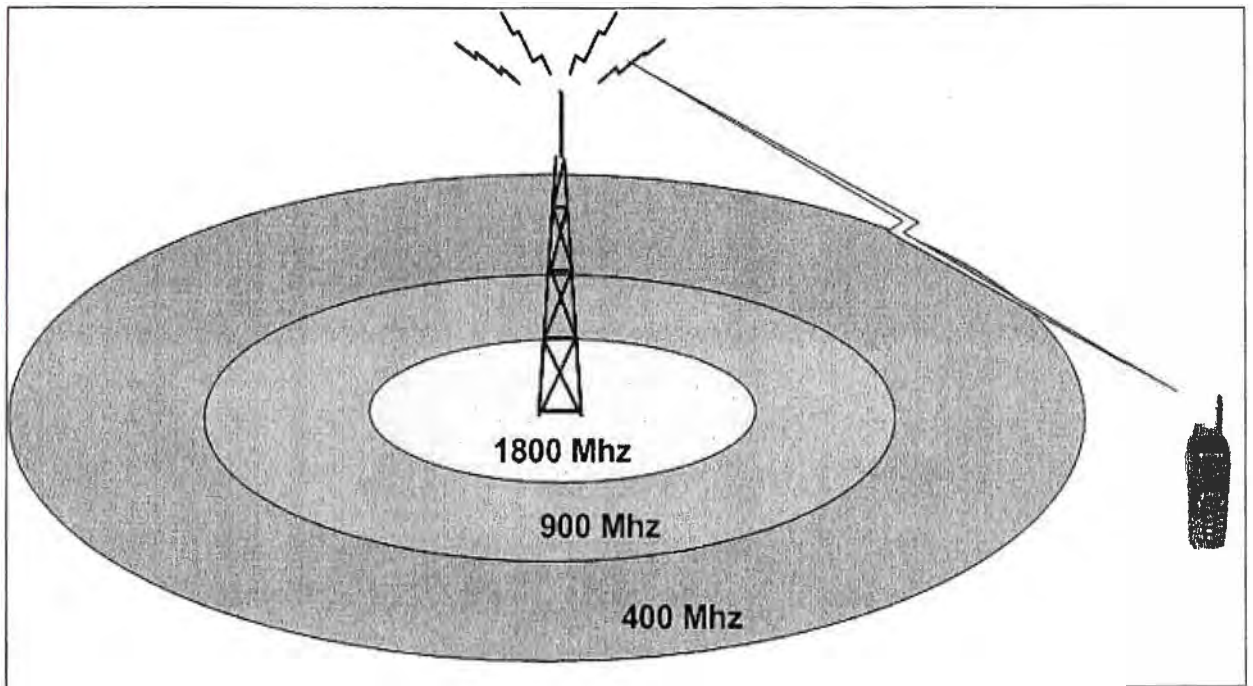
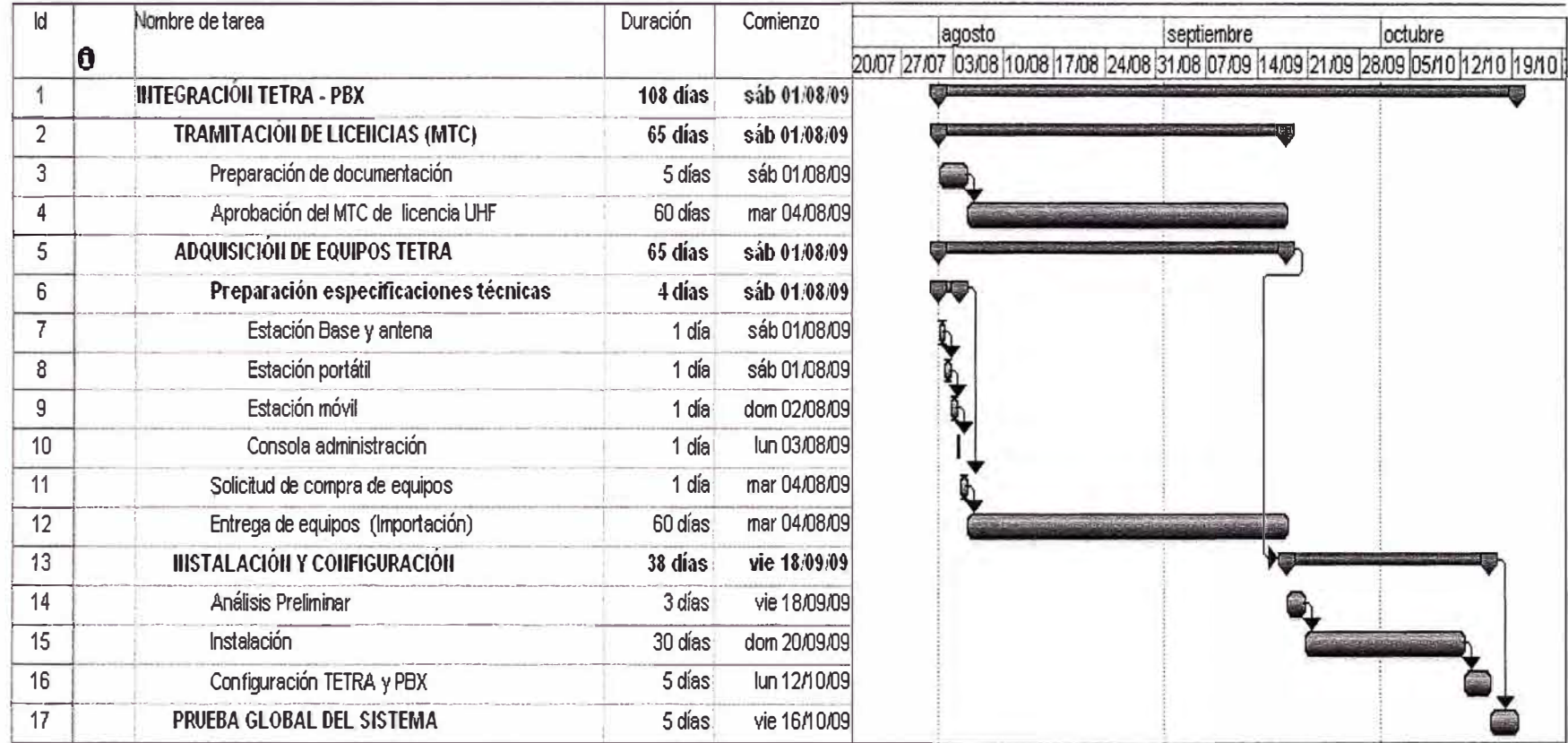


Fig. 4.3 Alcance de la señal de radio, según la frecuencia utilizada

Fig. 4.4 Cronograma de Implementación





## CONCLUSIONES

1. Al ser los sistemas planteados para una red privada, entonces el tráfico puede ser controlado, pudiendo la entidad realizar ajustes según sus necesidades. Esta característica es la principal diferencia con los servicios que brindan las empresas públicas de telefonía fija y/o móvil, los cuales orientan su diseño de red para obtener la mayor cantidad de usuarios a costa de sacrificar el grado del servicio (GOS), lo que en situaciones de emergencia o situaciones críticas estos sistemas colapsan.
2. Si bien es cierto, TETRA al ser un estándar abierto, y permitir la interoperabilidad de los componentes de muchos fabricantes, es importante recordar que una interface no es estandarizada y corresponde a la parte central del sistema (SwMI), el cual deja libertad a los fabricantes para ofrecer funcionalidades distintas que los diferencien uno de otros. Sin embargo a pesar de esta diferencia, de no escoger la solución más adecuada de TETRA entre las distintas opciones, podría desembocar en la dependencia hacia algún fabricante, para el desarrollo e implementación de nuevas aplicaciones; por lo que es importante tener en consideración este punto a la hora de elegir un sistema TETRA.
3. Según las recomendaciones de frecuencias de operación de TETRA, que van desde las bandas de 380-430 Mhz y 870-993 Mhz, es recomendable que las frecuencias solicitadas ante el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), estén en el rango más bajo, dado que el uso de estas frecuencias se traduce en un mayor alcance de la red por estación base, lo que equivale a una mayor cobertura territorial con un número menor de estaciones base. Afortunadamente en el Perú mediante Resolución Ministerial N° 145-2009-MTC/03 “Modifican Nota P41 del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias – PNAF” de fecha 19 de febrero del 2009, otorga a la banda de frecuencias 380-400 Mhz su uso para fines de seguridad pública y las bandas 385-386 Mhz, 395-396 Mhz para prestar servicios públicos de telecomunicaciones a título

secundario, con fines de seguridad pública o de atención en situaciones de emergencia o de socorro; en aras de salvaguardar la vida y/o bienes de las persona.

4. En el Perú el sistema TETRA, oficialmente se encuentra implementado en la Municipalidad de Surco, por lo que, en contraste a los 100 sistemas implementados en Europa y los 1076 a nivel mundial del 2007; origina una elevada inversión en su implementación e instalación, y mucho más, si se piensa cambiar a totalidad un sistema de radio PMR convencional existente. Por lo que la opción más recomendada es una migración progresiva hacia este sistema digital.



ANEXO A  
CONCEPTO DE RADIOCOMUNICACIONES MÓVILES

## CONCEPTO DE RADIOCOMUNICACIONES MÓVILES

El reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), define el servicio móvil como un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas, o entre estaciones móviles únicamente.

Los sistemas de radiocomunicaciones móviles permiten el intercambio de información variada (voz, datos, fax, video, teleacción), entre terminales a bordo de vehículos o transportados por personas y terminales fijos (centros de control, teléfonos) con unas características de calidad determinadas. En los sistemas móviles se aprovecha plenamente, el carácter inalámbrico de las comunicaciones radioeléctricas y la movilidad inherente, lográndose enlaces de ubicuidad, versatilidad y flexibilidad (2).

La superficie geográfica dentro de la cual los terminales pueden establecer comunicaciones con una estación fija y, eventualmente, entre sí, se denomina zona de cobertura. En consecuencia, los sistemas de comunicaciones móviles han de diseñarse de forma que puedan realizarse los enlaces desde cualquier lugar de la zona de cobertura. Ello obliga a elegir cuidadosamente la ubicación de las estaciones fijas.

Se denomina enlace descendente DL (Downlink) al sentido de comunicación de estación fija a terminal móvil. La distancia de cobertura en el DL se llama rango o alcance de la estación fija (Talkout). El enlace ascendente UL (Uplink) corresponde al sentido de comunicación de terminal móvil a estación fija. Su distancia de cobertura se llama retroalcance (Talback).

Debe procurarse que el alcance y retroalcance sean iguales (simetría de los enlaces). Ello requiere la adopción de diversas actuaciones de ingeniería, debido a la distinta naturaleza y características de las estaciones (2), y del medio geográfico donde brindarán el servicio.

## A.1. Composición de un sistema de comunicaciones móviles (2)

Todo sistema de comunicaciones móviles consta de los siguientes elementos:

- Estaciones fijas (FS)
  - Estación Base (BS)
  - Estación de Control (CS)
  - Estación Repetidora (RS)
- Estaciones móviles (MS)
- Equipos de control

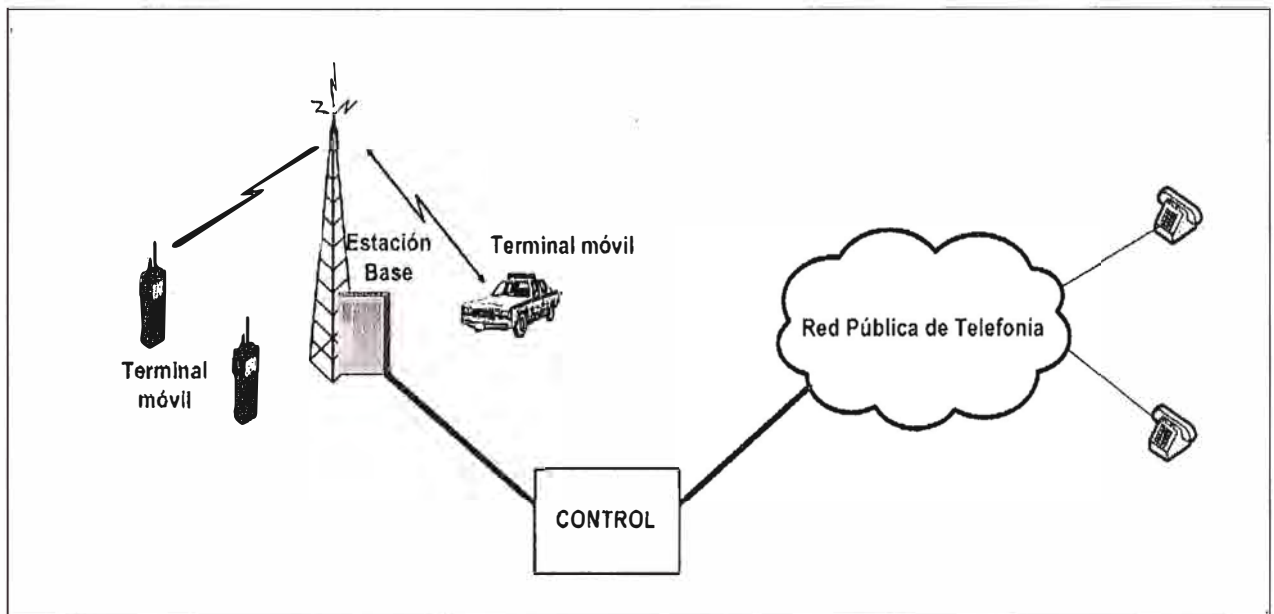


Fig. A.1 Sistema radial básico

### A.1.1 Estaciones fijas (FS)

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

#### ▪ Estación de base (BS):

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 de base tienen como características primordial el de ser fuentes y destinatarios de tráfico y de señalización. Están constituidas por equipos transceptores, sistemas radiantes y elementos de conexión entre unos y otros.

#### ▪ Estación de control (CS):

Una estación de control es una estación fija que se utiliza para la conexión de una estación de base con la red de telecomunicación fija, mediante un radioenlace punto a punto

▪ **Estación Repetidora (RS):**

Son estaciones fijas que retransmiten las señales recibidas. Conectan estaciones base con estaciones móviles. Se emplean para conseguir una gran cobertura radioeléctrica, por lo que se suelen ubicar en lugares altos. También se usan para el relleno de zonas de sombra en la cobertura de una estación base o para proporcionar cobertura en escenarios especiales tales como túneles, estacionamientos subterráneos, etc.

En las estaciones de control y repetidoras, el tráfico es de tránsito.

### **A.1.2 Estaciones móviles**

Una móvil es una estación radioeléctrica del servicio móvil prevista para su utilización en un vehículo en marcha o que efectúa paradas en puntos indeterminados. El término incluye a los equipos portátiles o de mano, que son aquellos que acompañan al usuario, y a los denominados equipos transportables, que pueden instalarse temporalmente en vehículos (coches o motocicletas) y llevarse también a mano. A las estaciones móviles de un sistema suele llamárseles también genéricamente terminales.

### **A.1.3 Equipos de control**

En los sistemas de comunicaciones móviles, en general, el conjunto de equipos de control lo forman los dispositivos necesarios para el gobierno de las estaciones de 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 aquí los terminales de datos (pantallas, impresoras), miniordenadores y controladores.

## **A.2. Clasificación de los sistemas móviles (3)**

Podremos clasificar los sistemas móviles atendiendo a diferentes características y propiedades. La clasificación no pretende ser exhaustiva, pero sí suficiente:

▪ Por modalidad de funcionamiento:

    Radiotelefonía: comunicación bidireccional.

    Radiobúsqueda y radiomensajería: comunicación unidireccional.

▪ Por capacidad de prestar servicios:

- Sólo voz.
- Sólo datos:
  - Banda estrecha
  - Banda ancha.
- Mixto voz + datos (banda estrecha o banda ancha).
- Por sector de aplicación:
  - PMR (Private Mobile Radio o radio móvil privada).
  - PMT (Public Mobile Telephony o telefonía móvil pública):
    - PLMN (Public Land Mobile Networks o redes móviles terrestres públicas)
- Por la ubicación de los repetidores:
  - Repetidores en tierra: sistemas terrestres.
  - Repetidores en satélites: sistema satélite.
- Por el terreno donde se preste el servicio:
  - Terrestre:
    - De exterior
    - De interior (edificios)
  - Marítimo
  - Aeronáutico
- Por Banda frecuencial (2):
  - VHF:
    - Banda baja (low band) de 30 a 80 Mhz.
    - Banda alta (High band) de 140 a 170 Mhz.
    - Banda III de 223 a 235 Mhz.
  - UHF:
    - Banda baja de 406 a 470 Mhz
    - Banda alta de 862 a 960 Mhz
    - Banda de 1800 a 1900 Mhz
    - Banda de 2000 Mhz

Cada banda de frecuencias presenta distintas particularidades operativas que la hacen idónea para una aplicación concreta. A modo de ejemplo, en la tabla A.1, se indican tales características.

- Por técnica de multiacceso:

- FDMA (Frequency Division Multiple Access), asociado al PMR tradicional, a los radioenlaces entre otros.
- TDMA (Time Division Multiple Access), asociado a sistemas de radio digitales
- CDMA (Code Division Multiple Access), asociado a modulaciones de espectro expandido, sistemas de tercera generación.
- Por modulación y canalización:
  - Modulaciones analógica:
    - Banda estrecha, Bdw (Band Width o ancho de banda) = 8,5 khz y df=12,5 khz
    - PMR, Bdw=16 Khz y df=25Khz
    - PMT, Bdw=24 Khz y df=25 khz
  - Modulaciones digitales:
    - Sistema GSM, modulación GMSK y df=200Khz
    - CDMA, modulación PSK y df = 1,5 Mhz.
- Por el modo de explotación:
  - Simplex, a una o dos frecuencias, comunicaciones unidireccionales
  - Semidúplex, comunicaciones bidireccionales no simultáneas
  - Dúplex, comunicaciones bidireccionales simultáneas.

TABLA N° A.1 Características bandas usadas por PMR

CARACTERÍSTICA	BANDA			
	VHF baja	VHF alta	UHF baja	UHF alta
<b>Utilización típica</b>	Rural	Rural / urbana	Urbana	Urbana
<b>Penetración</b>	Mínima	Media	Alta	Alta
<b>Pérdida por vegetación</b>	Mínima	Media	Alta	Alta
<b>Multitrayecto</b>	Escaso	Apreciable	Pronunciado	Alto
<b>Interferencia sobrealcance</b>	Máximo	Media	Baja	Baja
<b>Ruido ambiente</b>	Alto	Medio	Bajo	Bajo
<b>Disponibilidad de canales</b>	Casi nula	Muy pequeña	Pequeña	Mediana
<b>Tamaño antenas</b>	Grande	Medio	Pequeño	Pequeño
<b>Ganancia antenas</b>	Mínima	Media	Alta	Alta
<b>Canalización (Khz)</b>	25	12,5	12,5	25 / 200
<b>Alcance típico (base-móvil)</b> (h base = 30 m; P = 20 W)	30 Km	20 Km	10 Km	4 Km

### A.3. Clases de canales de comunicaciones móviles (2)

El uso de un canal está vinculado al tipo de operación, por lo que se suele hablar indistintamente de un concepto o del otro. Vamos a presentar aquí las características

específicas y particularidades de los tres tipos de explotación móvil mencionados anteriormente:

### A.3.1. Canales simplex

Los canales simplex a una frecuencia utilizan la misma frecuencia  $F1$  para cada sentido de transmisión. La transmisión y la recepción se efectúan en forma secuencial, en un sentido cada vez. Cuando se pulsa el mando pulsar para hablar PTT (Push To Talk) de la estación radioeléctrica, el conmutador de antena conecta el transmisor a la antena y desconecta el receptor de ésta. Como solamente se utiliza una frecuencia, las transmisiones son del tipo línea compartida (party-line) y cualquier equipo puede oír y hablar con cualquier otro dentro de la zona de cobertura mutua.

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, derivando en problemas de bloqueo por interferencias cocanales o interferencias por canales adyacentes, lo cual hace que no se tenga un aprovechamiento del espectro radioeléctrico, dada la separación de 4 a 5 Mhz de las frecuencias para evitar dichos bloqueos.

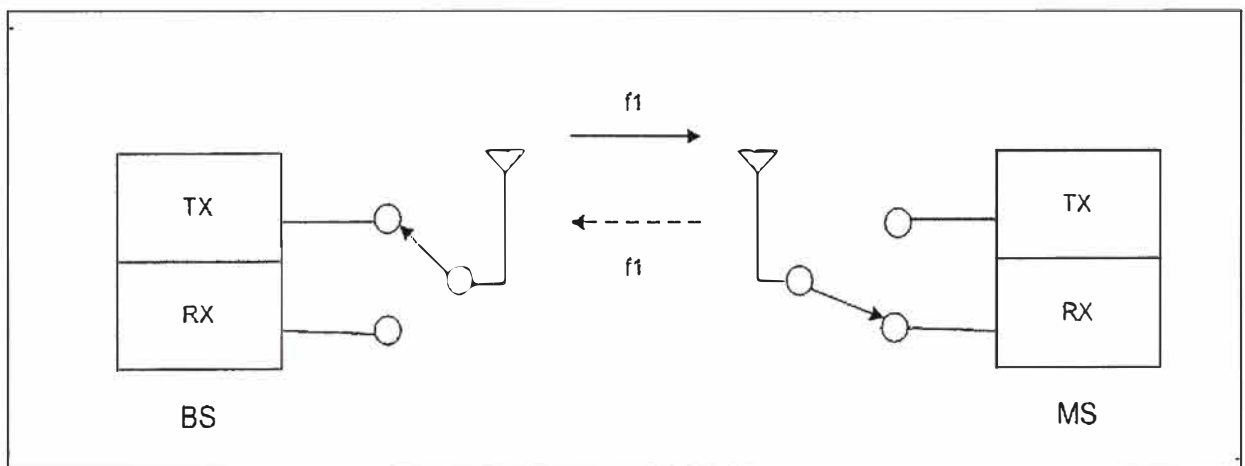


Fig. A.2 Simplex a una Frecuencia

Los canales simplex a dos frecuencias, utilizan dos frecuencias, separadas entre si de 4 o 5 Mhz, separación que evita los problemas de bloqueo. En las estaciones base se utiliza una pareja de frecuencias, donde la frecuencia alta es usada para la transmisión y la baja para recepción. Estos sistemas permiten una utilización más eficaz del espectro radioeléctrico.

Sin embargo, un inconveniente de este sistema es que los móviles ni oyen a otro móviles ni pueden hablar entre sí, sólo pueden hacerlo con la base.

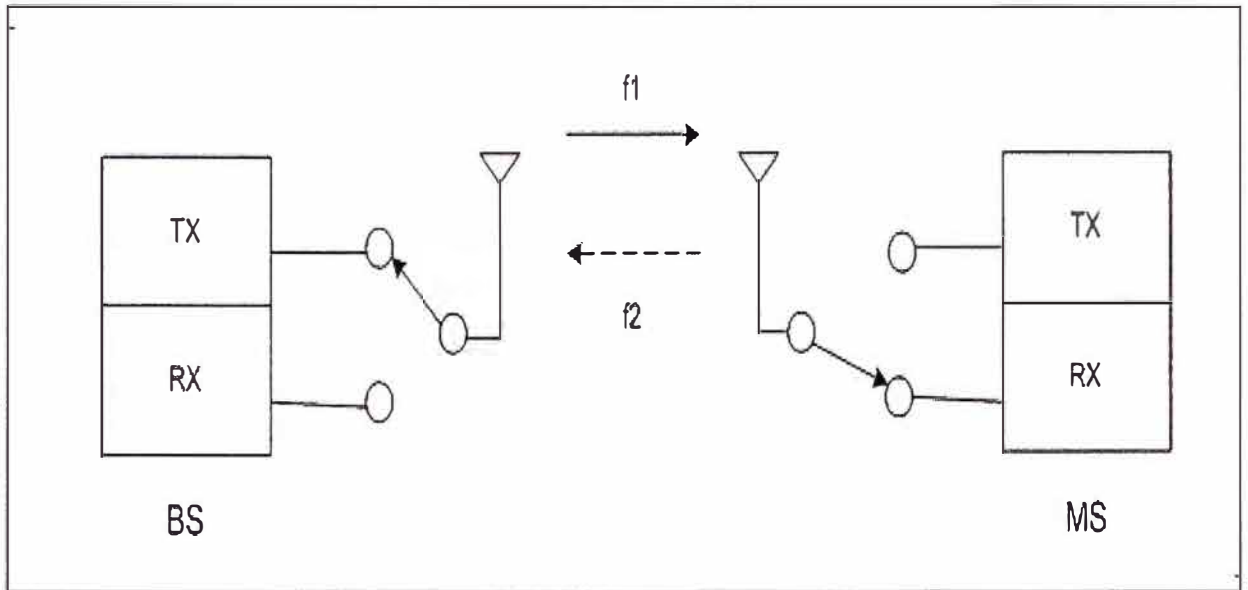


Fig. A.3 Simplex a dos Frecuencias

### A.3.2. Canales semidúplex

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).

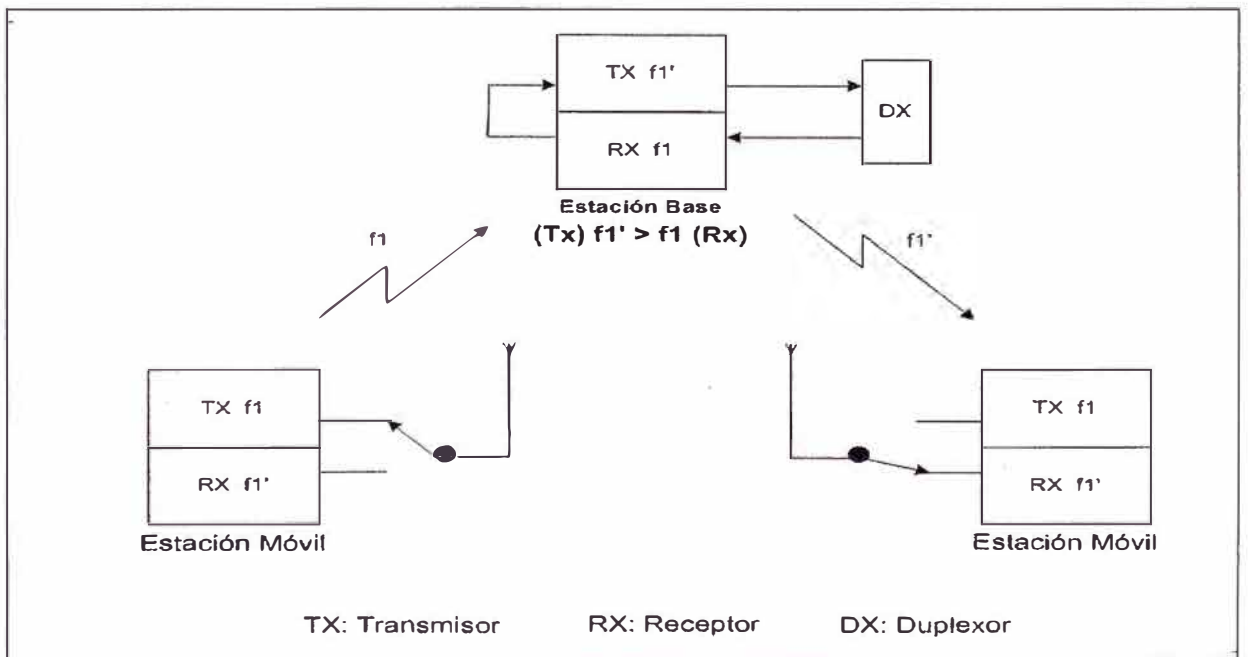


Fig. A.4 Semiduplex



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

El duplexor (DX) de la estación base, permite la utilización de una sola antena para transmisión y recepción simultáneas.

### A.3.3. Canales dúplex (full dúplex)

En estos sistemas tanto base como los móviles disponen de duplexores para permitir la recepción y transmisión simultáneas. Con estos sistemas se requiere un radiocanal (pareja de frecuencias) diferente para enlazar cada móvil con la estación base, la cual debe ser multicanal, es decir, constar de tantos transmisores-receptores (transceptores) como radiocanales se hayan establecido. En estos sistemas tampoco es posible la comunicación directa móvil-móvil sin pasar por la base. A fin de que el duplexor funcione satisfactoriamente, se requiere una separación de frecuencias mayor o igual a 3Mhz. En los sistemas privados (PMR) no se utiliza esta modalidad de funcionamiento dúplex debido al coste adicional que supone el empleo de los duplexores y al mayor gasto de frecuencias.

Sin embargo, en las redes PLMN es obligado su empleo, ya que el sistema telefónico básico por línea funciona en dúplex. La separación de frecuencias dúplex en estos sistemas es fija, lo cual simplifica el diseño de los sintetizadores de frecuencias de los equipos.

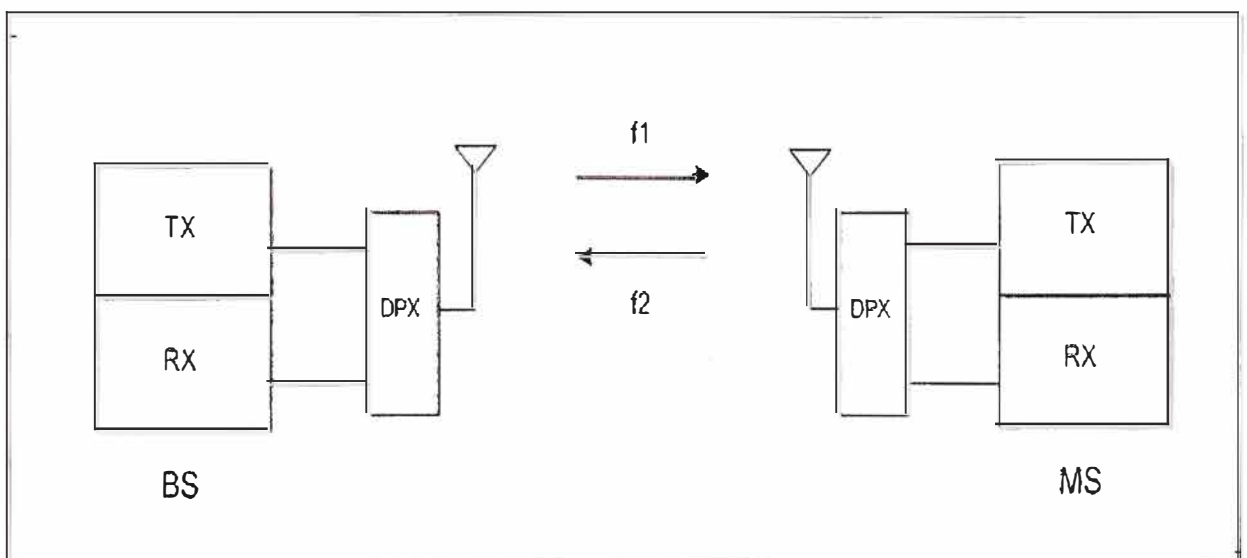


Fig. A.5 Duplex

ANEXO B  
CONCEPTO DE ACCESO MÚLTIPLE (3)

### CONCEPTO DE ACCESO MÚLTIPLE (3)

Las comunicaciones móviles presentan una característica diferencial respecto a otros sistemas de comunicaciones que puedan tener una asignación exclusiva y dedicada de recursos. Muy al contrario, los sistemas móviles se caracterizan por la existencia de una serie de recursos compartidos entre los usuarios del sistema, y por cuya utilización contienden.

El medio utilizado para la propagación de los sistemas móviles es el aire, espacio conocido como libre. Para proporcionar un adecuado soporte al sistema, deberemos coordinar el denominado acceso al medio, es decir, el uso de este medio compartido.

La forma en que se suele abordar este problema es por medio de la división de la interfaz común aire en lo que llamaremos canales físicos, que no son ni más ni menos que aquellas facilidades concedidas a los usuarios para que accedan al recurso común y compartido, es decir, el aire.

Sobre estos canales físicos se definen los canales lógicos, que son las utilidades concretas que se hacen de los canales físicos de acuerdo con un cierto protocolo o estándar de comunicaciones con el fin de conseguir la comunicación coordinada e inteligente de los elementos del sistema.

Refiriéndonos a los canales físicos, las técnicas de multiacceso son los procedimientos de acceso al medio, que se usarán de acuerdo con los criterios establecidos por un cierto canal lógico.

La enumeración tradicional de los métodos de acceso al medio es:

- FDMA, Frequency Division Multiple Access, o acceso al medio por división en frecuencia donde la compartición de recursos viene caracterizada por la asignación de diferentes frecuencias espectrales a diferentes usuarios. Todos los usuarios transmiten en los mismos instantes de tiempo, pero en frecuencias diferentes.

- TDMA, Time Division Multiple Access, o acceso al medio por división en tiempo, donde la compartición del medio se realiza a través de una asignación de intervalos de tiempo (Time Slots o TSs) a los distintos usuarios. Todos los usuarios transmiten en las mismas frecuencias, pero en diferentes instantes de tiempo.
- CDMA, Code Division Multiple Access, o acceso al medio por división en código, donde el modo de acceso al medio viene marcado por la asignación de códigos únicos y ortogonales a los usuarios. Todos los usuarios transmiten en las mismas frecuencias y al mismo tiempo, pero afectados por códigos diferentes.
- GDMA, Geographical Division Multiple Access, o acceso al medio por separación geográfica. Tradicionalmente no se ha hablado nunca de este método de acceso, sino que se le ha venido tratando dentro de lo que conocemos como planificación celular. , Está íntimamente ligado con la coordinación de frecuencias en la planificación de sistemas celulares.

Al igual que ocurre con las técnicas de modulación, no todo está inventado en este ámbito. Si bien las técnicas mencionadas son las clásicas, continuamente aparecen estudios técnicos con propuestas novedosas.

Cabe recordar también que estas técnicas de multiacceso no son totalmente independientes de las técnicas de modulación (Anexo C). Así por ejemplo es habitual encontrar las modulaciones analógicas asociadas a FDMA, y las digitales a TDMA y CDMA. Al mismo tiempo, es muy común también combinar estas técnicas de multiacceso, como por ejemplo la combinación de FDMA y TDMA como consecuencia de la necesidad de la coordinación frecuencial en sistemas digitales TDMA.

➤ **Acceso Múltiple FDMA:**

Esta técnica divide el volumen espectral disponible (ancho de banda) en una serie de canalizaciones de banda estrecha, llamadas radiocanales o portadoras, que serán las que se asignen a los usuarios. Las asignaciones serán del tipo canal por portadora.

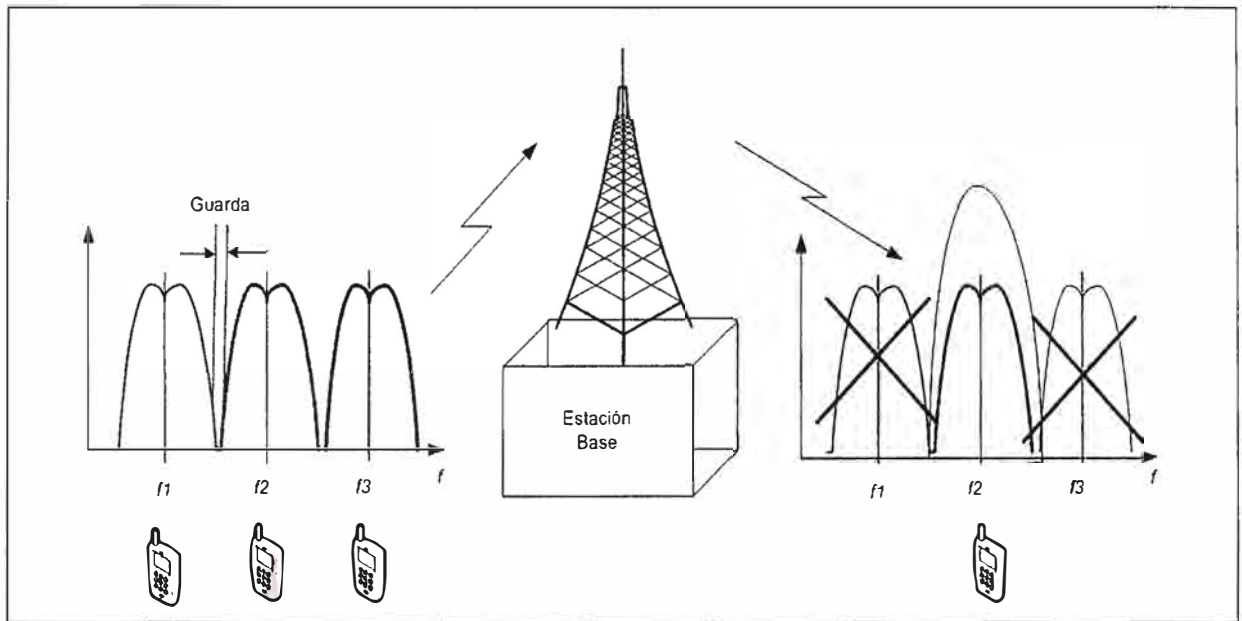


Fig. B.1 Acceso múltiple FDMA

La configuración del FDMA es diferente según nos refiramos a los canales ascendentes o descendentes:

- Enlace ascendente, el usuario concentra su información en un canal concreto que el sistema en el caso más general le asigna, por medio de la selección en su transmisor la frecuencia correcta.
- Enlace descendente, donde la red difunde el conjunto de todos los radiocanales, y cada receptor sintoniza mediante un filtro pasobanda la frecuencia que le corresponde.

En contra de lo que pudiera aparecer, el paso del mundo analógico al digital no ha supuesto la desaparición de FDMA, sino su combinación habitual con el TDMA para modulaciones digitales, quedando reservado su uso para la coordinación y planificación frecuencial por medio del uso de los radiocanales.

#### ➤ Acceso Múltiple TDMA:

La técnica de acceso por división en tiempo se aplica a señales digitales y consiste en la asignación de una misma frecuencia compartida en intervalos de tiempo sucesivos y cíclicos a los usuarios del sistema. Básicamente el TDMA consigue una apariencia de continuidad en la asignación y uso de un recurso frecuencial, que realmente está temporalmente repartido entre múltiples usuarios.

Así pues, mientras que en FDMA cada móvil tiene asignada en exclusiva una frecuencia, ocurre que ahora esta frecuencia es compartida, interrumpiendo la transmisión

constantemente para dar paso a la comunicación siguiente en la sucesión de usuarios con comunicaciones en marcha. Véase por ello que lo que tenemos es un sistema en que aunque para el usuario presenta una apariencia de tener un recurso siempre a él asignado en exclusiva, la realidad es que el recurso se va alternando entre varios a una velocidad lo suficientemente alta como para que el efecto no pueda apreciarse. Aparecen de este modo las necesidades adicionales de memoria en el sistema capaces de almacenar la comunicación del usuario hasta que ésta sea requerida para su transmisión.

Al mismo tiempo, el sistema debe poseer un mecanismo de direccionamiento capaz de distinguir a los usuarios, así como de sincronización para que cada terminal pueda determinar cuál es el momento en que le toca acceder al recurso compartido.

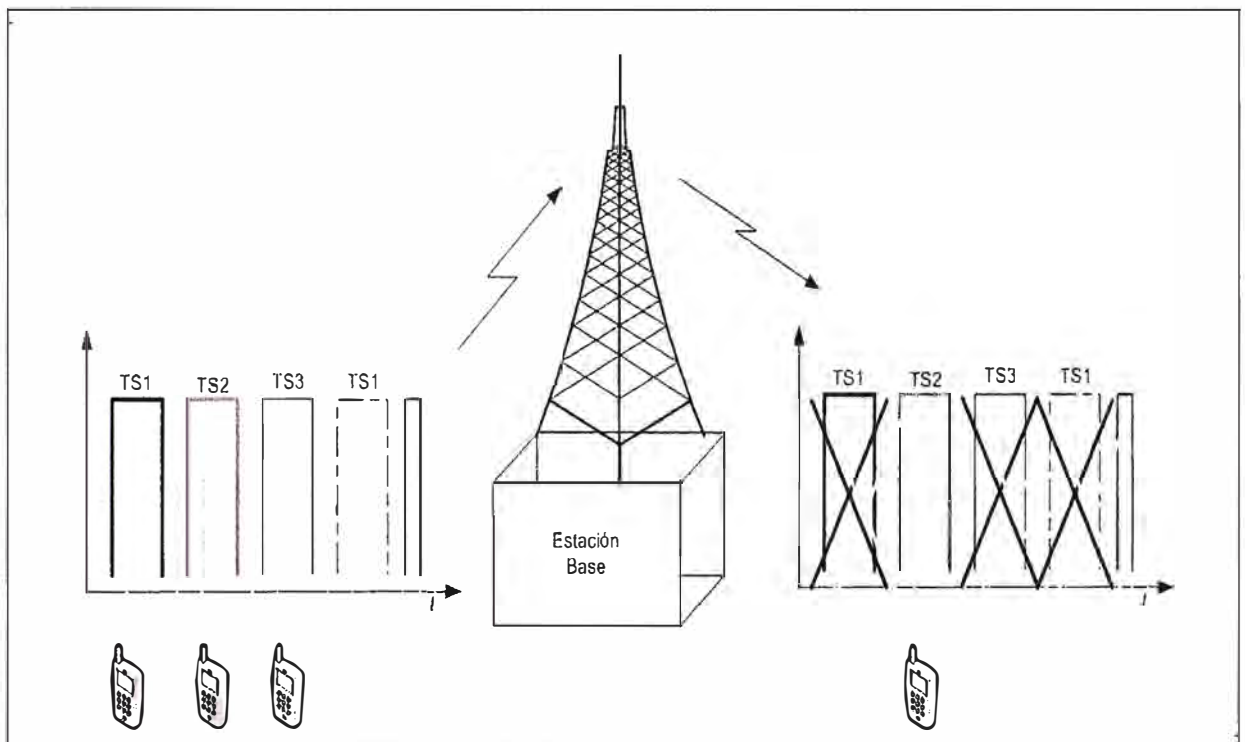


Fig. B.2 Acceso múltiple TDMA

Si ahora nos centramos en la operativa de transmisión, ésta se organiza en torno a tramas de duración temporal  $T_f$ , siendo esta una sucesión de  $N$  intervalos de tiempo asignados cada uno a un terminal. La duración de un intervalo, por tanto será de  $T = T_f / N$ , y este es el tiempo en que el terminal puede acceder al medio para transmitirse información. En este tiempo  $T$  debe transmitir toda la información que tenía almacenada para el envío, en forma de un tren de bits denominado ráfaga o burst. Lógicamente, el tiempo asignado a esta

ráfaga no es todo de aprovechamiento para la transmisión, pues la circuitería del transmisor necesita un tiempo para disponerse al nivel adecuado de potencia, así como un tiempo al final de la comunicación para disminuir la potencia a cero y no interferir con la comunicación siguiente. Con todo, no todo el tiempo de la ráfaga es tiempo útil para la transmisión.

Un comentario adicional se puede realizar en torno al hecho de que los instantes de comienzo de ráfaga son fijos e igualmente espaciados para la escala temporal del sistema. Sin embargo, la separación entre estos mismos instantes de transmisión para un usuario móvil no tienen por qué ser siempre equiespaciados en el tiempo, porque la movilidad de los usuarios hace que su distancia respecto de la estación base del sistema no sea la misma. En TDMA redefinen, por tanto, unos conceptos básicos, ver Fig. B.3, según:

- Trama, ciclo periódico de acceso de los  $N$  usuarios a los recursos compartidos. Su duración, para un intervalo de tiempo de valor  $T$ , suele ser inferior al producto  $N \times T$ .
- Periodo Trama, duración temporal de la trama.
- Intervalo de Tiempo o Time Slot, duración temporal de la ventana o temporización de acceso individual. En el ejemplo anterior,  $T$ .
- Ráfaga o Bursts, secuencia de bits transmitida o recibida en el periodo de un intervalo temporal.
- Velocidad del sistema:
  - Velocidad media de escritura, número de bits por usuario en la trama, dividido por el periodo de trama.
  - Velocidad instantánea de lectura, velocidad de transmisión de la información real en el periodo de tiempo en que se transmite.

La técnica TDMA presenta problemas importantes de escalabilidad. En efecto, con el aumento del número de usuarios en el sistema, en base al hecho resaltado anteriormente de que, y siguiendo con el ejemplo, el periodo de trama ( $T_t$ ) sea inferior a  $N \times T$ , por ser  $T_t$  un valor fijo, supone que si el número de usuarios se incrementa demasiado, el tiempo que se les asignaría para transmitir sería muy pequeño y la velocidad instantánea con la que debería transmitir información la fuente sería muy alta, generando con ello señales de ancho de banda muy elevado y donde además podría ocurrir que el tiempo de subida y bajada de los transmisores no pudiera adecuarse a esta velocidad necesaria.

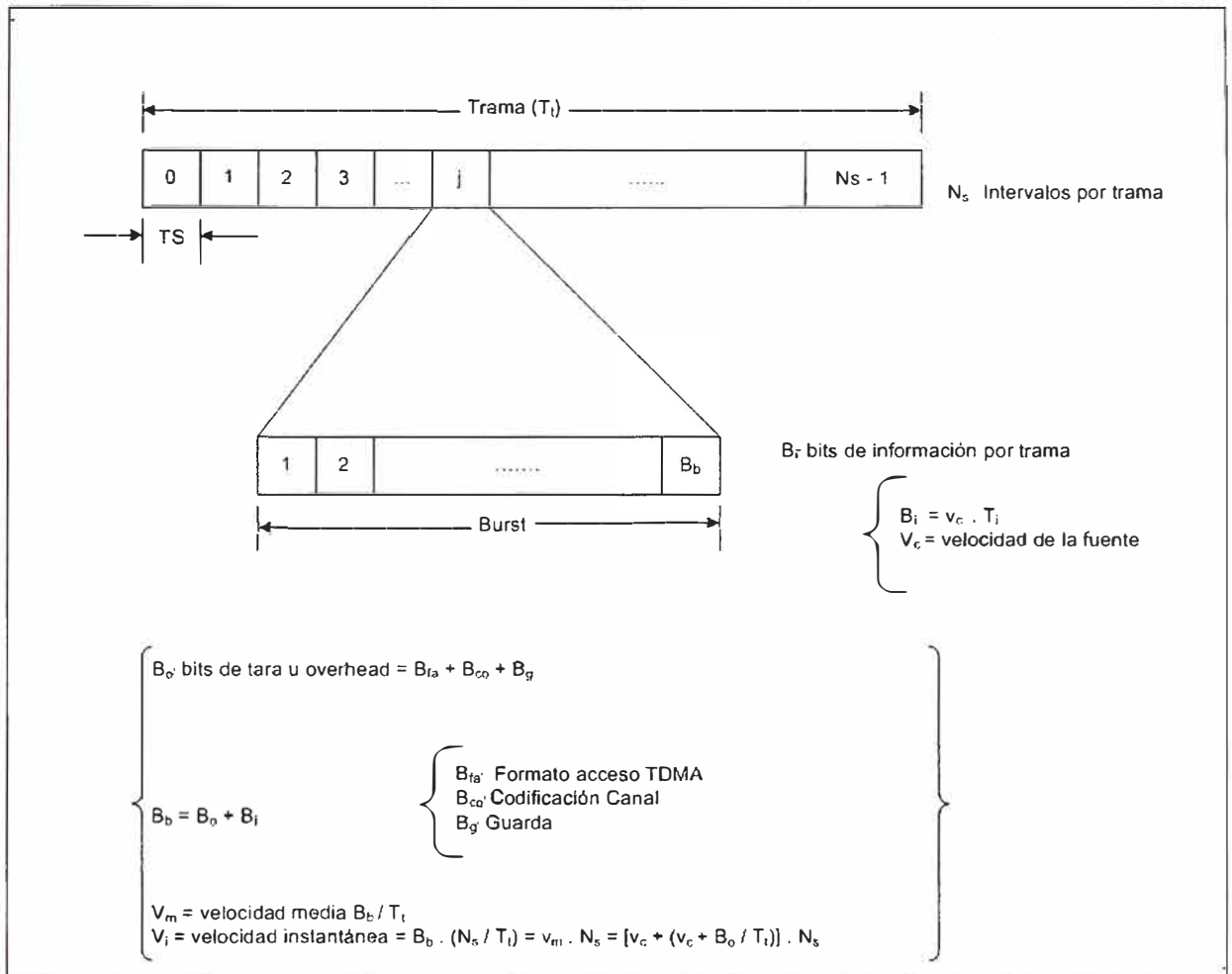


Fig. B.3 Trama TDMA

Para solucionar este problema es para lo que aparece la combinación del FDMA y el TDMA, de modo que con número de intervalos tiempo fijo podamos incorporar más estructuras iguales (es decir, más tramas temporales TDM) en otras frecuencias (FDM).

De este modo llegamos a un compromiso entre el ancho de banda, el tiempo asignado a cada comunicación y la demora entre un intervalo temporal y el intervalo temporal siguiente de la misma conversación que permita a esta comunicación características de tiempo real.

La forma de conseguir con la técnica TDMA canales dúplex es utilizar dos tramas temporales, una trama temporal ascendente dispuesta en un a frecuencia, y otra trama temporal descendente en otra diferente. Sin embargo, existe la posibilidad de no utilizar esta especie de FDM, de modo que simplemente con una trama temporal se implementen los canales ascendentes y descendentes, reservando los primeros intervalos para la



comunicación en un sentido, y los siguientes para la comunicación en otro. Es lo que se conoce como dúplex por división temporal (TDD o Time Division Duplex).

Las técnicas TDMA han tenido una aceptación sin precedentes entre los sistemas móviles de segunda generación. La tecnología digital, combinada con las canalizaciones FDM, hace que los sistemas GSM y TETRA, por ejemplo, utilicen FDM/TDMA en la asignación de sus canales.

ANEXO C  
CONCEPTO DE MODULACIÓN (3)

### CONCEPTO DE MODULACIÓN (3)

El concepto de modulación consiste en la práctica en varias características de una señal portadora de acuerdo con las características de otra señal denominada moduladora, y que es básicamente la que transporta la información de interés.

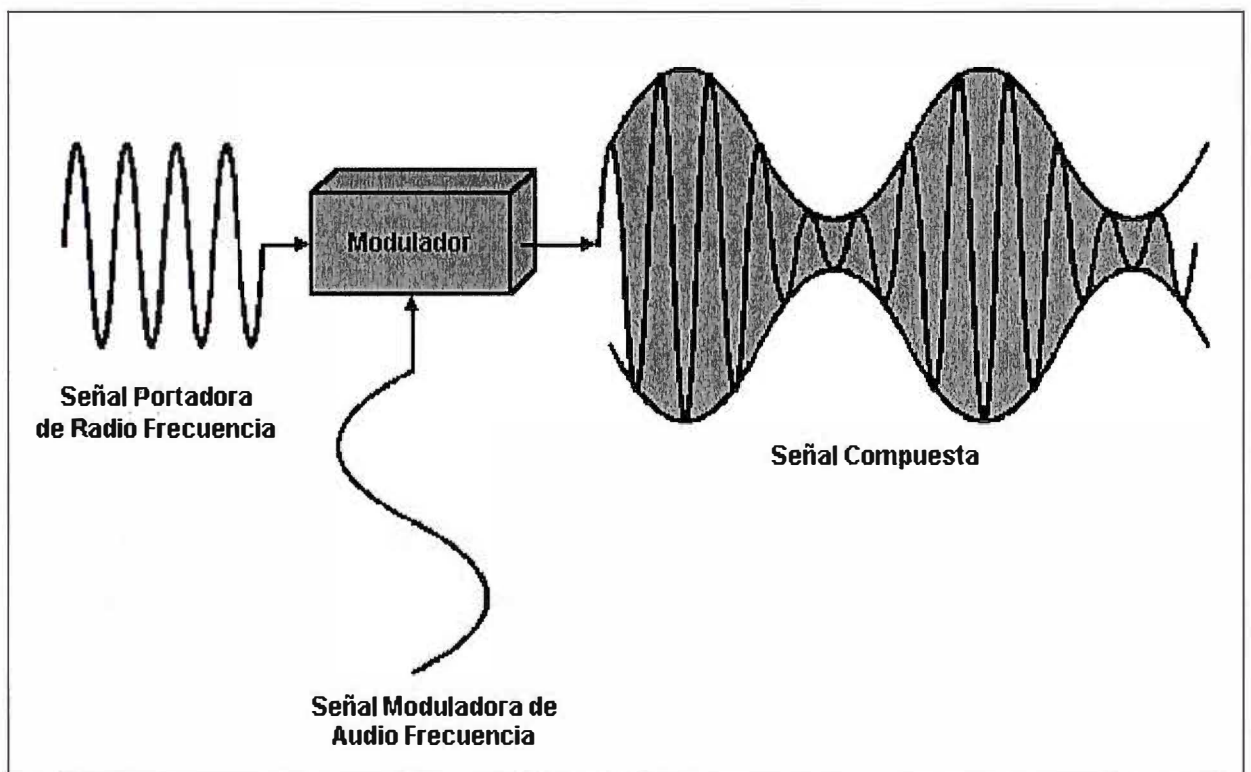


Fig. C.1 – Modulación de señal

En la Fig. C.1, se puede observar que la señal portadora es modificada basándose en la amplitud de la señal moduladora y la señal resultante es la que se muestra en el lado derecho de la figura.

Los sistemas de modulación empleados en comunicaciones móviles dependen de la técnica de multiacceso utilizada. Ya se ha visto que TDMA y CDMA requieren señales digitales por lo que las modulaciones también han de ser del tipo digital y además de banda ancha.

Por otro lado en comunicaciones móviles debido a la intensa utilización de las escasas frecuencias disponibles, es posible que puedan estar relativamente próximos transmisores que funcionen en canales adyacentes, por lo que la radiación de estos canales debe mantenerse en niveles reducidos para minimizar las interferencias (2).

En los sistemas digitales la limitación de espectro implica la necesidad de trabajar con velocidades de bits reducidas, lo cual obliga a la utilización de codificadores / decodificadores (codecs) de voz perfeccionados de baja velocidad binaria y restringe las velocidades de transmisión de datos. Como las señales digitales puras tienden a producir espectros de modulación con colas de cierta intensidad, para atenuarlas sin producir excesiva radiación en canales adyacentes, se somete la señal digital a un filtrado previo a la modulación. Ello implica una cierta interferencia intersimbólica que debe de compensar el ecualizador del receptor (2).

Muchos son los propósitos de las modulaciones, entre ellos:

- Reutilización del medio de transmisión, fundamentalmente mediante el uso de técnicas de multiacceso en frecuencia y en código. Este aspecto es fundamental de cara a poder hacer que muchos usuarios se puedan comunicar simultáneamente por un medio compartido como es la interfaz aire.
- Adaptación de la señal al medio en la transmisión de la señal de comunicaciones, pues éste presenta diferentes características según la frecuencia y entorno (analógico, digital, amplitudes constantes, frecuencias variables, etc.) en que lo estudiemos.
- Creación de formas de señal que consigan aspectos como mayores velocidades de transmisión o mayor robustez en la propagación.

La naturaleza de las modulaciones analógicas y digitales es diferente. En concreto, el aspecto que más evidente hace este hecho es el parámetro que se utiliza para la medición de sus calidades. Las primeras se tratan en relación con su calidad representada en función de la relación señal a ruido (S/N) y las segundas en relación con su tasa de errores de bit (BER o Bit Error Rate).

De los diferentes tipos de modulación digital, profundizaremos la modulación de fase (PSK) y sus variantes.

### C.1. Modulaciones de Fase ("PSK o Phase Shift Keying)

El concepto de modulación digital de fase sigue siendo el mismo que en las modulaciones analógicas. La información se transportará en la fase de la señal modulada.

Las modulaciones PSK presentan también muchas variantes más allá de los dos estados típicamente codificados, el 0 y el 1.

Bits y símbolos:

Este es el momento de hacer una reflexión sobre los bits y los símbolos, así como entre la velocidad de bit y la velocidad de símbolo, lo que los anglosajones denominan el bit rate y el symbol rate.

Es muy habitual, a fin de aumentar las velocidades de transmisión sin incrementar los anchos de banda utilizados, la estrategia de codificación de varios bits en un símbolo. De este modo conseguimos que en el tiempo que estamos transmitiendo algo, ese algo en vez de ser un bit sea un símbolo, que no es otra cosa que un conjunto de bit. Es decir, más bit en el mismo espacio de tiempo. Es aquí donde se habla de velocidad de bit frente a velocidad de símbolo. La relación entre estas dos magnitudes es:

$$\text{Velocidad de símbolo} = (\text{Velocidad de bit}) / (\text{Número de bits por símbolo})$$

En la Fig. C.2, se observa el caso más simple de modulación PSK que consiste en que los valores binarios 0 y 1 les asignemos estados de fase 0 y 180°. Esta forma de modulación es la denominada PSK binaria (BPSK o Binary PSK).

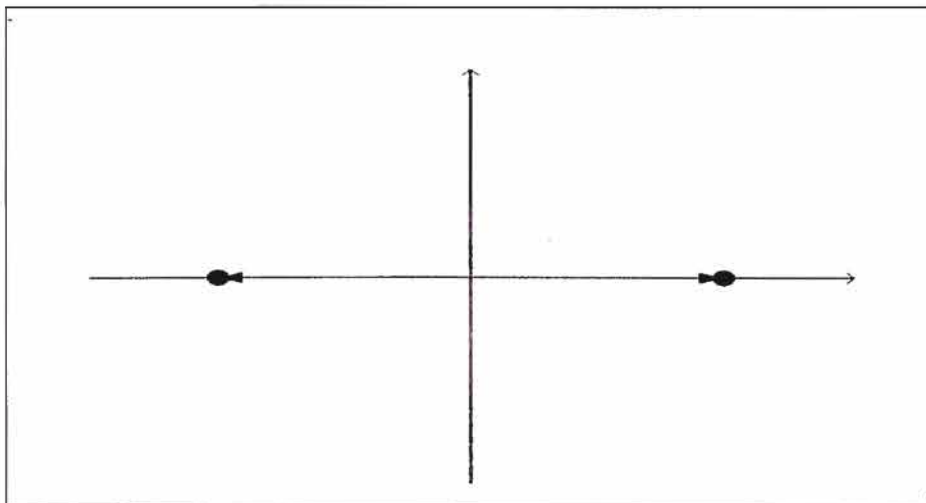


Fig. C.2 BPSK, un bit por símbolo

La detección de la señal se basaría en ver si la fase oportuna está entre  $-90^\circ$  y  $+90^\circ$  para “decidir” la llegada de un 0, o entre  $+90^\circ$  y  $+270^\circ$  para “decidir” un 1. Nótese que la elección de  $0^\circ$  y  $180^\circ$  para representar al 0 y 1 es arbitraria, y que bien podrían haberse tomado otros estados de fase, como el  $-90^\circ$  y el  $+90^\circ$ , o cualesquiera otros que estuvieran equiespaciados (3).

Parece claro que podríamos aprovechar más la constelación de “grados” que nos ofrece el plano, y el siguiente paso que se nos puede ocurrir es utilizar cuatro posiciones en el plano (Fig. C.3), constituyendo cada una un símbolo, de modo que cada símbolo estuviera compuesto de dos bits que sería la información transportada en cada símbolo, es decir, en cada estado de fase. Esta forma de modulación es la denominada PSK cuaternaria (QPSK o Quaternary PSK) (3).

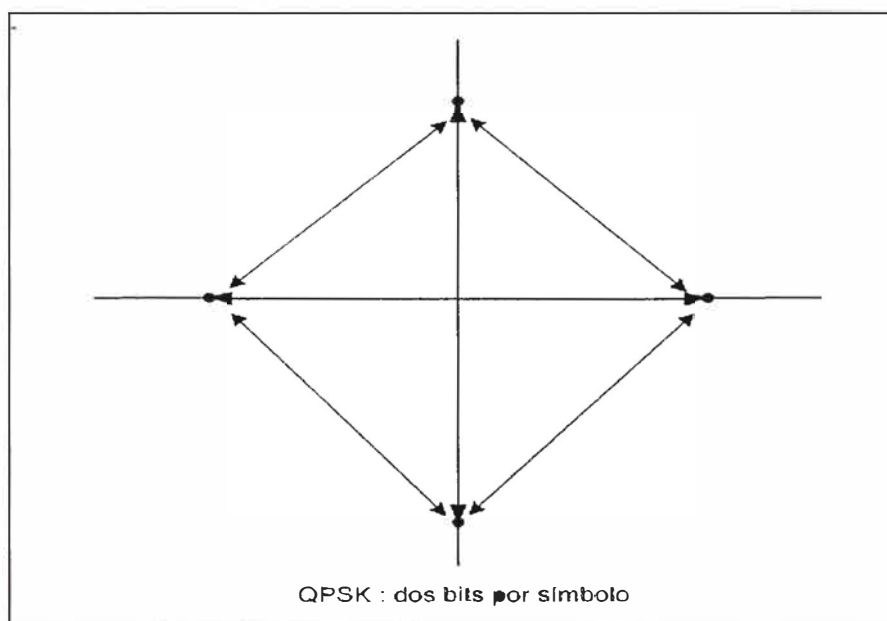


Fig. C.3 Posiciones de fase de los símbolos QPSK

### C.1.1 Modulación QPSK diferencial $\pi/4$ ( $\pi/4$ -DQPSK o $\pi/4$ -Differential QPSK)

Este esquema de modulación se caracteriza por el hecho de que la fase no es absoluta, sino establecida como diferencial con respecto a la anterior. Además, a toda la señal se aplica un desplazamiento de  $\pi/4$ . Es decir, en los díbits (pareja de bits) pares se utiliza una constelación y en los impares otra, desplazadas una distancia angular de  $45^\circ$  (3).

Esta modulación es un compromiso entre la QPSK clásica y la OQPSK (off-set-QPSK). En la primera, las posibles transiciones de fase  $\pi$  radianes originan lóbulos laterales importantes, por lo que no es adecuada para aplicaciones móviles de banda limitada. En OQPSK se elimina este efecto, pero tiene el inconveniente de que se requiere una demodulación coherente, lo que complica el diseño del receptor y la operación del sistema móvil. Por todo esto, para aplicaciones móviles se ha elegido la modulación diferencial de fase que permite una demodulación simple y soporta bien las perturbaciones del canal radio móvil tales como el efecto Doppler y el desvanecimiento Rayleigh. En modulación  $\pi/4$ -DPSK a cada pareja de bits (dibit) le corresponde una transición de fase, como se indica en la tabla C.1 (2).

TABLA N° C.1 Transición de Fase - Dibit

DIBIT		TRANSICIÓN DE FASE
0	0	0
0	1	$\pi/2$
1	1	$\pi$
1	0	$-\pi/2$

Como se observa en la Fig. C.4, en la modulación  $\pi/4$ -DQPSK, la adición del incremento de  $\pi/4$  equivale a un giro de la constelación para los dibits pares (+) e impares (-), con lo que, de hecho, la constelación pasa a ser de 8 estados o niveles, con las transiciones indicadas.

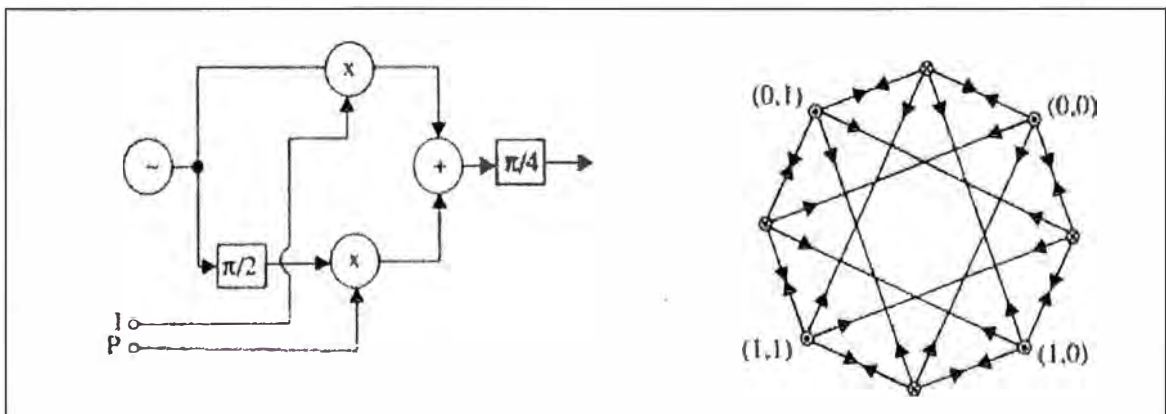


Fig. C.4 Modulación  $\pi/4$ -DQPSK

Para suavizar las transiciones de fase, la señal digital se somete a una premodulación utilizándose un filtro pasa bajo con un a función de transferencia cuyo módulo es de tipo

ANEXO C  
ACRÓNIMOS



## ACRÓNIMOS

BER	Bit Error Rate.
CDMA	Code Division Multiple Access.
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying.
DMO	Direct Mode Operation.
ETSI	European Telecommunications Standards Institute.
ETR	ETSI Technical Report.
ETS	European Telecommunication Standard.
FDMA	Frequency Division Multiple Access.
FM	Frequency Modulated.
GDMA	Geographical Division Multiple Access.
GOS	Grade Of Service.
GPS	Global Positioning System.
GSM	Global System for Mobile Communications.
ISDN	Integrated Services Digital Network.
IP	Internet Protocol.
MDTRS	Mobile Digital Trunked Radio System.
MoU	Memorandum of Understanding.
PAMR	Radio Móvil de Acceso Privado.
PABX	Private Automatic Branch Exchange.
PBX	Private Branch Exchange.
PMR	Private mobile Radio.
PSK	Phase Shift Keying.
PSTN	Public Switched Telephone Network.
PDN	Packet Data Network.
PTN	Public Telephone Network.
PTT	Push To Talk.
RFC	Raised Filter Cosine.

RTPC	Red de Telecomunicaciones Pública Conmutada.
RPT	Red Pública de Telefonía.
SwMI	Switching and Management Infraestructure.
SMS	Short Message Service.
SPC	Control por Programa Almacenado.
TETRA	Terrestrial Trunked Ratio
TDMA	Time División Múltiple Access.
TDD	Time Division Duplex.
TMO	Trunked Mode Operation.
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
UHF	Ultra High Frequency.
UMTS	Universal Mobile Telecommuniactions System.
VHF	Very High Frecuency.
V + D	Voice plus Data.

ANEXO E  
GLOSARIO

## GLOSARIO

**ABONADO:** Persona natural o jurídica usuaria, bajo contrato, de una red pública de telecomunicaciones, a la cual tiene derecho a acceder para establecer sus comunicaciones.

**ANALÓGICO:** Método de transmisión de señales en la cual la información se transmite alterando de manera continua la forma de ondas de la corriente electromagnética. Comparando con la transmisión digital, que se caracteriza por pequeños bits de información en etapas numéricas.

**ANCHO DE BANDA:** El ancho de banda es la cantidad de información que una determinada conexión es capaz de soportar (enviar y recibir), la máxima cantidad de datos que pueden pasar por un camino de comunicación en un momento dado, normalmente medido en segundos. Cuanto mayor sea el ancho de banda, más datos podrán circular por ella al segundo.

**BER:** Tasa de error de bit. Relación de bits recibidos con error respecto a los bits enviados.

**BPS:** Es una abreviación de "bits per second" (bits por segundo), una medida de la velocidad a la cual son transmitidos los datos. Bps se utiliza normalmente para describir la velocidad de los modems o la velocidad de una conexión digital.

**CANAL:** Ruta de transmisión de comunicaciones a través de cualquier clase de medio de transmisión: cable conductor, radio, fibra óptica o de cualquier otro tipo.

**ERLANG:** Medida adimensional usada para describir la cantidad de tráfico cursado a través de un circuito en una hora. Erlang significa; "horas de tráfico por hora".

**FRACILES** : En una distribución de frecuencias. Están basados en los diferentes porcentajes (%) en que pueden dividirse el número total de datos de la muestra o población. Los fractiles tienen nombres especiales, dependiendo del número de partes iguales en que se dividen los datos, siendo estos: Cuartiles (dividen los datos en cuatro partes iguales), Deciles (dividen a todos los datos en diez partes iguales) y Percentiles (dividen el conjunto de datos en 100 partes iguales).

**ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO:** Es el conjunto de todas las frecuencias de emisión de los cuerpos de la naturaleza. Comprende un amplio rango que va desde ondas cortas (rayos gamma, rayos X), ondas medias o intermedias (luz visible), hasta ondas largas (las radiocomunicaciones actuales).

**ISDN:** Es la sigla de Integrated Services Digital Network o Red Digital de Servicios Integrados (RDSI o ISDN en inglés), es una red que procede por evolución de la red telefónica existente, que al ofrecer conexiones digitales de extremo a extremo permite la integración de multitud de servicios en un único acceso, independientemente de la naturaleza de la información a transmitir y del equipo terminal que la genere.

**GPS:** El Sistema GPS (Global Positioning System) o Sistema de Posicionamiento Global, es un sistema de posicionamiento terrestre. La posición la calculan los receptores GPS gracias a la información recibida desde satélites en órbita alrededor de la Tierra. Consiste en una red de 24 satélites, propiedad del Gobierno de los Estados Unidos y gestionada por el Departamento de Defensa, que proporciona un servicio de posicionamiento para todo el Globo Terrestre.

**GSM:** Sistema Global para Comunicaciones Móviles (por sus siglas en inglés GSM) es una tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) que presta servicios de voz de alta calidad, así como servicios de datos conmutados por circuitos en una amplia gama de bandas de espectro, entre ellas las de 850, 900, 1800 y 1900 MHz.

**INTEROPERABILIDAD:** Es la condición mediante la cual sistemas heterogéneos pueden intercambiar procesos o datos.

**MIGRACIÓN:** Movimiento de usuarios y distribución de servicio desde redes de telecomunicaciones ya existentes a redes nuevas.

**MODULACIÓN:** Modificación de alguno de los parámetros que definen una onda portadora (amplitud, frecuencia, fase), por una señal moduladora que se quiere transmitir (voz, música, datos).

**PLMN:** Siglas de Public Land Mobile Network (Red Móvil Terrestre Pública). Una red establecida y operada por una administración con la finalidad específica de proveer servicios móviles.

**PROTOCOLO INTERNET:** Protocolo del nivel de red, según el modelo OSI, del conjunto de protocolos TCP/IP.

**QOS:** Calidad de Servicio. Nivel de prestaciones de una red, basado en parámetros tales como velocidad de transmisión, nivel de retardo, rendimiento, horario, ratio de pérdida de paquetes.

**RED PRIVADA:** Red de un único usuario. Los medios de transmisión y conmutación pueden ser de su propiedad o en régimen de alquiler.

**SMS:** Siglas de Short Message Service. SMS es la tecnología que permite mandar mensajes de texto y recibirlos a través de teléfonos móviles, máquina de fax y/o direcciones IP. Los mensajes no deben superar los 160 caracteres alfanuméricos y no contener imágenes gráficas.

**TERMINAL:** El equipo que conecta al usuario final con la red.

## BIBLIOGRAFÍA

1. José Manuel Huidobro Moya, “Comunicaciones móviles”, Paraninfo - España, 2002.
2. José María Hernando Rábanos, “Comunicaciones móviles”, 2da edición, Editorial Centro de estudio Ramón Areces S.A., 2004.
3. Alberto Sendin Escalona, “Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles: evolución y tecnologías”, McGraw-Hill, 2004.
4. Eugenio Rey, “Telecomunicaciones móviles”, 2da edición, Alfa Omega Grupo editor S.A. Serie Mundo Electrónico, 1999.
5. <http://d.scribd.com/docs/1100da10qh3qdtvhflql.pdf>, 20090131
6. José Manuel Huidobro Moya, “Sistemas de telefonía”, 4ta edición, Thomson editores Spain Paraninfo S.A., 2002.
7. <http://d.scribd.com/docs/1100da10qh3qdtvhflql.pdf>, 20090131
8. [http://es.wikipedia.org/wiki/Central\\_telef%C3%B3nica](http://es.wikipedia.org/wiki/Central_telef%C3%B3nica), 20090131
9. INICTEL, “Operación y mantenimiento de centrales telefónicas digitales privadas”, manual de capacitación, 2007.
10. <http://www.sincompromisos.com/Documentos/Telefonia-Fija/telefonía4b.pdf>, 20090103.
11. [http://www.rares.com.ar/albums/1\\_Manual\\_de\\_Telecomunicaciones\\_2000/108%20Commutacion%20telefonica.pdf](http://www.rares.com.ar/albums/1_Manual_de_Telecomunicaciones_2000/108%20Commutacion%20telefonica.pdf), 20090110.
12. J.M. Hernando y M. Montero del Pino, “El sistema Tetra: Servicios y configuración – parte 1, Multiacceso y señalización - parte 2”, Mundo Electrónico Junio 1998/287/288.
13. <http://www.tetramou.com>, 20090306.
14. ETSI ETR 300-1, “Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Designers’ guide, part 1: Overview, technical, description and radio aspects”, May 1997.

15. Francisco Barceló Arroyo – Javier Jordán Parra, “Telefonía móvil Caracterización de las conexiones”, Alfaomega grupo editor S.A., 2002.
16. Luis Pérez Bermejo, “Radiocomunicaciones: el estado del arte”, Revista Antena de Telecomunicación, Marzo 2008.
17. Francisco Barceló Arroyo, “Tráfico de telefonía móvil: caracterización e implicaciones del tiempo de ocupación del canal”, Tesis Escola Tecnica Superior D’Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona.
18. Francisco Barceló – Joseph Paradells, “Evaluación de sistemas de telefonía móvil de grupo cerrado”, VIII Jornadas de I+D en Telecomunicaciones (TELECOM I+D’98), Madrid, Octubre 1998.
19. ETSI ETR 300-4, “Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Designers’ guide, part 4: Network management”, July 1997.