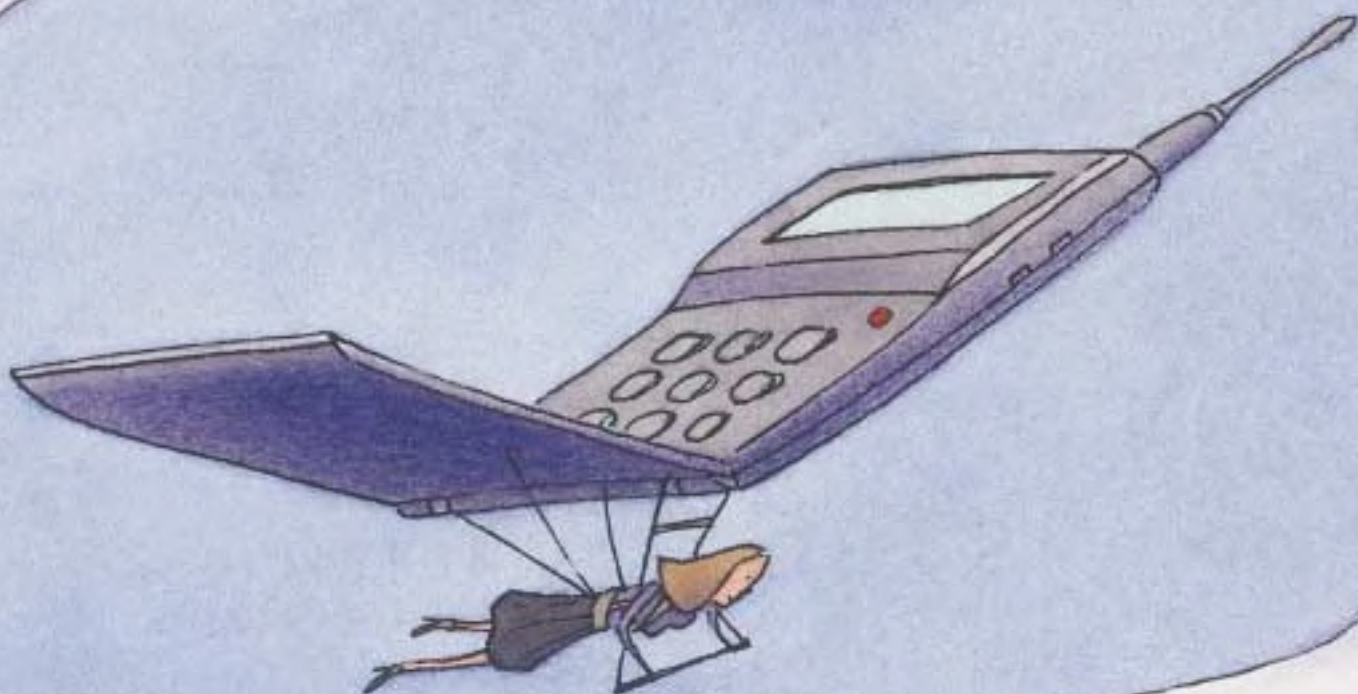


Evolución de los sistemas de comunicaciones móviles terrestres

Miguel Ángel Arcos Díez

La radiotelefonía móvil profesional es anterior a la telefonía móvil, y ha seguido su propia evolución tecnológica para satisfacer las necesidades profesionales específicas



Este artículo pretende dar a conocer la evolución técnica de los sistemas de comunicaciones móviles terrestres en el campo profesional, conocidos como PMR (Private Mobile Radio Communications).

Las comunicaciones profesionales vía radio existían mucho antes de la aparición de la telefonía móvil, que produjo una eclosión y expansión de consumo sin precedentes al alcanzar a toda la población. La radiotelefonía móvil profesional continúa su senda propia, ya que debe satisfacer unas necesidades de comunicación de sectores profesionales muy distintas a las que pueda proporcionar el uso simple del teléfono móvil.

Usuarios típicos de radiotelefonía móvil privada

Los servicios que aporta el PMR se suelen identificar desde sus orígenes con la función de “despacho”, donde los recursos se gestionan desde una base, o despacho, y los intercambios de órdenes y confirmación son continuos y ágiles. El control se efectúa sobre zonas geográficas limitadas y la red de comunicación no está conectada expresamente a la red de telefonía pública.

Origen y factores evolutivos

En 1920 el departamento de policía de Detroit efectuó las primeras pruebas de transmisión unidireccional en la banda de 2 MHz desde una estación base hacia los coches patrulla. A partir de este hecho se produjo una continua mejora de los sistemas de radio, buscando la estabilidad de los emisores y receptores, y en 1940 prácticamente todos los sistemas de la policía de EEUU eran de frecuencia modulada.

La policía realizó la función de vanguardia tecnológica, y posteriormente se extendió a otros tipos de usuarios con una organización operativa similar, tales como servicios de mantenimiento de gas, electricidad y agua, ambulancias, transportes, etc.

Dos son los factores que han marcado la evolución de la radiotelefonía privada debido al incremento continuo de usuarios: la escasez de un recurso físico como son las frecuencias portadoras asignadas en el espectro radioeléctrico, y por otra el incremento continuo de prestaciones requerido por los usuarios.

Escasez de frecuencias

El espacio radioeléctrico en cada país está gestionado por la administración, que asigna unas bandas de frecuencias para cada tipo de usuario radioeléctrico, como por ejemplo los canales de televisión, canales de radio comercial, telefonía móvil, radares, radiotelefonía móvil, microondas y otros.

Desde los orígenes de la radio, a cada grupo de usuarios se asignaba una frecuencia portadora en su zona geográfica de actuación. Al establecerse un límite de frecuencias portadora, limita, por lo tanto, la cantidad de grupos de usuarios que puedan beneficiarse de la radiotelefonía móvil, y muy especialmente en zonas de alta densidad geográfica.

En el caso de la radiotelefonía móvil, y dado su carácter más profesional, se exigió en principio una separación de frecuencias de 25 KHz, lo que suponía hasta 40 canales por cada MHz disponible.

Para mejorar el aprovechamiento de las bandas de frecuencia se presentaron dos vías que han llegado a ser complementarias. Por un lado se disminuyó la separación de canales, que pasó de 25 KHz a 12,5 KHz, ya no sólo para las nuevas frecuencias concedidas, sino que obligó a usuarios con canalizaciones de 25 KHz a migrar a canalizaciones de 12,5 KHz. El beneficio inmediato fue el aumento de canales disponibles por MHz de 40 a 80. La otra vía fue el desarrollo de tecnologías que permitieran la compartición de la frecuencia portadora para varios grupos de usuarios.

Subtonos CTCSS

Para favorecer la compartición de frecuencias portadoras por distintos grupos de usuarios, se implantó el uso de subtonos (CTCSS, *Continuous Tone Code Squelch Signaling*), que son frecuencias por debajo de 300 Hz. El emisor, al emitir señal, debe modular un subtono de forma continua, para que sea decodificado por el receptor. Si el receptor no decodifica el subtono que tiene programado, no debe dar salida a la señal de audio, y no debe escucharse en el altavoz del terminal. Para evitar que se transmitan señales de subtono generadas por la voz humana, se aplica un filtro paso banda en la señal de entrada para eliminar las componentes bajas. De esta forma, la misma frecuencia puede estar compartida por varios grupos de usuarios. Cuando un terminal de un grupo emite el subtono es decodificado por los terminales de su grupo, y el resto de grupos no pueden escuchar. La frecuencia radioeléctrica está en uso y el resto de terminales de otros grupos no la pueden utilizar, debiendo esperar a que finalice el uso de la frecuencia por el equipo emisor.

Otra función que aporta el uso de subtonos es la protección de los equipos receptores ante interferencias radioeléctricas, que puedan ser generadas por cualquier elemento electromagnético.

La lista de frecuencias de subtonos ha evolucionado notablemente y puede variar

según los países. Por ejemplo, las frecuencias de subtono en países latinoamericanos son distintas a las europeas.

En la *figura 1* se puede observar la disposición de grupos de usuarios por subtono asignado.

Selectividad por cinco tonos

Los usuarios requerían unas mayores prestaciones que las aportadas por el simple hecho de hablar en grupo. Se solicitaba además la posible identificación automática del emisor, o también la posibilidad de establecer comunicaciones privadas entre dos terminales del grupo, sin que participara el resto, unido a la posibilidad de generar una llamada al grupo cuando fuera necesario.

La selectividad por cinco tonos consiste en la generación de tonos en la banda audible (300 Hz - 3.300 Hz) de forma secuencial, y con una duración determinada. Por ejemplo, la duración de un tono dentro de la normativa CCIR es de 100 milisegundos. Se dispone de 15 símbolos o frecuencias audibles (números 0 al 9 y letras A, B, C, D y E) para la composición numérica de la secuencia de cinco tonos. A cada símbolo se le asigna una frecuencia, para que pueda ser generada en el emisor y decodificada en el receptor con seguridad. Existen varias normativas de asignación de la frecuencia para cada símbolo y el tiempo de duración. Los más conocidos con CCIR y ZVEI.

El gestor de la red asigna a cada usuario una secuencia de cinco números que lo identifica de forma unívoca. El equipo puede generar esta secuencia cuando inicia la emisión, y es también la secuencia que el terminal va a procesar como llamada recibida cuando la decodifique en recepción. Además, el equipo puede seleccionar el código del terminal destinatario de la llamada y lanzar la llamada, para que el equipo receptor, al decodificarla en recepción, la pueda interpretar como llamada recibida.

La gestión de las secuencias de cinco tonos es lo que va a proporcionar distintas ventajas adicionales en la red, como por ejemplo, llamadas de grupo general o grupo reducido, llamadas prioritarias, de interrogación de presencia del terminal, de cierre de comunicación en curso, etc.

En la *figura 2* se puede observar una disposición de selectividad por cinco tonos.

Redes trunking

Si seguimos con uno de los factores evolutivos del PMR, que es la necesidad de mejorar el uso de la restricción de canales radioeléctricos disponibles, durante los años 80 aparecen las redes trunking.

En la asignación de frecuencias a diversos grupos de usuarios (empresas y servi-

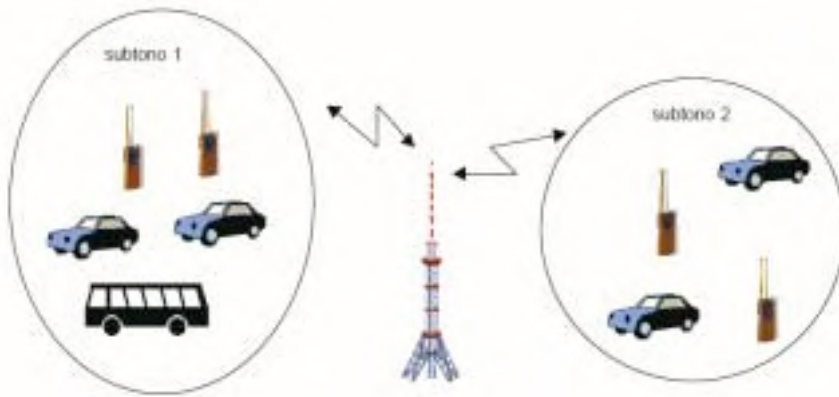


Figura 1. La selectividad por subtono permite agrupar flotas de usuarios compartiendo la misma frecuencia.

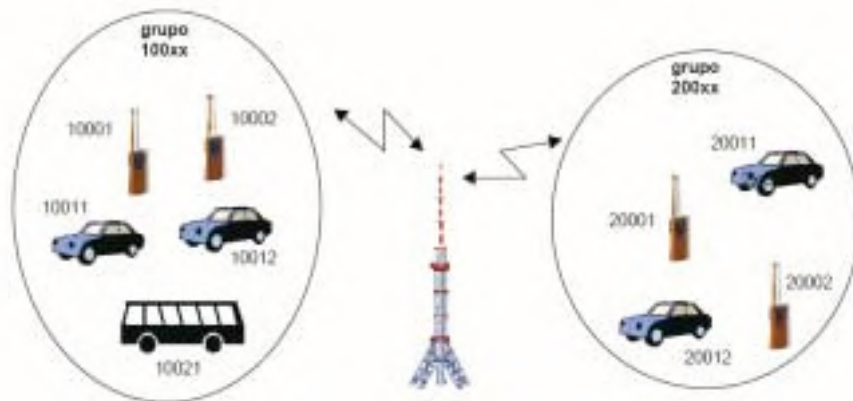


Figura 2. La selectividad por cinco tonos permite agrupar flotas de usuarios, realizar llamadas individuales y de grupo.

cios públicos) aparecían casos en los que el uso real de la frecuencia asignada estaba muy por debajo de lo normal, provocando un bajo rendimiento de un recurso natural escaso, y por lo tanto una pérdida de capacidad de comunicación.

El nuevo sistema trata de utilizar pocas frecuencias de una forma más eficiente. La frecuencia ya no pertenece a un único grupo de usuarios, sino que se disponen una pocas frecuencias portadoras para que las utilicen diversos grupos de usuarios. La frecuencia portadora solo se utiliza cuando se establece una comunicación.

Así pues, el sistema trunking consiste en la compartición de varias frecuencias radioeléctricas, de tal forma que, ante una solicitud de comunicación de voz por parte de un terminal, el sistema trunking asigna un canal de frecuencias libre (canal de tráfico), al que se desplazan los terminales que han de intervenir en la comunicación. Una vez finalizada la comunicación, los terminales abandonan el canal de tráfico, que puede ser utilizado para otra comunicación.

Todos los terminales de una red trunking están trabajando sobre un canal de

control que es por el que realizan la señalización de establecimiento de la comunicación. A diferencia del sistema anterior de cinco tonos, la gestión de comunicaciones en una red trunking requiere de un centro de control inteligente, que disponga del estado real de equipos enganchados a la red, canales utilizados, equipo en comunicación, etc.

El sistema trunking está identificado por la norma MPT1327 del Ministerio de Correos y Telecomunicaciones del Reino Unido desde el año 1988. Utiliza modulación FFSK con tonos de 1.800-1.200 Hz para la señalización en el canal de control, y la modulación de voz sigue siendo analógica en los canales de tráfico.

Además de comunicaciones de voz, los terminales de una red trunking también disponen de capacidad de gestión de datos, que se pueden utilizar, por ejemplo, para enviar estados a una central de entradas y salidas de los terminales, envío de información desde otro sistema conectado mediante puerto serie al equipo, y otros como el envío de posiciones GPS, desde un receptor incluido en el terminal móvil. El envío de estos datos se realiza dentro del

canal de control al cual están enganchados los equipos, esperando enviar o recibir órdenes de establecimiento de llamadas. De esta forma se agiliza el envío de información, sin necesidad de utilizar canales de tráfico (voz).

Respecto a la gestión de llamadas, el sistema permite establecer una gestión completa sobre tipos de llamadas y automatismos que reportan sencillez en el manejo: llamadas de grupo, distintos niveles de prioridad en las llamadas, y llamada en espera donde, suponiendo que todos los canales de tráfico del sistema estuvieran ocupados, espera a que quede uno libre para realizar la comunicación, evitando al usuario repetir la llamada.

Hemos de observar que habitualmente los usuarios que hacen uso de estos sistemas son grandes empresas o servicios públicos con capacidad de inversión, que van a realizar un intenso tráfico de comunicaciones, que requieren comunicaciones seguras e instantáneas, y que no pueden estar sometidos a facturación en cada llamada establecida o envío de mensaje, como estamos acostumbrados con la telefonía móvil. Imaginemos el alto coste operativo que supondría el envío de posiciones de GPS en los sistemas de telefonía celular existentes cada dos minutos desde cada terminal de la flota de taxis o autobuses, requeridos por los sistemas de ayuda a la explotación.

La administración adjudicó a empresas operadoras los derechos de explotación de redes trunking. Se utilizó el acrónimo PAMR (*Public Access Mobile Radio*) para identificar este tipo de servicio que se ponía a disposición de las empresas, sin que éstas tuvieran que recurrir a la inversión en infraestructura correspondiente. Y se estableció una política de precios similar a la tarifa plana, más apropiada al uso intenso y ágil de las comunicaciones. Los sistemas de comunicación en grupo cerrado pueden ofrecer comunicaciones individuales, de grupo, prioritarias, junto con el envío y recepción de datos en sus áreas geográficas de cobertura.

TETRA (TERrestrial Trunked Radio)

Como evolución natural de las redes trunking analógicas, surgió la red trunking digital, donde se abandona la modulación analógica y se sustituye por la modulación digital, tanto para voz como para datos. La necesidad de obtener un mejor aprovechamiento del recurso limitado de frecuencia disponible se ve ampliamente logrado con este sistema, ya que en un solo canal de RF (frecuencia ascendente y descendente) pueden coexistir hasta cuatro comunicaciones de voz, gracias a la técnica TDMA (*Time Division Multiple Access*).

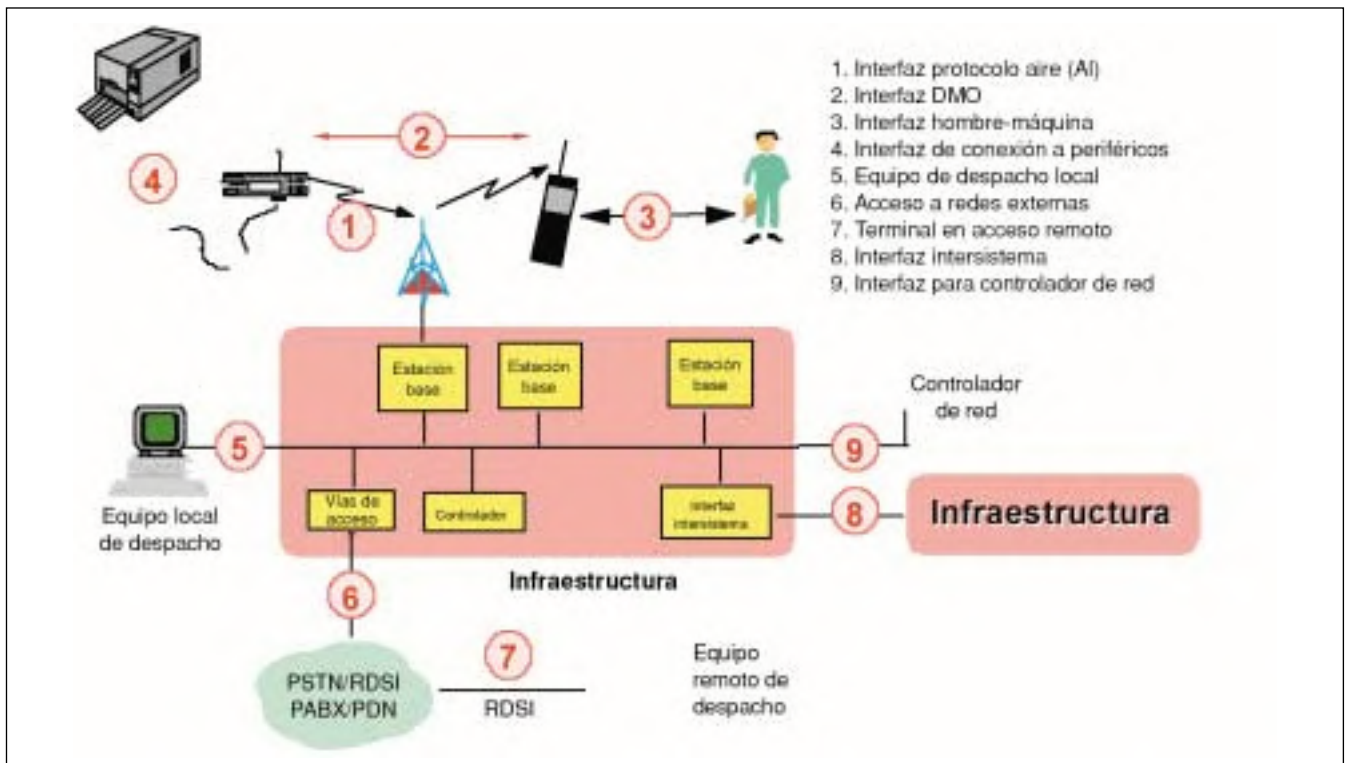


Figura 3. Interconexión de TETRA con sistemas externos.

El ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) trabajó desde el año 1994 en el establecimiento de una norma europea que diera respuesta a los cambios tecnológicos y nuevos requerimientos funcionales que se solicitaban desde los usuarios tradicionales de las redes profesionales. En concreto, la mayor exigencia venía dada por el sector de emergencias y seguridad, que plantean necesidades tales como una mayor confidencialidad en las comunicaciones mediante cifrado, distintos niveles de gestión de llamadas, llamadas de grupo, combinación de flotas, distintos niveles de prioridad de llamadas, una mayor tasa de transferencia de datos y envío de datos por paquetes.

El hecho de ser una evolución de los sistemas de comunicaciones privadas, contempla, además, los usos habituales de los radiotransmisores a los cuales están acostumbrados los clientes tradicionales de este tipo de redes. Entre ellos podemos destacar:

- Comunicación en modo directo entre terminales (*DMO, Direct Mode Operation*), sin necesidad de infraestructura, para el caso de trabajos fuera de la zona de cobertura.
- Funcionamiento en modo directo como repetidor. De esta forma, el equipo instalado en un coche puede hacer de repetidor entre terminales.
- Doble escucha, entre un grupo trabajando en modo directo, para trabajos zona-

les, y a la vez estar a la escucha de la infraestructura para recibir llamadas desde el centro de control.

– Conexión entre modo directo e infraestructura. Es decir, lo que recibe en modo directo lo retransmite a la infraestructura, y viceversa.

También se les ha dotado de la posibilidad de conexión a centralitas telefónicas PABX, redes IP y la de establecer comunicaciones en modo dúplex (transmisión y recepción simultánea de voz).

Además de la gestión de comunicaciones de voz, se ha potenciado la gestión de datos, de tal forma que se permite el envío de mensajes de datos cortos y mensajes, envío de datos en modo circuito y envío de

datos en modo paquete. Este último permite la conectividad, por ejemplo, a internet desde un dispositivo conectado a un terminal, comportándose éste como un módem sobre el que se transportan las tramas IP hacia la infraestructura, y de ésta al exterior mediante un adaptador (*gateway*).

El control de equipo desde entidades externas está asegurado mediante la disposición de un protocolo específico de comunicación serie (*PEI, Peripheral Equipment Interface*), que aporta una plataforma potente para el desarrollo de un amplio abanico de aplicaciones.

En la *figura 3* se pueden observar los diversos modos de interconexión con sistemas externos.



Rotativos de coches.



Los servicios de emergencia requieren comunicaciones ágiles y seguras.

Actualmente el sistema TETRA está muy extendido en Europa, y empieza a tenerse en cuenta de forma determinante en otros países del mundo, especialmente en América Latina y Asia (a pesar de la habitual resistencia de EEUU a los estándares europeos), lo que lleva camino de consolidarse como el estándar mundial para las radiocomunicaciones profesionales. Además, desde sus orígenes, y para favorecer la competencia y el respeto a la norma, todos los fabricantes están obligados a mantener sesiones de interoperabilidad que aseguren una uniformidad en prestaciones y que evite la creación en el mercado de nichos cautivos derivados de protocolos propietarios.

Entidades de seguridad pública, servicios de emergencia, transportes, servicios portuarios, y diversos medios de transporte ya están disfrutando de esta tecnología. Estos clientes más exigentes están migrando a este sistema que, en comparación con otros, les ofrece unas prestaciones que cubren sus necesidades, como pueden ser:

Portabilidad y compatibilidad:

- Es un estándar multi-proveedor, que permite evitar dependencias de un solo fabricante, asegura longevidad e interoperabilidad y facilita la aparición de aplicaciones.

- Se establecen bandas de frecuencia comunes para Europa. 380-400 y 410-430 MHz. De la misma forma, se están armonizando otras bandas de frecuencia en diversos países del mundo, en el rango comprendido entre los 350 y los 870 MHz.

Eficiencia espectral:

- Por cada portadora de 25 KHz admite cuatro canales de voz.

Respecto a operativa:

- Rápido establecimiento de llamada (300 milisegundos)
- Permite llamadas, tanto de tipo individual como entre grupo de usuarios.
- Convivencia de distintas flotas dentro de la misma red.
- Llamadas con distintos niveles de prioridad y llamadas de emergencia.

- Conectividad a sistemas de telefonía pública y privada en sistemas dúplex.
- Permite operativa de funcionamiento en modo directo (DMO) para el caso en que los terminales, por ejemplo de un grupo de trabajo, se encuentren fuera de cobertura.

Respecto a audio:

- Calidad de audio digital, especialmente ante ambientes ruidosos.
- Confidencialidad en las comunicaciones. Ya de por sí el que ofrece la modulación digital frente a escuchas del sistema analógico. Además permite el encriptado de voz.

Respecto a datos:

- Permite envío de datos en modo circuito o por paquetes.
- Datos en forma de mensaje o por estado.
- Simultaneidad de voz y datos.
- Velocidad de transmisión de 7.200 bps utilizando un canal, 28.800 bps utilizando los cuatro canales de la portadora.
- Conectividad IP.

Eficiencia en el consumo:

- El nodo repetidor indica al terminal la potencia con la que debe emitir.

Todas estas características permiten al sistema TETRA competir frente a otras tecnologías que no ofrecen llamadas de grupo, que obliga a depender de operadores y dispararía los costes operativos, o que son sistemas propietarios los cuales crean clientes cautivos de un único proveedor.

La oferta global

Aunque la evolución tecnológica de los sistemas de telefonía móvil privada ha desembocado actualmente en el sistema digital TETRA, actualmente coexisten en el mercado los sistemas descritos de selectividad por subtono CTCSS, llamada selectiva por cinco tonos, sistema trunking analógico y el indicado sistema digital TETRA. Cada sistema cubre, de menor a mayor, los distintos grados de exigencia operativa que requieren los usuarios.

Internet

Tetra: www.tetramou.com



Los sistemas de ayuda a la explotación, que gestionan tanto voz como datos, mejoran la gestión de la flota de transporte.



La transferencia de datos y el posicionamiento GPS se han hecho indispensables en la operativa de cualquier empresa o servicio público móvil actual.

AUTOR

Miguel Ángel Arcos Díez
ma-arcos@teltronic.es

Ingeniero técnico industrial, especialidad en Electrónica Industrial, por la Escuela Universitaria Politécnica de La Almunia de Doña Godina, Zaragoza. Desde el año 1988 ha trabajado en la empresa Teltronic S.A.U. (www.teltronic.es) en el Departamento de I+D y en el de Aplicaciones.