

DMR BENEFICIOS

2020



FEBRERO 2020

LMRADIO

Autor: Juan A. Granados



Tabla de Contenido

1.	Introducción.....	2
2.	Historia DMR.....	3
3.	Beneficios del DMR.....	4
3.1.	Capacidad doble en un canal de 12,5 KHz	4
3.2.	Compatibilidad espectral con los sistemas analógicos	11
3.3.	Uso eficiente de la infraestructura	12
3.4.	Mayor durabilidad de la batería	13
3.5.	Facilidad para la creación de Aplicaciones de Datos	14
3.6.	Flexibilidad acceso TDMA	15
3.7.	Características avanzadas de control	16
3.8.	Mayor calidad de audio	16
4.	Estándar DMR	18
4.1.	Estándar ETSI DMR.....	18
4.2.	Tres Niveles en el estándar DMR.....	19
4.3.	Servicios DMR	20
5.	Especificaciones Técnicas	21
5.1.	TDMA	21
5.2.	Modulación	21
5.3.	Estructura TDMA	21
5.4.	Canales básicos	23
5.5.	Protocolo Paquetes de Datos (PDP)	24
5.6.	Vocoder.....	25

1. Introducción

La introducción de productos PMR digitales está brindando grandes ventajas a los usuarios de radio profesional. Sin embargo, hay que elegir entre los diferentes de protocolos de radio digital disponibles: DMR, dPMR, NXDN, TETRA, P25, algunos estandarizados y otros patentados. Ninguno de estos protocolos es compatible entre sí y todos aportan características diferentes. Sin embargo, todos son más eficientes en términos de uso del espectro y también mejoran la calidad de la voz en los límites de un área de cobertura, en comparación con los sistemas analógicos como consecuencia de la eficiencia del procesamiento digital.

Es importante comprender algunas diferencias básicas en la tecnología de sistemas para tomar la decisión correcta. Algunas diferencias son el resultado de la forma en que diferentes proveedores han implementado las características, otras diferencias se deben a diferencias fundamentales en la tecnología subyacente utilizada por el protocolo. Estas diferencias subyacentes afectan la escalabilidad del sistema, la eficiencia energética, las posibilidades de las características y el acceso y uso del espectro.

En términos generales, hay dos tecnologías subyacentes a los distintos protocolos; TDMA utilizado por DMR, TETRA y P25 Fase 2 y FDMA (Acceso múltiple por división de frecuencia) - utilizado por NXDN y dPMR. TDMA divide el espectro usando intervalos de tiempo; el usuario A obtiene unos pocos milisegundos de acceso al ancho de banda y luego el turno de su usuario B. FDMA, en contraste, divide el espectro en canales discretos; el usuario A tiene el 100% de uso de una pequeña porción de espectro y el usuario B tiene el 100% de uso de otra pequeña porción de espectro. Hay una serie de consecuencias de estos dos enfoques.

DMR usa TDMA y muchas de sus ventajas provienen de esta elección. Las ventajas de DMR se discuten con más detalle en este documento.



2. Historia DMR

En comparación con otras tecnologías de radio como las que se utilizan en los sistemas de telefonía celular, la radio móvil pública ha llegado muy tarde a la mesa digital. Esto ha tenido ventajas y desventajas para la comunidad de usuarios de PMR. Una de las ventajas es que aquellos involucrados en el desarrollo de estándares digitales de PMR pudieron observar los desarrollos técnicos y las implementaciones que se habían llevado a cabo en otros campos y determinar cuál se adaptaba mejor a las necesidades de la comunidad de PMR.

El estándar DMR fue ratificado en 2005 y tiene muchos beneficios en comparación con los sistemas analógicos heredados y con otros enfoques digitales. Los diseñadores de DMR analizaron los requisitos del mercado y optaron por utilizar TDMA como la tecnología subyacente para el estándar, ya que ofrece algunos beneficios muy claros.

En resumen, estos son:

- Duplicación predecible de la capacidad en los canales existentes con licencia de 12,5 kHz
- Compatibilidad con espectro retroactivo con sistemas analógicos heredados
- Uso eficiente de los equipos de infraestructura.
- Mayor duración de la batería y mayor eficiencia energética.
- Facilidad de uso y creación de aplicaciones de datos.
- Flexibilidad del sistema a través de llamadas simultáneas de voz y datos.
- Funciones de control avanzadas.
- Rendimiento de audio superior en comparación con analógico (también se aplica a dPMR)

Además, al seguir un proceso de estandarización abierto con un organismo de estándares mundialmente reconocido, ETSI, los patrocinadores de DMR optaron por crear un estándar abierto a cualquier organización para brindar a los usuarios la mejor oportunidad de seguridad a largo plazo del suministro de equipos y otros beneficios de estándares abiertos derivados de la competencia abierta. La rápida captación de usuarios y la creciente cantidad de proveedores de productos DMR han reivindicado las decisiones tempranas de la comunidad detrás de DMR.



3. Beneficios del DMR

Los productos DMR tienen muchas ventajas sobre otras tecnologías de radio digital pública o móvil terrestre (PMR / LMR) dirigidas a los sectores comerciales y críticos de negocios. Además de poder igualar o mejorar las características existentes de las radios analógicas, el uso de un protocolo TDMA (acceso múltiple por división de tiempo) de dos ranuras, nos da como resultado, escalabilidad simple y efectiva, eficiencia energética, eficiencia de costos y un nuevo y rico conjunto de características. DMR también ofrece los beneficios de alcance y claridad de audio de la comunicación por radio digital.

DMR se adapta particularmente bien a la incorporación de nuevos servicios de voz o datos porque duplica la capacidad en los canales con licencia existentes. En particular, cuando se introducen nuevas aplicaciones de datos que mejoran el negocio, con DMR hay un impacto positivo en la calidad de servicio de voz existente, un problema bien conocido debido a la naturaleza hambrienta del espectro "hablador" de muchas aplicaciones de datos. Además, los sistemas DMR agregan esta capacidad adicional sin costo para el usuario.

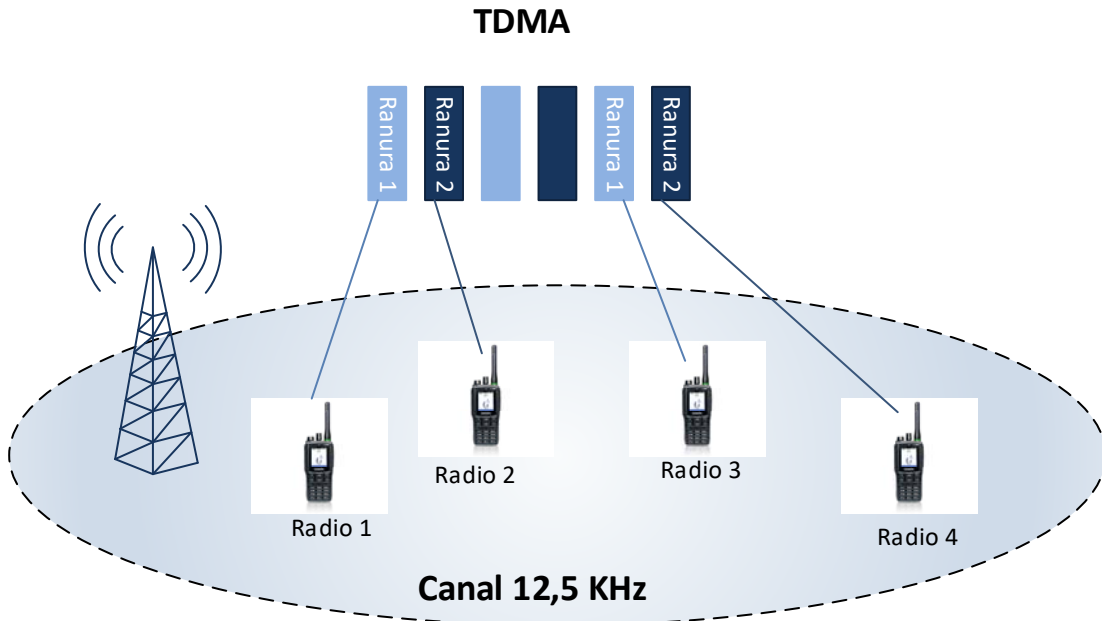
Otros sistemas digitales comerciales aportan beneficios, pero no la gama completa de ventajas de DMR. Además, DMR es un estándar abierto del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) respaldado por muchos fabricantes líderes de radio, proveedores de componentes y otros. Como resultado, los compradores pueden confiar en el suministro a largo plazo y en los beneficios del desarrollo de funciones impulsado por la competencia, la capacidad de respuesta de los proveedores y los precios del mercado.

3.1. Capacidad doble en un canal de 12,5 KHz

Uno de los principales beneficios de DMR es que permite que un solo canal de 12,5 kHz admita dos llamadas simultáneas e independientes, logradas usando TDMA.

Bajo el estándar DMR, TDMA retiene el ancho del canal de 12,5 kHz y lo divide en dos intervalos de tiempo alternos A y B (ilustrados en el Figura 1 a continuación) donde cada intervalo de tiempo actúa como una ruta de comunicación separada. En la Figura 1, las radios 1 y 3 hablan en el intervalo de tiempo 1 y las radios 2 y 4 hablan en el intervalo de tiempo 2.

Figura 1: Estructura DMR, 2 Intervalos de Tiempo TDMA

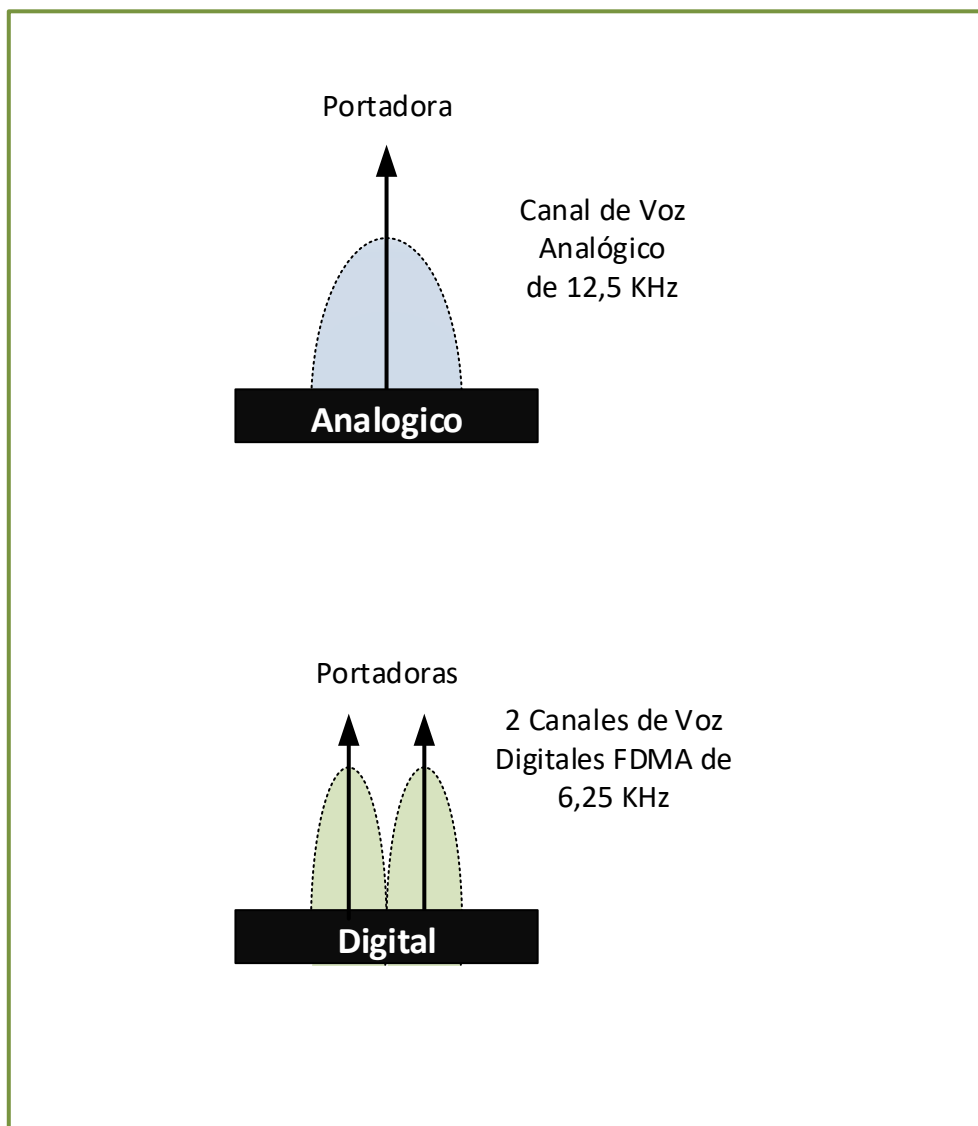


En esta disposición, cada ruta de comunicación está activa durante la mitad del tiempo en 12,5 kHz de ancho de banda y, por lo tanto, cada una usa un ancho de banda equivalente de media x 12,5 kHz o 6,25 kHz. Esto se conoce como tener una eficiencia de una ruta de conversación por 6,25 kHz de espectro, pero con DMR el canal en su conjunto mantiene el mismo perfil que una señal analógica de 12,5 kHz.

Esto permite que las radios DMR operen en los canales existentes de 12,5 kHz o 25 kHz del titular de la licencia, lo que significa que no hay necesidad de volver a crear bandas o volver a otorgar licencias, pero al mismo tiempo duplicar la capacidad del canal. Esto se ilustra en el Figura 2 a continuación.

Este enfoque TDMA para aumentar la capacidad de llamadas en un ancho de banda dado está muy bien probado. Los teléfonos celulares TETRA y GSM, dos de las tecnologías de radiocomunicación bidireccionales más ampliamente adoptadas del mundo, son sistemas TDMA. El estándar de radio de seguridad pública de EE. UU., P25, también está evolucionando actualmente sus especificaciones de Fase 2 a TDMA de dos intervalos de tiempo.

Figura 2: Migración Analógico Digital FDMA

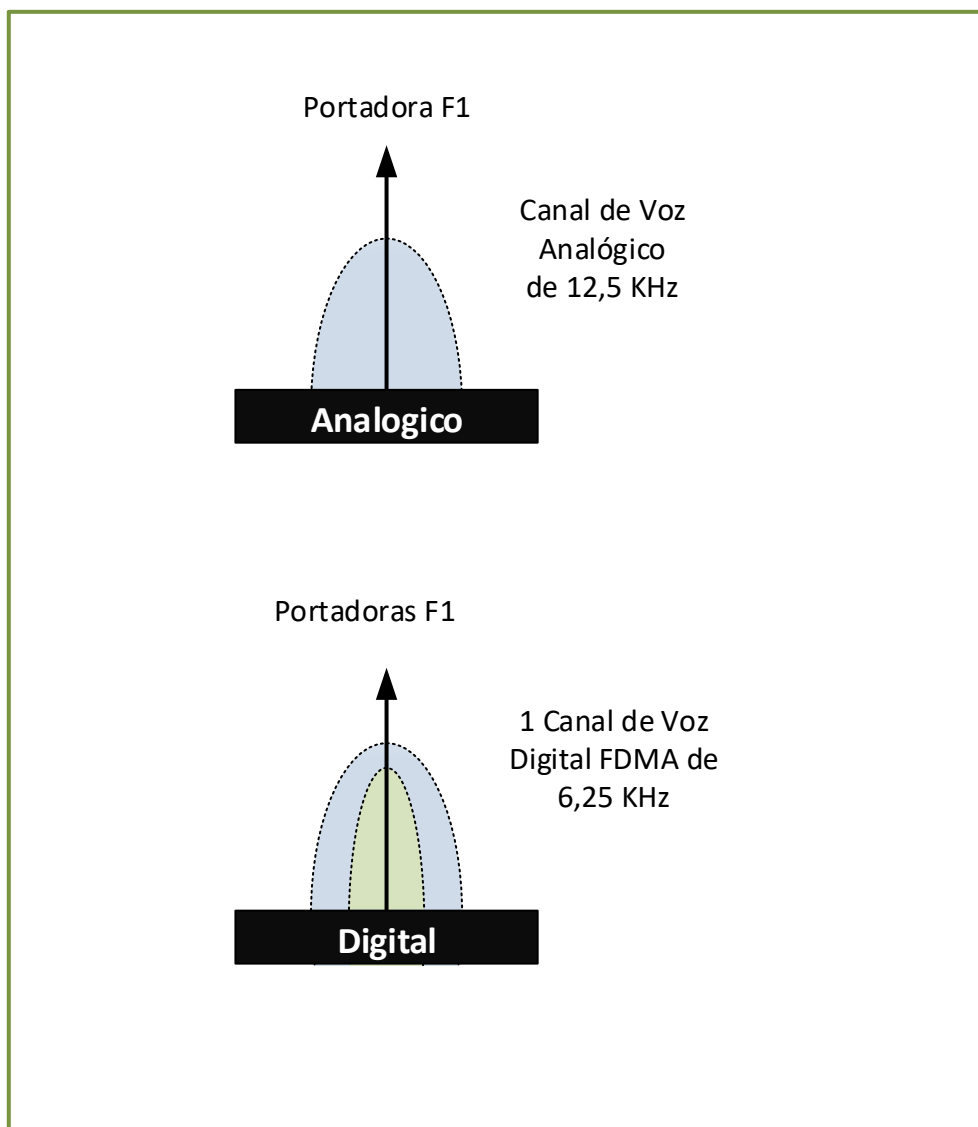


El enfoque alternativo para aumentar la capacidad es dividir los canales de 12,5 kHz o 25 kHz en dos o más canales discretos de 6,25 kHz, conocidos como FDMA. Las radios que son capaces de hablar en FDMA de 6,25 kHz son entonces teóricamente capaces de exprimir dos nuevos canales uno al lado del otro en un viejo canal de 12,5 kHz.

La realidad práctica es diferente. En muchos países no existen licencias específicas de 6,25 kHz y el régimen regulatorio no permite que un titular de licencia opere dos canales de 6,25 kHz en una licencia existente de 12,5 kHz. Sin embargo, generalmente es posible operar con un solo canal de radio de 6,25 kHz dentro de una licencia de 12,5 kHz, pero no se logra un aumento en la capacidad del usuario.

Esta situación se ilustra en el Figura 3 a continuación.

Figura 3: Migración Analógico Digital FDMA



Incluso en las jurisdicciones en las que un usuario puede exprimir dos rutas de 6,25 kHz en un canal con licencia de 12,5 kHz existente, esto puede causar problemas. Es bien conocido que operar un sistema en un sitio usando dos canales adyacentes entre sí en el espectro crea un riesgo de interferencia². Un problema es el de la "interferencia casi lejana" en la que la señal deseada recibida en un repetidor de estación base de un suscriptor "lejano" cerca del límite de su rango se vuelve ininteligible por la interferencia de un suscriptor "cercano" en el canal adyacente.

² Consulte la Recomendación UIT-R SM.337-6 para conocer el método recomendado para calcular las separaciones de frecuencia y distancia de los equipos de radio.

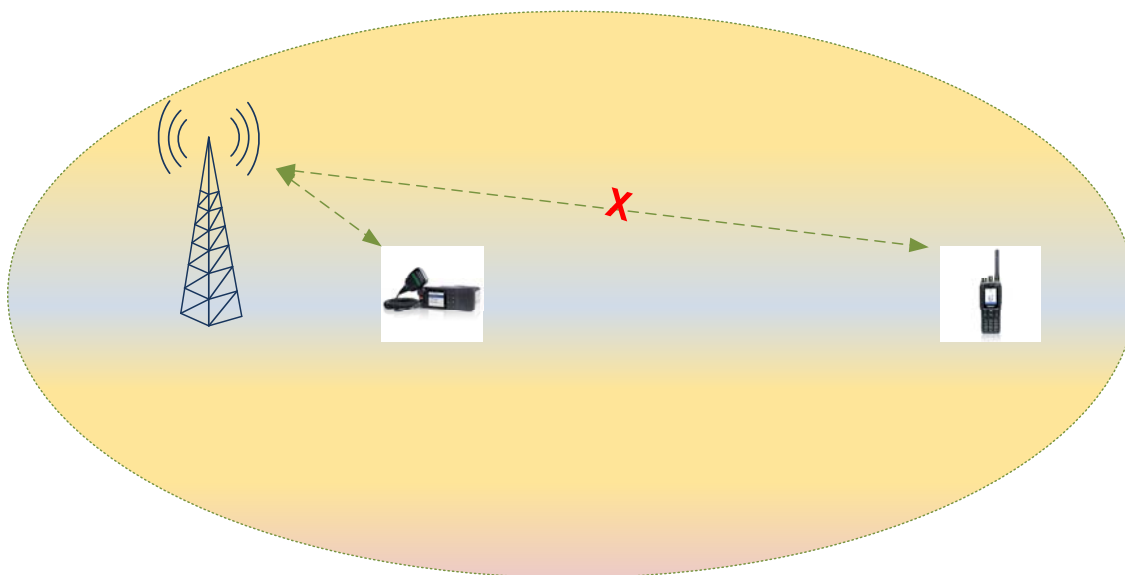
Este problema cercano y lejano puede ser particularmente significativo en implementaciones donde los equipos portátiles en los bordes de su área de cobertura necesitan comunicarse con una estación base / repetidor en una frecuencia (f_1) cuando los móviles de mayor potencia están transmitiendo cerca de la estación base / repetidora en el canal adyacente (f_2). En estos casos, es probable que las débiles comunicaciones entrantes de los portátiles lejanos en f_1 estén sujetas a la interferencia de los móviles cercanos que funcionan a una potencia más alta en f_2 . Esto se muestra en el Figura 4, Escenario 1 a continuación.

Cuando los canales adyacentes son utilizados por dos estaciones base cercanas entre sí, pero no en el mismo sitio, puede surgir un problema similar. En el Figura 4, Escenario 2 a continuación, una recepción portátil remota en f_1 desde la estación base azul está sujeta a interferencia mientras se encuentra cerca de la estación base roja que transmite en el canal adyacente, f_2 .

Estos tipos de interferencia cerca-lejos estarán determinados por una serie de factores que cambiarán dinámicamente, pero el impacto general es llevar la complejidad de la ingeniería a un despliegue con una configuración de canal adyacente.

Figura 4: Interferencias con canales adyacentes

2 CANALES FDMA



Además, cuando se crean dos canales de 6,25 kHz al dividir un canal existente de 12,5 kHz en dos, existe el riesgo de que los productos de intermodulación producidos por dos transmisores de 6,25 kHz (por ejemplo, estaciones base en un sitio fijo) que funcionen simultáneamente en los nuevos canales causen interferencia a los canales circundantes.

Veamos un ejemplo de dos transmisores de 6,25 kHz colocados en un canal de 12,5 kHz:

- F_1 = Frecuencia del primer transmisor
- F_2 = Frecuencia del segundo transmisor
- $F_2 = F_1 + 6,25$ KHz

En este caso el producto de intermodulación de tercer orden, es el siguiente:

$$IM_{31} = 2F_1 \pm F_2 \quad \text{y} \quad IM_{32} = 2F_2 \pm F_1$$

Solo nos interesa conocer los productos de intermodulación que están cerca del canal y podemos simplificar el cálculo para:

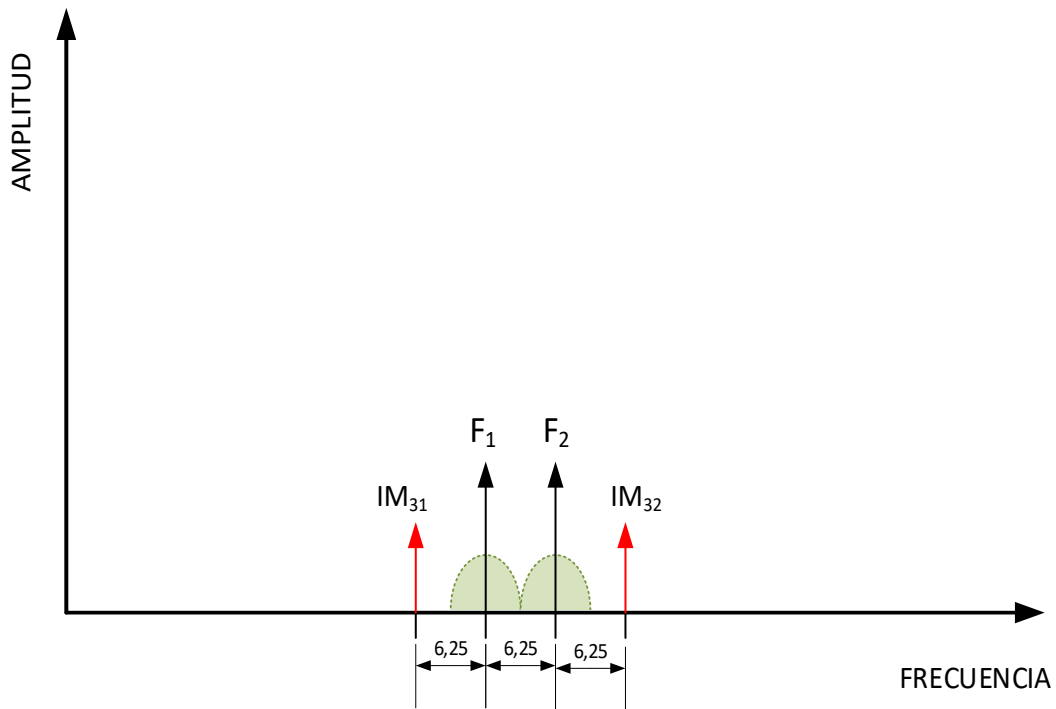
$$IM_{31} = 2F_1 - F_2 = 2F_1 - (F_1 + 6,25 \text{ KHz}) = F_1 - 6,25 \text{ KHz}$$

$$IM_{32} = 2F_2 - F_1 = 2(F_1 + 6,25 \text{ KHz}) - F_1 = F_1 + 12,5 \text{ KHz} = F_2 + 6,25 \text{ KHz}$$

Los productos de intermodulación IM_{31} e IM_{32} caen exactamente en los canales por encima y por debajo del canal dividido de 12,5 kHz. Por lo tanto, es posible que esos productos necesiten atenuarse en el sitio de la estación base para garantizar el cumplimiento de los límites reglamentarios para la potencia del canal adyacente o para cumplir con las máscaras de emisión requeridas. Las medidas de ingeniería adicionales en el sitio de la estación base darán mayores costes.

De manera similar, la interferencia de intermodulación ocurrirá cuando dos estaciones móviles transmitan en canales adyacentes de 6,25 kHz creados a partir de la división de un canal de 12,5 kHz, cerca de un receptor de estación base que usa un canal directamente arriba o debajo del canal dividido. Las dos estaciones móviles generan productos de intermodulación que caen en los canales por encima y por debajo del canal dividido, como se muestra arriba, causando interferencia adicional sobre y por encima de cualquier interferencia de canal adyacente, ya que los receptores no proporcionan atenuación infinita de señales a frecuencias no deseadas.

Figura 5: Respuesta espectral de Intermodulación



Por todas estas razones, muchos usuarios desearían obtener una nueva licencia en otra área del espectro para aumentar la capacidad con una solución FDMA de 6,25 kHz en lugar de dividir un canal de 12,5 kHz donde esto está permitido (ver Figura 5). En contraste, debido a que las dos rutas TDMA de DMR encajan perfectamente en la estructura de canal existente, no se encontrarán nuevos problemas de interferencia cuando se instalen sistemas DMR.

En resumen, los sistemas FDMA y TDMA utilizados en los protocolos digitales PMR / LMR son, en teoría, igualmente eficientes en cuanto al ancho de canal, ya que pueden proporcionar dos rutas de conversación en 12,5 kHz de ancho de canal, pero el enfoque TDMA utilizado por DMR ofrece las ventajas de la compatibilidad con los canales existentes vigentes en todo el mundo y no introduce nuevos problemas de interferencia.

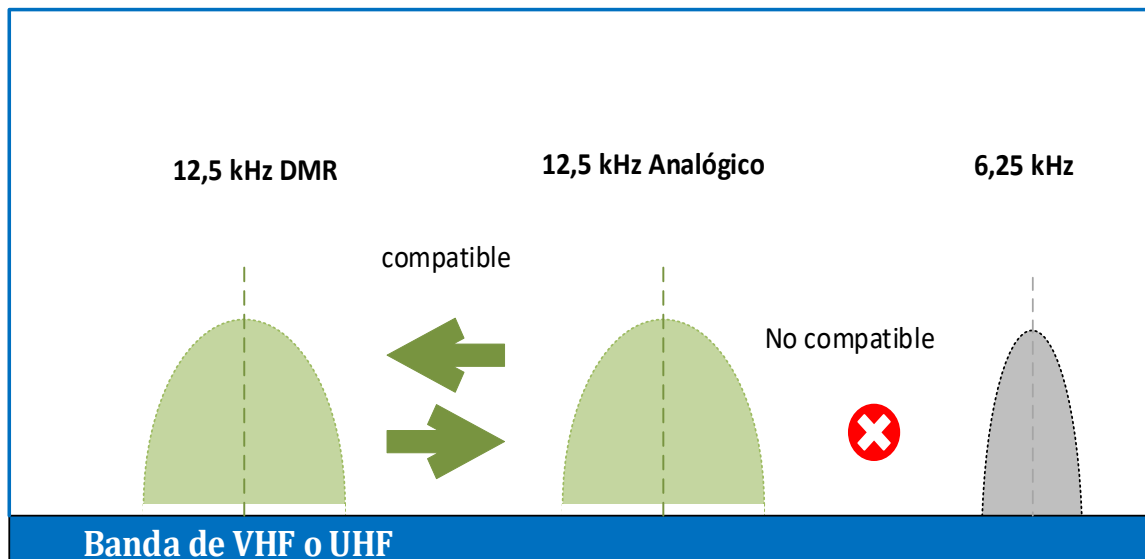
Una ventaja potencial del enfoque FDMA de 6,25 kHz es que no hay necesidad de coordinar el tiempo de los dos intervalos de tiempo independientes que se usan en TDMA para entregar dos rutas de comunicaciones en un canal de 12,5 kHz.

Sin embargo, en los sistemas DMR actuales, los repetidores se utilizan para coordinar intervalos de tiempo sin problemas para los usuarios. Las mejoras continuas al estándar ETSI DMR especificarán cómo las radios coordinarán la temporización del intervalo de tiempo cuando no hay un repetidor presente, es decir, en funcionamiento en modo directo, (DMO) por lo que en realidad ni los sistemas TDMA ni FDMA tienen ninguna ventaja inherente cuando se trata de la eficiencia del espectro en directo o modo repetidor, pero los sistemas TDMA tienen la ventaja de duplicar previsiblemente la capacidad en los canales con licencia existentes de 12,5 kHz.

3.2. Compatibilidad espectral con los sistemas analógicos

También puede ser importante que los titulares de licencias mantengan las licencias existentes para garantizar la compatibilidad con sus propias radios heredadas o con el sistema analógico de una organización externa (por ejemplo, un contratista en el sitio). Como DMR usa canales de 12,5 kHz, la compatibilidad espectral requerida está incorporada. Esto se ilustra en la Figura 6 a continuación.

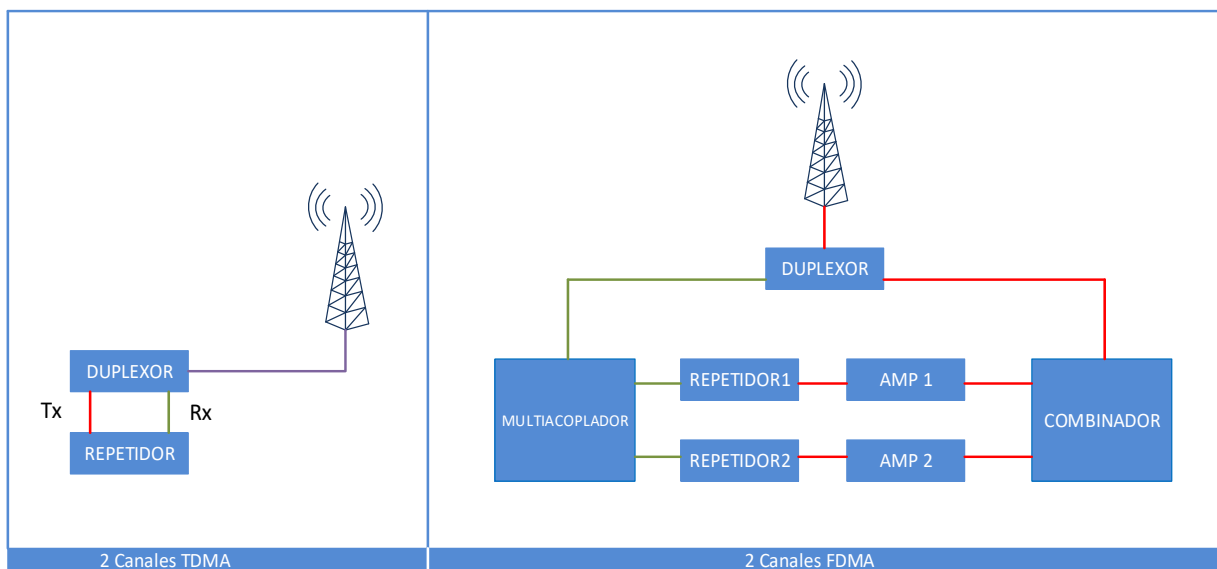
Figura 6: Compatibilidad canales Analógicos y DMR



3.3. Uso eficiente de la infraestructura

Otra ventaja del enfoque DMR TDMA es que obtiene dos canales de comunicaciones con un repetidor, una antena y un duplexor simple. En comparación con las soluciones FDMA, el TDMA de dos ranuras le permite alcanzar una eficiencia de 6,25 kHz mientras minimiza las inversiones en repetidores y combina equipos. El equipo requerido de los dos enfoques para un sistema simple se muestra en la Figura 7 a continuación.

Figura 7: Equipamiento necesario para 2 canales FDMA y TDMA



Entonces, cuando los usuarios están migrando de un sistema analógico existente de 12,5 kHz a TDMA, gran parte del equipo de infraestructura existente puede reutilizarse, mientras que FDMA requiere un repetidor dedicado para cada canal, más un combinador de transmisor y un acoplador múltiple (para la ruta de recepción) para permitir que múltiples frecuencias compartan una sola antena de estación base. Puede ser particularmente costoso (por lo general, muchos miles de dólares estadounidenses) hacer que la combinación de equipos funcione con señales de 6,25 kHz debido a los filtros más estrechos necesarios en comparación con 12,5 kHz.

También hay una pérdida en la calidad y el alcance de la señal cuando se introduce la combinación de equipos, de ahí la necesidad de los amplificadores de potencia que se muestran en la Figura 7. Además del costo adicional para la infraestructura, también debe tenerse en cuenta que los equipos adicionales necesitan bastidores adicionales espacio, fuentes de alimentación más grandes y ventilación y aire acondicionado adicionales.

Con los sistemas FDMA de 6,25 kHz también hay una menor tolerancia a los errores introducidos por el fenómeno del envejecimiento del oscilador y la deriva de la señal resultante lejos de la frecuencia central deseada por la radio transmisora. Esto da como resultado una protección de canal adyacente menos robusta, lo que hace que el sistema sea vulnerable a la interferencia. Esto puede compensarse utilizando un equipo especializado, llamado oscilador de alta estabilidad, pero a un costo.

En contraste, el TDMA de dos ranuras logra una equivalencia estable de dos canales utilizando equipos de un solo canal. No se requieren repetidores adicionales ni equipos combinados, lo que significa menores costos y una planificación del sitio más simple para los usuarios de DMR.

3.4. Mayor durabilidad de la batería

Uno de los mayores desafíos con los dispositivos móviles siempre ha sido la duración de la batería. En el pasado, ha habido opciones limitadas para aumentar el tiempo de conversación con una sola carga de batería.

Sin embargo, el TDMA de dos ranuras ofrece un buen camino a seguir. Como una llamada individual usa solo uno de los dos intervalos de tiempo, solo requiere la mitad de la capacidad del transmisor. El transmisor está inactivo la mitad del tiempo, es decir, cada vez que es el "turno" del intervalo de tiempo no utilizado.

Por ejemplo, en un ciclo de trabajo típico de 5% de transmisión, 5 % de recepción y 90% de inactividad, el tiempo de transmisión representa una alta proporción del consumo de la batería de la radio. Al reducir el tiempo de transmisión efectivo a la mitad, el TDMA de dos ranuras puede permitir una mejora de hasta el 40% en el tiempo de conversación en comparación con las radios analógicas. (La literatura de productos publicada por un fabricante ofrece un tiempo de conversación de 9 horas de funcionamiento para el modo analógico pero 13 horas para el modo digital en la misma radio). Con el consumo total de batería por llamada reducido drásticamente, se habilita un mayor tiempo de uso en el campo entre recargas. Los dispositivos digitales DMR también pueden incluir tecnologías de suspensión y administración de energía que aumentan aún más la vida útil de la batería. Aunque muchos factores afectan el consumo de energía en un dispositivo individual, la comparación de las cifras de duración de la batería publicadas para las radios digitales DMR y FDMA ampliamente comercializadas muestra el beneficio del enfoque TDMA sobre FDMA. Por cada hora de uso, las radios TDMA muestran entre un 19% y un 34% menos de capacidad de batería que para los modelos FDMA.

Además de las razones ambientales para no desperdiciar energía, elegir una tecnología con menor uso de energía brinda más flexibilidad en el futuro. A medida que crecen las necesidades de comunicación para los usuarios (por ejemplo, mayores requisitos de datos) se necesita más capacidad de batería y es mejor apostar por la tecnología que es inherentemente más eficiente y, por lo tanto, tiene más espacio para jugar.

Como se discutió anteriormente, la infraestructura DMR también es más simple que la requerida para los sistemas FDMA. Esto significa que los requisitos de energía para ejecutar un sitio son más bajos para TDMA que para FDMA.

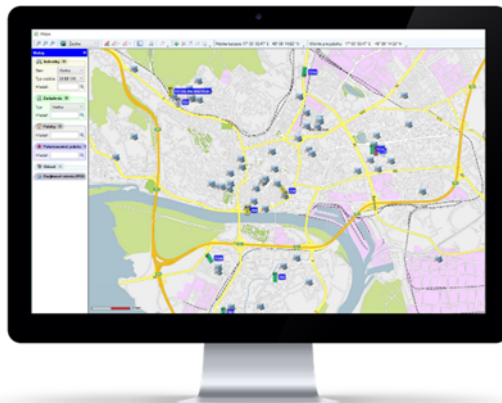
Estas características de eficiencia energética ofrecen a los usuarios de DMR una red de radio más eficiente y ecológica, así como una con el beneficio de una batería de larga duración en las propias radios.

3.5. Facilidad para la creación de Aplicaciones de Datos

La naturaleza digital de extremo a extremo de DMR permite que aplicaciones como mensajes de texto, GPS y telemetría se agreguen fácilmente en dispositivos y sistemas de radio. Como el estándar DMR también admite la transmisión de datos IP por aire, esto permite el desarrollo sencillo de aplicaciones estándar. En un mundo que depende cada vez más de la comunicación de datos y voz, esta capacidad de agregar una amplia gama de aplicaciones de datos a su sistema da como resultado el mayor retorno posible de su inversión. De hecho, uno de los impulsores clave para los usuarios que cambian a digital es agregar servicios y aplicaciones de datos que mejoren el negocio a los sistemas de radio.

La duplicación de la capacidad del canal que logran las implementaciones de DMR también es clave para agregar aplicaciones de datos. Para mantener el servicio de voz existente al mismo nivel de calidad, es necesario tener capacidad adicional para el tráfico de datos. Esto puede ser particularmente importante para aplicaciones como la ubicación automática del vehículo, donde el sistema puede generar una gran cantidad de mensajes para mantener las ubicaciones actualizadas continuamente. Aunque esta puede ser una herramienta muy valiosa para el usuario comercial, se necesitará capacidad adicional para que los servicios de voz no se vean afectados negativamente. Las implementaciones de DMR brindan la capacidad adicional requerida de manera simple y limpia.

Figura 8: Servicios basados en ubicación que se utilizan con un sistema DMR para rastrear ubicaciones de usuarios



3.6. Flexibilidad acceso TDMA

Mientras que la voz utiliza el primer intervalo de tiempo, el segundo intervalo de tiempo puede, en un sistema TDMA, utilizarse para transmitir datos de aplicaciones como mensajes de texto o datos de ubicación en paralelo con la actividad de la llamada, útil, por ejemplo, en sistemas de despacho que proporcionan ambas instrucciones de despacho verbal y visual.

En un mundo cada vez más rico en datos, esta capacidad de datos mejorada es cada vez más importante. La futura hoja de ruta para aplicaciones TDMA de dos ranuras incluye la capacidad de combinar temporalmente ambas ranuras para duplicar efectivamente la velocidad de datos a 9,6 Kbit/s, o usar ambas ranuras juntas para permitir llamadas privadas full-duplex (como llamadas telefónicas).

Las radios FDMA no pueden ofrecer estas capacidades (sin el gasto de agregar transceptores adicionales y usar canales con licencia adicionales) porque en un solo canal FDMA de 6.25 kHz solo hay una ruta de comunicación, lo que significa que una persona puede hablar o usted puede transmitir voz o datos, pero no ambos y la velocidad de datos se limita a los 4.8 Kbit / s que pueden expresarse en un solo canal de 6.25 kHz.

3.7. Características avanzadas de control

El estándar DMR permite la capacidad de usar el segundo intervalo de tiempo para la señalización de canal inverso, es decir, las instrucciones en forma de señalización se envían a la radio en el segundo canal de intervalo de tiempo mientras el primer canal está en una llamada.

Esta capacidad se puede utilizar para el control de llamadas prioritarias, el control remoto de la radio transmisora o la prevención de llamadas de emergencia y brinda un control preciso y flexibilidad al operador de un sistema de radio.

Los sistemas FDMA no pueden ofrecer una funcionalidad similar porque están limitados a un solo camino por canal de espectro.

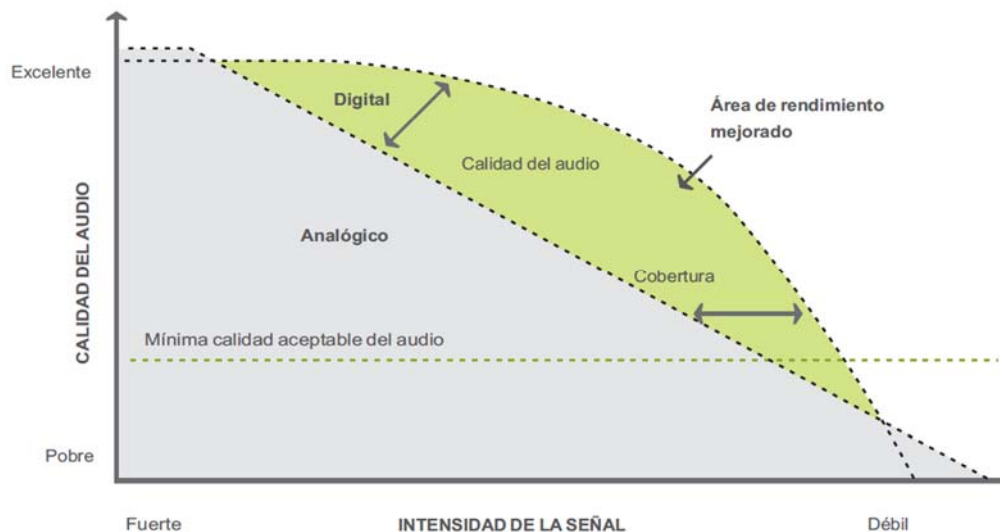
3.8. Mayor calidad de audio

La tecnología digital DMR proporciona un mejor rechazo de ruido y preserva la calidad de voz en un rango mayor que el analógico, especialmente en los bordes más alejados del rango de transmisión.

Una de las razones por las que DMR tiene un rendimiento de rango excelente es que se hizo un gran esfuerzo para seleccionar los codificadores de Corrección de errores hacia adelante (FEC) y Verificación de redundancia cíclica (CRC) al desarrollar el estándar. Estos codificadores permiten que las radios receptoras detecten y corrijan automáticamente los errores de transmisión al analizar los bits insertados en los mensajes que permiten a la radio receptora saber si hay un error. El estándar DMR especifica más de 14 codificadores diferentes para ser utilizados, cada uno de los cuales corresponde a diferentes tipos de tráfico que se está transmitiendo.

Mediante el uso de codificadores y otras técnicas, el procesamiento digital puede detectar el ruido y reconstruir las señales de las transmisiones degradadas. Los usuarios pueden escuchar todo lo que se dice con mucha más claridad, aumentando el alcance efectivo de la solución de radio y manteniendo a los usuarios receptivos a situaciones cambiantes en el campo.

Figura 9: Comparación audio DMR y Analógico



Existe cierta discusión sobre qué sistema digital ofrece la mejor cobertura, un sistema basado en canales de 12,5 kHz o 6,25 kHz. Ambos tienen ventajas y desventajas.

- Algunos reguladores limitarán la potencia de los repetidores utilizados en los sistemas FDMA de 6,25 kHz al 50% de la disponible para un sistema DMR de 12,5 kHz, donde un usuario desea operar dos repetidores de 6,25 kHz en un espectro de 12,5 kHz dado. Esto es para garantizar que los niveles de potencia generales se mantengan por unidad de espectro. Dichas restricciones afectan el rango.
- Sin embargo, los sistemas FDMA se benefician del hecho de que con un canal de 6,25 kHz hay un nivel de ruido más bajo que con un canal más amplio de 12,5 kHz. Esto se debe a que el ruido de fondo de cualquier receptor es proporcional al ancho de banda del filtro y, en teoría, con un ancho de banda más pequeño se pueden recibir señales más débiles. Por lo tanto, para la misma salida de potencia de RF, los receptores FDMA tienen en teoría una mejor cobertura o les da a los usuarios la capacidad de reducir la potencia, lo que extenderá la vida útil de la batería de las unidades portátiles. Sin embargo, esta consideración se limita a un entorno ideal en el que la sensibilidad es limitada al ruido; en condiciones reales, la mayoría de los sistemas actuales tienen interferencias limitadas.

- Debido a problemas prácticos de implementación del filtro, las asignaciones de canal más estrechas no pueden mantener la misma selectividad de canal que los canales más anchos y son más susceptibles a la interferencia de canal adyacente, otro ejemplo del problema cercano-lejano, donde un transmisor cercano fuerte en un el canal adyacente desensibiliza un receptor que intenta capturar una señal débil de un usuario distante.
- La radio móvil emplea un oscilador de cristal que sirve como referencia de frecuencia para el oscilador local del receptor. A medida que el cristal envejece, su frecuencia cambia. Las alineaciones de frecuencia periódicas pueden corregir esta deriva, pero un filtro de canal más estrecho es más sensible a este problema.
- Cuando la estación móvil viaja a gran velocidad, el cambio del efecto Doppler de la frecuencia portadora tendrá el doble de efecto en la tasa de error de bits en un canal de 6,25 kHz en comparación con un canal de 12,5 kHz.

Sumando todo esto, ningún sistema puede reclamar adecuadamente una ventaja significativa sobre el otro.

4. Estándar DMR

4.1. Estándar ETSI DMR

Los estándares que definen DMR consisten en los siguientes cuatro documentos ETSI que están disponibles de forma gratuita en el sitio web de ETSI:

- **TS 102 361-1:** protocolo de interfaz aérea DMR
- **TS 102 361-2:** servicios e instalaciones de voz y genéricos DMR
- **TS 102 361-3:** protocolo de datos DMR
- **TS 102 361-4:** protocolo de enlace DMR

También hay una guía de diseñadores que abarca elementos de todas las partes del estándar que es una lectura más fácil:

- **TR 102 398:** Diseño general del sistema DMR

4.2. Tres Niveles en el estándar DMR

Hay 3 Niveles en el estándar DMR.

DMR Nivel I (Tier I): Sin licencia

- Los productos DMR Tier I son para uso sin licencia en la banda de 446MHz.
- El Nivel I proporciona aplicaciones de consumo y aplicaciones comerciales de baja potencia, utilizando un máximo de potencia de RF de 0.5 vatios con una antena integral y trabajando en modo directo (comunicación sin el uso de una infraestructura). Con un número limitado de canales y sin el uso de repetidores, sin el uso de interconexiones telefónicas y antenas fijas / integradas, los dispositivos DMR Tier I son los más adecuados para uso personal, recreación, pequeños comercios minoristas y otras configuraciones que no requieren cobertura de área amplia o características avanzadas.

DMR Nivel II (Tier II): DMR Convencional

- El Nivel II cubre sistemas de radio convencionales con licencia, teléfonos móviles y portátiles que funcionan en bandas de frecuencia PMR de 66-960MHz que trabajan en modo directo o que usan una Estación Base (BS) para repetir. El estándar ETSI DMR Tier II está dirigido a usuarios profesionales que necesitan eficiencia espectral, avanzada dieciséis funciones de voz y servicios de datos IP integrados en bandas con licencia para comunicaciones de alta potencia.

ETSI DMR Tier II especifica TDMA de dos ranuras en canales de 12,5 kHz.

DMR Nivel III (Tier III): Sistema Troncalizado

- DMR Tier III cubre la operación de trunking en bandas de frecuencia 66-960MHz para usuarios profesionales. La ventaja del enlace troncal es que los canales de radio disponibles se comparten entre los usuarios, mientras que con un sistema no troncalizado, cada usuario debe esperar a que un canal específico esté libre. Por lo tanto, se necesitan menos canales para proporcionar un grado de servicio específico, pero a expensas de un sistema más complejo.
- El estándar Tier III especifica TDMA de dos ranuras en canales de 12,5 kHz. El nivel III admite el manejo de mensajes de voz y mensajes cortos similar al MPT-1327 con mensajes de estado integrados de 128 caracteres y mensajes cortos con hasta 288 bits de datos en una variedad de formatos. También es compatible con el servicio de paquetes de datos en una variedad de formatos, incluido el soporte para IPv4 e IPv6.

4.3. Servicios DMR

El servicio de voz **Llamada individual** proporciona un servicio de voz entre un usuario individual y otro usuario individual.

El servicio de voz **Llamada de Grupo** proporciona un servicio de llamadas de voz entre un usuario individual y un grupo predeterminado de usuarios. Todas las partes del grupo pueden escucharse entre sí.

El servicio de voz **All Call** proporciona una llamada de voz unidireccional de cualquier usuario a todos los usuarios en un canal.

El servicio de voz **Broadcast Call** proporciona una llamada de voz unidireccional de cualquier usuario a un gran grupo predeterminado de usuarios.

El servicio complementario **Open Voice Channel Mode (OVCM)** permite a los usuarios de terceros monitorear y participar en una llamada individual o grupal existente.

El servicio suplementario de **Llamada de Voz no atendida** es un tipo especial de llamada grupal que brinda a los usuarios la posibilidad de definir el comportamiento de una estación móvil que puede ser diferente del de una llamada grupal normal, por ejemplo, tonos de alerta especiales, y puede usarse para comunicaciones entre diferentes organizaciones de usuarios, cada una de las cuales tiene sus propias definiciones de grupo.

El servicio suplementario de **Entrada Tardía** proporciona actualizaciones continuas de llamadas en curso para permitir a los recién llegados unirse a una llamada en curso.

El servicio suplementario **Identificación de la Llamada** muestra la identidad del terminal de radio que transmite en una llamada individual o grupal en todos los demás terminales de radio que reciben la llamada.

Los **Servicios de Datos** se proporcionan utilizando un Protocolo de datos por paquetes (PDP) que admite los servicios de datos del Protocolo de Internet (IP) o del Servicio de datos cortos (SDS). El estándar DMR IP es compatible con IPv4 e IPv6. Los mensajes SDS pueden tener una longitud de entre 626 y 1130 bytes, dependiendo del modo y la tasa de protección.

Se pueden encontrar más detalles de estos servicios DMR en las normas ETSI DMR TR 102 398 cláusulas 6 y 7 y TS 102 361-2. DMT Tier III proporciona servicios adicionales como se describe en TR 102 398 cláusula 8.

5. Especificaciones Técnicas

5.1. TDMA

DMR emplea un sistema de Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) de dos ranuras que ofrece soluciones de voz y datos digitales flexibles y de bajo costo, y utiliza un esquema de modulación 4FSK bien establecido. La implementación TDMA en DMR utiliza una portadora de radio espaciada de 12,5 kHz para enviar dos canales de radio simultáneos, ofreciendo así una eficiencia del espectro de 6,25 kHz por canal.

5.2. Modulación

En la modulación FSK de 4 niveles empleada por DMR, cada conjunto de dos bits (un dibit) se representa como un símbolo con una desviación fija de la frecuencia de transmisión. Con una velocidad de 4.800 símbolos/s, se logra una velocidad de datos de 9600 bit/s (utilizando ambas ranuras TDMA).

Las cuatro desviaciones de frecuencia de la frecuencia de transmisión y los valores de bits de información se dan en la Tabla 2 a continuación:

Bits Información		Símbolo	Desviación 4FSK
Bit 1	Bit 0		
0	1	+3	+1,944 kHz
0	0	+1	+0,648 kHz
1	0	-1	-0,648 kHz
1	1	-3	+1,944 kHz

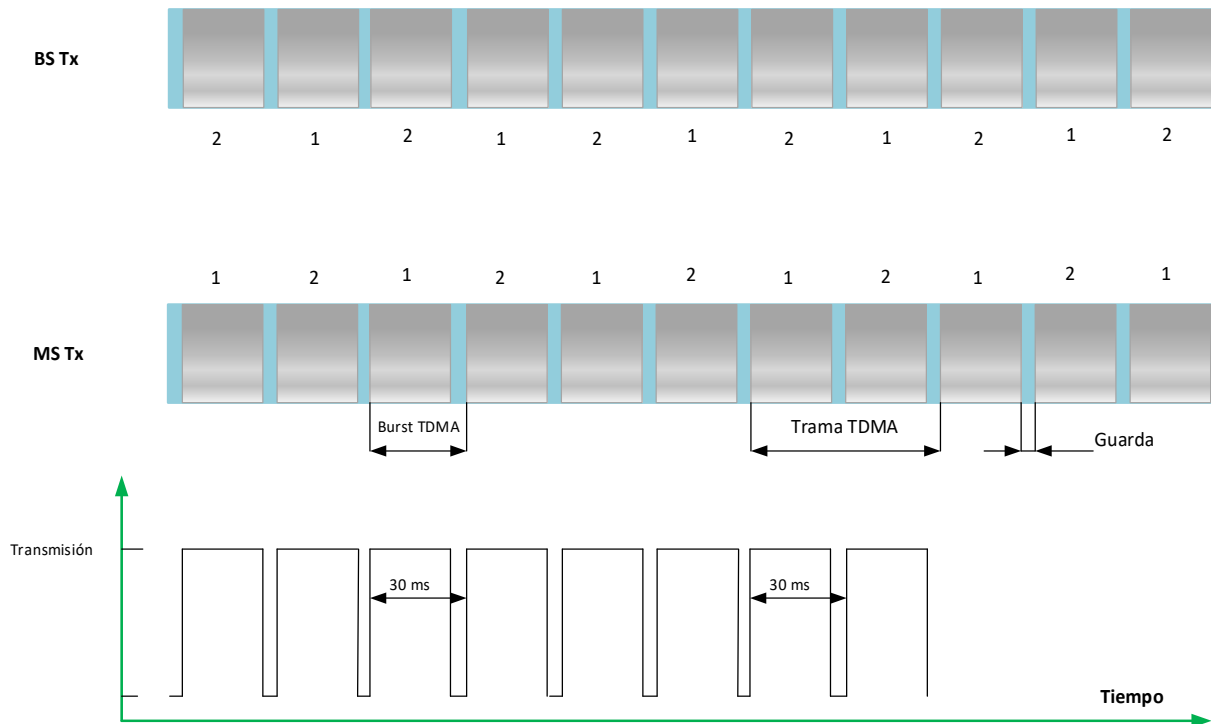
Tabla 1: Dibit mapeo de Símbolos y desviación 4FSK

5.3. Estructura TDMA

El protocolo DMR se basa en una estructura TDMA de 2 ranuras de 30 ms. En los espacios entre los bloques transmitidos, el protocolo solicita que la unidad esté recibiendo. Por lo tanto, esto permite la señalización y/o voz en la dirección inversa, incluso durante una conversación. La percepción del usuario será que esta unidad está proporcionando una conversación dúplex completa.

Un Figura de temporización generalizado de los intercambios entre la MS (estación móvil) y la BS (estación base) se muestra en la Figura 10, donde los intervalos de tiempo para los dos canales físicos TDMA están etiquetados "1" y "2". La transmisión entrante está etiquetada "MS TX" y la transmisión saliente está etiquetada "BS TX".

Figura 10: Esquema Temporal TDMA



- El canal de entrada (MS TX) tiene un tiempo de protección no utilizado entre ráfagas para permitir la rampa del amplificador de potencia y el retraso de propagación.
- El canal de salida, que transmite continuamente cuando se activa la BS, utiliza el equivalente de este tiempo de guarda para insertar un canal de anuncio común (CACH) entre ráfagas para la gestión del canal de tráfico (encuadre y acceso) y señalización de baja velocidad. Si no hay información disponible para transmitir en el canal 1 y/o canal 2, la BS transmite mensajes inactivos para completar las ráfagas.
- Todas las ráfagas tienen un patrón de sincronización o un campo de señalización incorporado ubicado en el centro de la ráfaga.

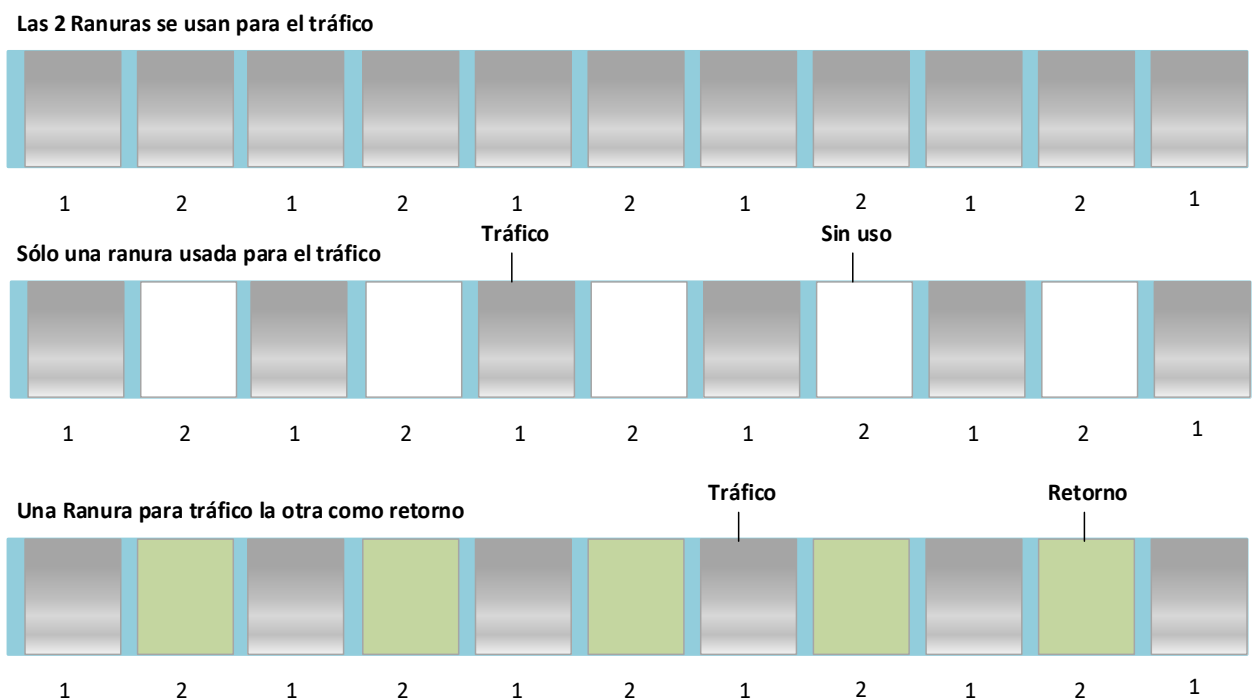
Se pueden encontrar más detalles de la estructura de trama TDMA en ETSI TS 102 361-1 cláusula 4.2.

5.4. Canales básicos

Hay tres tipos principales de canales básicos utilizados por DMR:

- Canal de tráfico con CACH: igual que el ejemplo BS TX en §5.3 anterior. Este tipo de canal se usa para transmisiones BS salientes, pero también se usa para el modo de transmisión continua entre unidades MS usadas para DMR de nivel 1.
- Canal de tráfico con tiempo de guarda: el mismo que el ejemplo de MS TX en §5.3 anterior. Este tipo de canal se utiliza para transmisiones entrantes de una MS a una BS de dos frecuencias. Hay tres casos de uso disponibles para este tipo de canal como se ilustra en la Figura 11 a continuación:

Figura 11: Canal con Tráfico



Las transmisiones en la ranura de retorno se pueden usar, por ejemplo, para admitir el funcionamiento de las aplicaciones durante las sesiones de voz, por ejemplo para decirle a una radio transmisora que se detenga, porque hay una llamada de emergencia en espera o para informarle sobre la intensidad de la señal, de modo que Puede ajustar su potencia de transmisión.

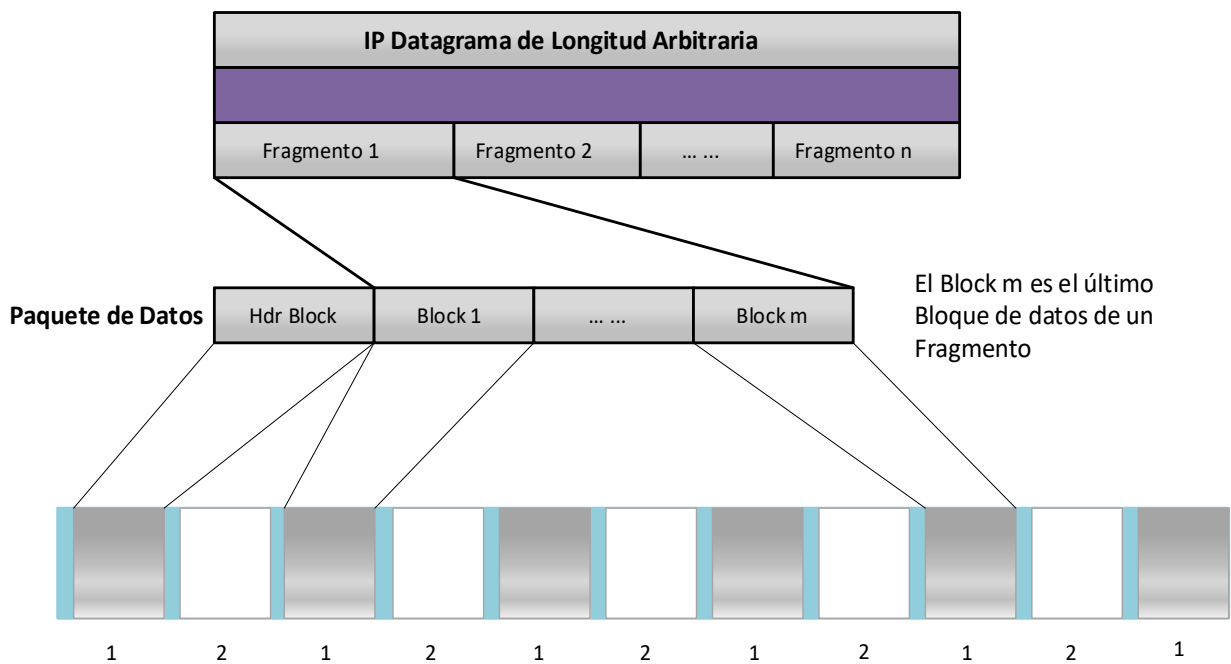
- Canal bidireccional: este tipo de canal se utiliza para la comunicación en modo directo entre unidades MS. El canal consta de una ranura de tráfico TDMA hacia adelante y hacia atrás en la misma frecuencia, separado por tiempos de guarda.

5.5. Protocolo Paquetes de Datos (PDP)

Si se requiere el PDP para transportar un mensaje cuya longitud es mayor que la longitud máxima, el mensaje primero se divide en fragmentos. Luego, cada fragmento se mapea en un único paquete que consiste en una secuencia de bloques de datos 1 am precedidos por uno o dos bloques de encabezado. Cada bloque está protegido por su propio código de corrección de errores de reenvío (FEC).

La fragmentación y empaquetamiento se ilustra en la Figura 12:

Figura 12: Paquetes de Datos



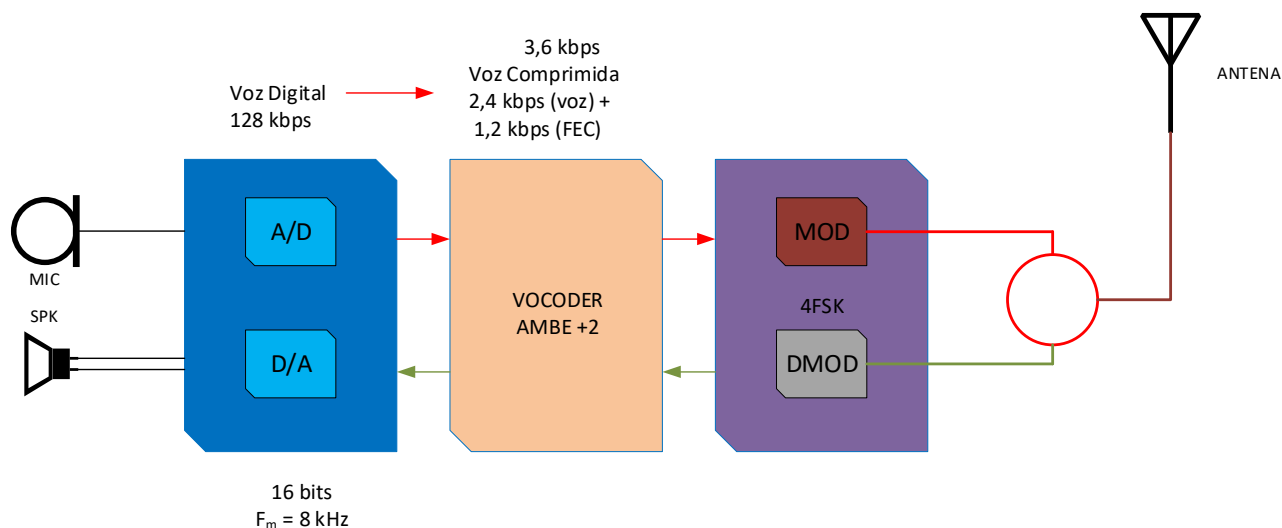
5.6. Vocoder

Un vocoder (codificador de voz) comprime la señal de voz digital transmitida para permitir que se ajuste a un canal de ancho de banda más pequeño y en el extremo receptor descomprime la señal. Diferentes estándares digitales utilizan diferentes tecnologías de vocoder.

Un vocoder de velocidad completa comprime la voz lo suficiente como para que quepa en un canal de banda estrecha (12,5 kHz). Es necesario un vocoder de media velocidad para comprimirlo lo suficiente como para caber en un canal de 6,25 kHz o en un intervalo de tiempo TDMA de 12,5 kHz como el utilizado por DMR.

Aunque el estándar ETSI DMR no especifica el uso de un codificador de voz en particular, los miembros de la Asociación DMR han acordado utilizar el codificador de voz de media frecuencia de excitación multibanda avanzada (AMBE + 2) para garantizar la compatibilidad entre los equipos de diferentes fabricantes. Este vocoder es un dispositivo de software patentado producido por Digital Voice Systems Inc.

Figura 13: Esquema Básico DMR



- Alta compresión por software de 128 kbps a 3,6 kbps
- Bit rate bajo: 2450 bps(voz) + 1150 bps (FEC) = 3600 bps
- Trama de Voz: 20 ms.
- Calidad de Voz Alta.
- Reducido ruido de fondo para un entorno PMR.

Cuando se transmite, la voz la recoge el micrófono (señal analógica) que la lleva al conversor A/D y la convierte en una señal digital de 128 kbps, utilizando una frecuencia de muestreo de 8 kHz, que es una cantidad de datos tan grande que no cabe en un ancho de banda de 12,5 kHz y por tanto no se puede transmitir, por tanto necesitamos comprimir estos datos para poderlos transmitir por nuestro canal. Esto se consigue mediante el uso del Vocoder, que en el caso DMR es el AMBE +2.

El mencionado Vocoder se encarga de recoger los 128 kbps procedentes del conversor A/D y comprimir la señal digital hasta dejarla en 2,4 kbps. Además añade un código de corrección de errores (FEC) que utiliza 1,2 kbps. Con lo que a la salida del Vocoder tenemos una señal digital de 3,6 kbps.

Finalmente la señal pasa al modulador, que añade los bits de sincronismo, la Id, GPS, etc. Y una nueva corrección de errores para las tramas usadas, esto supone añadir 1,2 kbps. Esto nos da una señal lista para enviar de 4,8 kbps.