

La Radiocomunicación de Banda Angosta con Tecnologías de Modulación Digital en Costa Rica

Paul Avendaño Elizondo, Jose Brenes Méndez, and Prof. Randall Barnett
Villalobos

Escuela de Ingeniería,
Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología,
ULACIT, Urbanización Tournón, 10235-1000
San José, Costa Rica
[pavendano431, jbreneasm769, rbarnettv200]@ulacit.ed.cr
<http://www.ulacit.ac.cr>

Resumen La radiocomunicación de banda angosta es un servicio de comunicaciones muy utilizado actualmente por empresas e instituciones costarricenses. No obstante, muchos carecen del conocimiento necesario para sacar el mayor provecho de este servicio, por lo que se deben dar a conocer detalles que beneficiarán el despliegue de redes que operen de manera eficiente. En Costa Rica a partir del 1° de enero del 2016, todos los equipos que se utilicen en este servicio deben ser digitales. En cuanto a las redes digitales, al ser recientes, se desconoce sobre especificaciones técnicas de operación, bandas de frecuencias, tipos de tecnologías en el mercado, protocolos de comunicación y el marco regulatorio. En el mercado se encuentran gran variedad de equipos que se podrían utilizar, sin embargo, no todos cumplen con las mismas funciones para satisfacer las necesidades de una u otra entidad. Asimismo, desconocer sobre los métodos de acceso y protocolos de los equipos que se pueden adquirir, perjudicaría la eficiencia del espectro y los equipos adquiridos. Por otra parte, si no se siguen los estatutos establecidos en la reglamentación actual, las instituciones o empresas podrían verse sancionadas, por lo que es necesario conocer lo que dicta la reglamentación antes de poner en funcionamiento las redes de radiocomunicación de banda angosta. Además, para abordar estos detalles, se compararon reglamentos de países latinoamericanos con el marco regulatorio nacional, se toman como base artículos técnicos y hojas de datos de equipos, para recopilar los principales insumos que se involucran en la radiocomunicación de banda angosta con tecnologías digitales, y que servirá para comprender la tecnología que se ajusta a las necesidades de comunicación en cada empresa o institución.

Keywords: Radiocomunicación de banda angosta, TDMA, TETRA, FDMA, DMR, DPMR, NXDN.

1. Introducción

La Radiocomunicación de Banda Angosta (en adelante RCBA) es solo una más de todas las bondades que brinda el espectro radioeléctrico, es muy utili-

zada en el país por empresas privadas e instituciones públicas, que tienen como necesidad utilizar un método ágil para comunicarse con el personal de interés dentro de la misma entidad que lo utiliza. Sin embargo, por más común que se vea este tipo de comunicación, en la actualidad el desconocimiento en el país es generalizado sobre lo que conlleva desplegar una red de este tipo. El uso común de este tipo de tecnología, es colocar equipos que irradian a una frecuencia escogida al azar y con cualquier potencia. Este tipo de red se puede optimizar al máximo si se tiene en cuenta una serie de factores técnicos:

1. Especificaciones técnicas de los equipos requeridos.
2. Propiedades de las bandas de frecuencia requeridas.
3. Tipos de interferencias asociadas.
4. Aspectos reglamentarios y jurídicos nacionales en la parte de RCBA.

Esta investigación servirá para determinar las pautas a seguir en el despliegue de una red de comunicación Banda Angosta, o también llamada radiocomunicación de dos vías, pero dando énfasis al uso de tecnologías digitales, en la que se pueda optimizar todos los recursos que la componen. Con el fin de abarcar los retos técnicos de implementación a nivel del país de RCBA, se investigó acerca de los estándares de la industria para implementar en este tipo de comunicaciones, se identificaron aspectos en los cuales es utilizable la tecnología de RCBA como medio de transmisión, se analizaron los métodos de acceso y sus respectivos protocolos según las necesidades de comunicación de los usuarios, se mencionó la interoperabilidad entre equipos que usen el mismo método de acceso, se definieron cuáles son las bandas de frecuencias identificadas para la implementación de redes digitales, asimismo, se menciona la banda de frecuencias que no ha sido identificada para este tipo de redes, se investigó sobre las interferencias sensibles para RCBA con el fin de aplicar políticas para mitigarlas, y por último, se compararon los aspectos económicos que implican el desarrollo de una red de este tipo en el país. Para alcanzar los objetivos anteriores, se accedió a diferentes artículos actuales que tratan temas sobre RCBA y reglamentaciones de diferentes países de América, de donde se extrajeron los puntos esenciales para completar la investigación. Además se dio un vistazo general de como en el país se desarrolla actualmente este tipo de comunicaciones por parte de las instituciones que lo implementan. El espectro radioeléctrico es un bien demanial del estado, por lo que, se encuentra a disposición de toda la sociedad costarricense, actualmente nuestro país cuenta con toda una normativa vigente para cada uso o servicio que aprovecha el espectro radioeléctrico, ciertas bandas de frecuencias solo se pueden solicitar o asignar a un concesionario en particular por medio de una licitación pública, otras bandas se encuentran atribuidas para servicios de radiodifusión. Pero, ¿qué pasa con la RCBA?, esta puede ser usada por cualquier persona nacional o extranjera que desee proveer de comunicación privada a su PyME¹, por medio de redes privadas que ellos mismos deben de velar para evitar así inconvenientes técnicos o interferencias perjudiciales.

¹ Acrónimo de pequeña y mediana empresa.

Ahora bien, existe una normativa legal, en la cual se definen los elementos técnicos necesarios para poder establecer redes de radiocomunicación privada. En Costa Rica el dimensionamiento de la red depende estrictamente de las necesidades del usuario. Las redes de RCBA pueden tener cobertura muy pequeña o muy limitada y estas no presentan mayores problemas desde el punto de vista de interferencias, pero si la red a implementar posee alcances nacionales, se deben de tomar en cuenta muchas variantes por parte de los ingenieros encargados de la misma, para así maximizar en lo posible los componentes, electrónicos, como las frecuencias del mismo espectro radioeléctrico.

2. Estado del Arte del RCBA

La RCBA son aquellas comunicaciones que utilizan una pequeña porción del espectro radioeléctrico que tienen como fin permitir varios servicios, pero principalmente transmitir y recibir voz, a través de equipos repetidores, móviles o portátiles, tal y como se muestra en la figura 1:

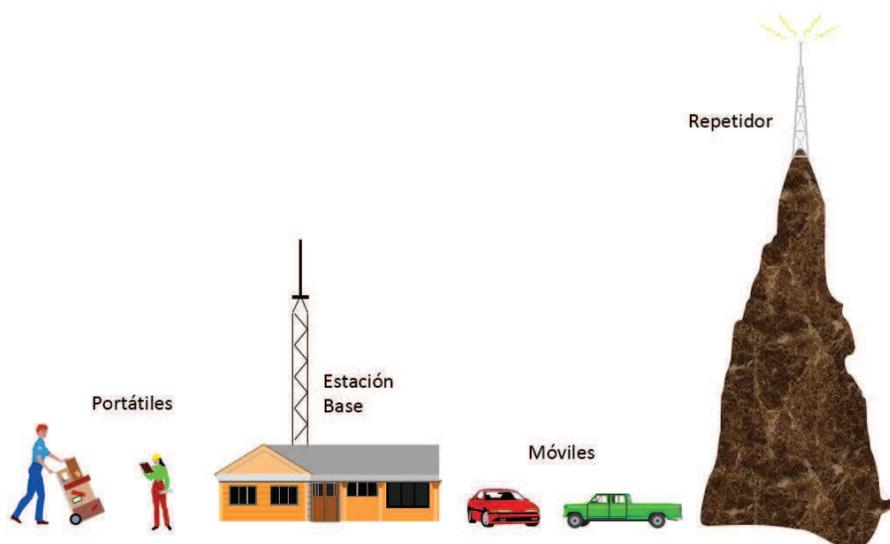


Figura 1. Diagrama general de una red de RCBA

La figura 1 muestra un diseño general de lo que es una red de RCBA. Cabe mencionar que el diseño puede variar y que los elementos que lo componen podrían diferir a los mostrados en la figura 1.

La RCBA utiliza una pequeña porción del espectro radioeléctrico, por ser comunicaciones que utilizan un ancho de banda de transmisión de pocos kHz². En

² Unidad de medición de frecuencia

Costa Rica, este tipo de comunicaciones son reguladas por la Superintendencia de Telecomunicaciones, SUTEL. Por otra parte, el PNAF³, estipula todos los parámetros técnicos de operación de los equipos en este tipo de redes, además atribuye las bandas de frecuencias para el servicio de RCBA. En nuestro país, actualmente la mayoría de redes análogas operan con modulación FM⁴, y los parámetros actualmente definidos en el PNAF son para redes de este tipo. Con respecto a las bandas de frecuencias para el servicio de RCBA, el PNAF atribuye las bandas de 138 MHz a 174 MHz, de 225 MHz a 287 MHz, de 420 MHz a 430 MHz y de 440 MHz a 470 MHz. Por otra parte, se designa un ancho de banda de 8,5 kHz y con una separación de canales adyacentes de 12,5 kHz. Además, se toma en cuenta la separación que debe haber entre las frecuencias de recepción y transmisión el cual va ser diferente para cada banda de frecuencias. En el periodo actual para la banda de 138 MHz a 174 MHz se estipula una separación de 3 MHz y para las otras bandas mencionadas se dicta una separación de 5 MHz, como se muestra en la figura 2:

Bandas de frecuencias (MHz)	Separación entre las frecuencias de transmisión y recepción (MHz)	Ancho de banda de transmisión (kHz)	Canalización (kHz)
138 a 174	3	8,5	12,5
225 a 287	5		
420 a 430			
440 a 470			

Figura 2. Atribución de las bandas de frecuencias según el PNAF

De la figura anterior se puede observar como varía la canalización de una banda de frecuencias a otra, lo que es un aspecto importante a tomar en cuenta en el momento de configurar los equipos de comunicación.

La figura 3, 4 y 5 representan lo referente a la separación de las frecuencias de transmisión y recepción:

³ Plan Nacional de Atribución de Frecuencias

⁴ Siglas de Frecuencia Modulada

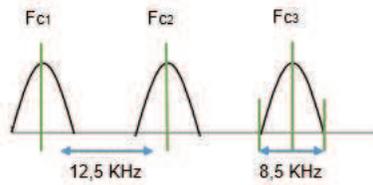


Figura 3. Canalización y ancho de banda de transmisión según reglamentación actual

De la figura 3 se puede observar lo que se mencionaba en un principio con respecto a la definición de RCBA. En un pequeño ancho de banda de 8,5 kHz, se transmite voz de manera eficiente.

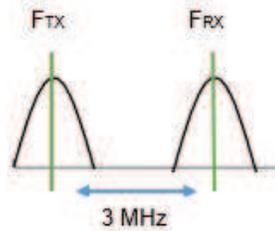


Figura 4. Separación de las frecuencias de transmisión y recepción para la banda 138 MHz a 174 MHz.

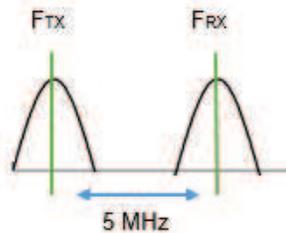


Figura 5. Separación de las frecuencias de transmisión y recepción para las bandas 225 MHz a 287 MHz, 420 MHz a 430 MHz y de 440 MHz a 470 MHz

Actualmente, Costa Rica se encuentra en un proceso de transición, transición que se verá reflejada en el año 2016. Para el 1° de Enero de ese mismo año se pretende migrar cierta parte del servicio móvil terrestre, específicamente el servicio de la radiocomunicación de banda angosta a tecnologías con modulación digital.

Los equipos de RCBA con modulación digital no solo vienen a proveer un servicio más eficiente en cuanto al uso del espectro radioeléctrico del país, también poseen ciertas características que hace de esta modulación un servicio más allá de la voz, como no lo hace la modulación análoga con FM. La modulación digital provee capacidades que son de bastante utilidad, por ejemplo, brinda la capacidad de ubicar la posición de todos los equipos de radio asociados a una red por medio del GPS⁵, asimismo es capaz de brindar servicios de datos IP⁶ y no por medio del espectro. Ahora, es importante conocer porqué nuestro país apuesta por este tipo de modulación.

En la actualidad, existen varios tipos de modulación en digital que utilizan diferentes métodos de acceso al medio, pero las principales y más conocidas en nuestro país son TDMA y FDMA, proveyendo eficiencia a las redes, al espectro y a la voz, esta última siendo el valor más importante, ya que mantienen una mejor calidad conforme disminuye la potencia de la señal, o cuando esta es atenuada por cualquier factor externo o climático.

TDMA posee la capacidad de dar dos ranuras de comunicación en dominio del tiempo, de esta manera logra brindar un potencial a los dispositivos de comunicación de RCBA, ajustándose a las necesidades del usuario.

Por otra parte, FDMA divide la frecuencia en sub-canales más pequeños que el canal asignado, empleando un menor recurso del espectro radioeléctrico.

A partir de estos insumos, en los siguientes apartados se muestra una investigación a fondo de cada un de los métodos de acceso que intervienen en la RCBA, para brindar conocimiento sencillo y general de cómo implementarlo en nuestro país.

3. TDMA

TDMA, Acceso Múltiple por División de Tiempo, por sus siglas en español, es un método de acceso al medio, en el que se brinda toda la porción del canal del espectro asignado, que corresponde a 12,5 kHz, en lapsos de tiempo de 30 ms, a cada uno de los dos slots o ranuras de tiempo. Como lo muestra la figura 6

⁵ De las siglas en español de Sistema de Posicionamiento Global

⁶ Internet Protocol

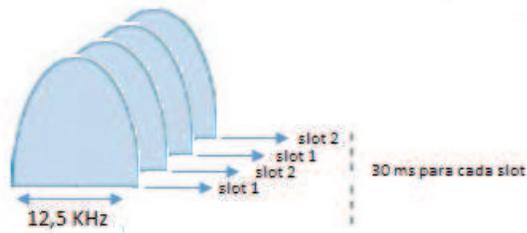


Figura 6. Multiplexación TDMA

La figura 6 muestra que a un servicio de radiocomunicación privada, en este caso el servicio de RCBA. En el cual se establece una separación de canales de 12,5 kHz. Para el caso de TDMA, este método de acceso posee la facilidad de usar todo el ancho del canal, se asigna todo el 12,5 kHz, segmentados en 2x6,25 kHz contiguos. Cada ranura de 6,25 kHz, puede ser utilizada para voz o datos, según la necesidad de la institución.

3.1. Ventajas y Desventajas

TDMA provee ventajas y características particulares, las cuales se mencionan a continuación:

- Permite el uso de dos comunicaciones en diferentes lapsos de tiempo, lo que contribuye a una mayor eficiencia del espectro.
- Mayor calidad de la voz a medida que la señal se degrada.
- Uso de un solo equipo de repetición para todo el canal de 12,5 kHz.
- Se puede utilizar en paralelo con modulación análoga.

Además de las ventajas que posee, TDMA presenta algunas desventajas que se muestran a continuación:

- En cuanto al costo de los equipos, este puede ser mayor en comparación.
- Respecto al uso de todo el ancho del canal (12,5 kHz), puede perderse eficiencia del espectro si el usuario solo hace uso de una ranura de 6,25 kHz y desperdiciando la otra ranura de 6,25 kHz.
- Con respecto al punto anterior, los usuarios que adquieran TDMA y no hagan uso de todo el 12,5 kHz, no estarían aprovechando al máximo la capacidad de los equipos de radio.

3.2. Protocolos de comunicación que utilizan TDMA

Es de importancia comentar que para cada método de acceso digital existen distintos protocolos, estos varían según la necesidad de comunicación, es decir, no es lo mismo medir las necesidades de comunicación de una pequeña empresa

que posee cinco o diez agentes de seguridad, que las necesidades de comunicación de los servicios de emergencia o de los aeropuertos. No obstante estos protocolos pueden ser abiertos, y desarrollados bajo uno o más estándares.

Este método de acceso posee diferentes protocolos, para este caso se definen dos:

- DMR ⁷
- TETRA ⁸

DMR

DMR, es un protocolo de comunicación utilizado por el método de acceso TDMA, el mismo es abierto, este fue desarrollado por la ETSI ⁹ y se ratificó en 2005, para el uso de empresas desarrolladoras de equipos de radio, que se encuentren asociados a la DMR Association. Este protocolo está diseñado para operar en un espaciamiento de canales de 12,5 kHz, necesario para cumplir con los requerimientos legales a mediano plazo, donde las bandas atribuidas para el servicio móvil terrestre necesitaran manejar canales de 6,25 kHz para una mayor eficiencia espectral.

Asimismo, DMR provee mejoras comparadas con los protocolos de redes análogas, brinda servicios de voz, datos y otros complementarios para las necesidades actuales de comunicación y eficiencia.

Existen diferentes niveles del protocolo DMR, necesarios para establecer los tipos de redes o sus condiciones de uso:

- Nivel 1, Sin necesidad de licencia: Puede operar con un nivel limitado de potencia (máximo 0,5 W), además este nivel no necesita la instalación de equipos de repetición, posee un número limitado de canales.
- Nivel 2, Licenciado: Este nivel es dirigido a empresas que necesitan uso de licencia sobre el espectro radioeléctrico, así como características de voz, localización, datos IP y alta potencia (no mayor a 25 W), es decir, especifica el uso de la doble ranura para el canal de 12,5 kHz.
- Nivel 3, Licenciado de mayor capacidad: Es similar al nivel 2, pero con mas características que permiten un mayor uso sobre las ranuras del 12,5 kHz del canal. Asimismo, permite gestión de mensajes de texto (mensajes no mayores a 128 caracteres), además facilita el servicio de datos de paquetes, incluidos IPv4 e IPv6.

La figura 7 muestra un resumen de las características relevantes del protocolo DMR:

⁷ De las siglas en español de Radio Móvil Digital

⁸ De las siglas en español de Radio Terrestre Troncalizado

⁹ De las siglas en español de Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones

TDMA	
Protocolo	DMR
Tipo	Abierto (ETSI)
Método de acceso	TDMA
Modulación	4-level FSK
Canalización	12,5 kHz (2 x 6,25 kHz contiguos)
Operación en modo Trunking	Licenciado (depende de la casa comercial)

Figura 7. Características DMR

TETRA

TETRA, es otro protocolo del método de acceso TDMA, el mismo es abierto y desarrollado por la ETSI. Este protocolo está diseñado para operar en un espaciamiento de canales de 25 kHz, lo que facilita doble capacidad, es decir, brinda cuatro canales multiplexados en cuatro subportadoras de 6,25 kHz, necesario para empresas o instituciones en que sus comunicaciones son vitales, como seguridad pública, bomberos y ambulancias, llamadas redes troncalizadas. Por lo que su funcionalidad avanzada se requiere en asuntos fundamentales de las entidades mencionadas anteriormente.

Es importante destacar que el protocolo TETRA provee un alto nivel de confiabilidad y seguridad en sus comunicaciones, además de una estructura sofisticada capaz de dar confiabilidad en su puesta en marcha y ser tolerante a las fallas.

La figura 8 muestra un resumen de las características relevantes del protocolo TETRA:

TDMA	
Protocolo	TETRA
Tipo	Abierto (ETSI)
Método de acceso	TDMA
Modulación	DQPSK
Canalización	25 kHz
Operación en modo Trunking	Licenciado

Figura 8. Características TETRA

4. FDMA

FDMA, por sus siglas en inglés Frequency Division Multiple Access o en español Acceso Múltiple por División de Frecuencia, es un método de acceso muy

utilizado en comunicaciones digitales. El acceso al medio se efectúa brindando a cada usuario una pequeña porción del espectro, del total asignado al servicio que lo utiliza para la comunicación. Esto se puede ejemplificar por medio de la figura 9

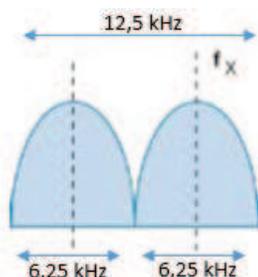


Figura 9. Multiplexación FDMA

La figura 9 muestra que a un servicio de comunicación, en este caso el de RCBA, se le asigna 12,5 kHz del espectro, pero cada usuario que utiliza este servicio será situado en subcanales de 6,25 kHz, lo que es similar a poseer dos comunicaciones simultáneas sin interferir una con otra. En la actualidad, los equipos de RCBA que se encuentran en el mercado y que operan con tecnología FDMA, poseen dentro de sus características la capacidad de operar con canales de 6,25 kHz. En vista de lo anterior, en términos de regulación, si el usuario solo posee la necesidad de un canal de 6,25 kHz, únicamente se le brindará ese canal y el otro sobrante la Administración lo dispondrá para otro usuario diferente que posea necesidades de comunicaciones propias. No obstante, si la empresa requiere dos canales de comunicación simultánea, ya sea para datos y voz o para tener dos canales de voz, éste deberá justificar su uso ante la Administración.

4.1. Ventajas y Desventajas

Este método de acceso provee varias ventajas que se mencionan a continuación:

- Permite comunicaciones simultáneas en una cantidad de espectro limitado lo que contribuye a un uso eficiente del espectro.
- Si el usuario únicamente requiere un canal de voz para sus comunicaciones, con 6,25 kHz del espectro se satisface la necesidad del usuario.
- Según sean las necesidades de la empresa o institución, FDMA permite el uso de voz y datos simultáneamente o bien, operar con dos canales de voz que no interfieren uno con otro.
- La Administración puede suplir con mayor facilidad las necesidades de uso de espectro por parte de los usuarios .

Ahora bien, FDMA también genera algunas desventajas y problemas que se debe tomar en cuenta en caso de utilizar equipos con este método de acceso. A continuación se presentan las desventajas asociadas:

- A grandes velocidades puede ocurrir un desplazamiento de la frecuencia portadora del canal de comunicación. Además, entre más alta sea la frecuencia, más afectado se verá el canal, debido a que un mismo porcentaje de corrimiento de frecuencias afectará una cantidad de frecuencia mas alta.
- Entre más sean las necesidades de comunicación, se requiere de mayor cantidad de equipos que puedan realizar las funciones de comunicación.
- A mayor velocidad, el BER ¹⁰ se ve afectado el doble en una canalización de 6,25 kHz en comparación a la canalización de 12,5 kHz.
- Al ser difícil controlar la energía transmitida en un canal de banda angosta, podría presentarse interferencias del canal adyacente.
- En frecuencias más altas el oscilador en los equipos portátiles, aumenta la posibilidad de interferencia por el canal adyacente y aumentar el BER.

4.2. Protocolos de comunicación que utilizan FDMA

Algo que se debe tomar en cuenta es que para este tipo de método de acceso existen varios protocolos de comunicación, hay tanto propietarios como abiertos. Cuando se habla de protocolos propietarios se hace énfasis a aquellos protocolos que son creados por una marca en específico y es implementado únicamente en equipos desarrollados por ellos mismos. Los protocolos abiertos son aquellos que son desarrollados bajo uno o varios estándares y pueden ser utilizados por cualquier empresa desarrollador de equipos. En la actualidad existen varios tipos de protocolos de comunicación que operan con FDMA para el servicio de RCBA, pero se destacan principalmente:

- NXDN
- dPMR

NXDN

NXDN o Next Generation Digital Narrowband por sus siglas en inglés, es un protocolo de comunicación propietario que utiliza FDMA, el cual fue desarrollado en conjunto por las empresas Icom Incorporated y JVC KENWOOD Corporation. La empresa Icom lo emplea en sus equipos con el nombre de IDAS mientras que KENWOOD lo utiliza en sus servicios con el nombre de Nexedge. Tiene como principales características que es un protocolo que emplea una canalización de 6,25 kHz o 12,5 kHz. La causa del porqué este protocolo también emplea una canalización de 12,5 kHz es debido a que el desarrollo fue para brindar a la FCC ¹¹ un protocolo que cumpliera con lo previamente reglamentado,

¹⁰ De las siglas en español de Tasa de Error de Bits

¹¹ De las siglas en español de Comisión Federal de Comunicaciones

pero brindando en un futuro escalabilidad en cuanto a la saturación del espectro radioeléctrico. En la actualidad NXDN también es el nombre de un Foro que congrega a 34 miembros, entre ellos compañías diseñadoras, desarrolladoras y fabricantes que brindan servicios y productos acorde al estándar NXDN.

NXDN posee varias versiones las cuales soportan diferentes tipos de aplicaciones, a continuación se presentan las primeras dos que son básicamente esenciales para redes RCBA:

1. Licenciado punto a punto: es la forma más básica de configuración de una red de radiocomunicaciones, es aquella topología que carece equipos de repetición y solo se usan dispositivos que operan con un canal de comunicación.
2. Licenciado modo repetidora: es para aquel tipo de redes que presenta un grado más alto de complejidad en razón a la cantidad de comunicaciones que se van a requerir. Se presenta la necesidad de operar con equipos repetidores.

Las siguientes versiones de NXDN que se enumeran son para comunicaciones que poseen alto tráfico de voz y datos, además requieren alta disponibilidad y confiabilidad. Son versiones para el uso de redes que operan en modo trunking, específicamente.

1. Type C: es un canal de control basado en la arquitectura de trunking.(dPMR Association, 2011)
2. Type D: es una lógica distribuida basada en arquitectura.(dPMR Association, 2011)

Las principales características que reúne este protocolo se resumen en la figura 10

Método de acceso	FDMA	
Modulación	4-level FSK	
Canalización	6,25 kHz	12,5 kHz
Convencional	SI	
Operación en modo	SI	SI
Trunking	Tipo C y Tipo D	Tipo C
Encriptación	AES/DES	

Figura 10. Principales características del protocolo NXDN.

De la figura 10 se destacan los métodos de encriptación que posee este protocolo, el cual brinda una ventaja mas al utilizar equipos con tecnología digital. Como se mencionó en un principio, el protocolo NXDN es distribuido por las empresas Icom Incorporated y JVC KENWOOD Corporation con diferentes nombres y esto podría generar dudas con respecto a la interoperabilidad de equipos. Con respecto a lo anterior, es vital mencionar que todos los equipos que sean desarrollados bajo los estándares y características establecidos por el Foro NXDN, son compatibles entre sí. No obstante, esta compatibilidad se da únicamente para redes de RCBA, las redes trunking carecen de este beneficio.

dPMR

El protocolo dPMR o Digital Private Mobile Radio por sus siglas en inglés o Radio Móvil Digital Privada por sus siglas en español, es un protocolo abierto FDMA que fue desarrollado bajo estándares de la ETSI. Este protocolo opera con canales de 6,25 kHz únicamente, lo que lo diferencia del protocolo NXDN que también opera con canales de 12,5 kHz. Al ser un protocolo ETSI, propiciará la interoperabilidad de equipos, es decir, aquellos equipos desarrollados por diferentes compañías serán compatibles entre si siempre y cuando hayan sido desarrollados bajo el protocolo dPMR.

El protocolo dPMR tiene varias funcionalidades dependiendo del tipo de licencia que se adquiriera, a continuación se presentan los diferentes tipos:

1. dPMR 446: es una licencia gratis que permite el uso de equipos en modo de canal directo en la frecuencia de 446 MHz sin el uso de equipos repetidores ni equipos bases.
2. dPMR Mode 1: es una licencia que permite el uso de los equipos en modo canal directo, únicamente.No requiere equipos de repetición.
3. dPMR Mode 2: esta licencia permite operar el protocolo en modo repetidora, a través de equipos bases y repetidores.
4. dPMR Mode 3: esta licencia permite redes de radiocomunicación multisitio interconectado a través de una red IP. Además reúne cada una de las características que se utilizan en el dPMR mode 1 y dPMR mode 2.

Igualmente dPMR es el nombre de una asociación conformada por 18 miembros que representan diferentes compañías que trabajan en conjunto para la mejora continua del protocolo dPMR.

Las principales características de este protocolo se resumen a continuación en la figura 11.

Método de acceso	FDMA			
Modulación	4-level FSK			
Canalización	6,25 kHz			
Convencional	SI			
Operación en modo	NO	NO	NO	SI
Trunking	dPMR 446	dPMR mode 1	dPMR mode 2	dPMR mode 3
Encriptación	Encriptación de 15 bits			

Figura 11. Principales características del protocolo dPMR.

De la figura 11 se puede observar que dependiendo de las necesidades de comunicación y características de la red, se debe escoger el tipo de licencia a utilizar. La elección del tipo de licencia se debe realizar antes de la implementación de la red RCBA, debido a que la licencia se ajusta al diseño y requerimientos de la red.

5. El mercado actual de RCBA

En el momento de desplegar una red de radiocomunicaciones que utilice equipos que operen con el método de acceso TDMA o FDMA, se debe tomar en cuenta algunas consideraciones en cuanto a que no todas las organizaciones tienen las mismas necesidades, por lo que los diferentes tipos de usos que se les pueda dar a las redes de RCBA se resumen en los siguientes puntos:

1. Para seguridad pública: este tipo de infraestructura es para redes que necesitan disponibilidad inmediata y respuesta rápida. Ejemplos de uso de este tipo de infraestructura son empleadas principalmente por bomberos, policía y todas aquellas instituciones que requieran comunicación con respuesta rápida de atención.
2. Para infraestructura crítica: son redes que abarcan un área extensa y brinda la característica de una comunicación ágil. Dentro de los ejemplos de uso de este tipo de redes se pueden citar transportes, negocios y acceso público a las redes móviles.
3. Para negocios o industria: son aquellas redes que el área de cobertura es pequeña. Como por ejemplo en un campo de construcción, fábrica o incluso en un edificio. En todos estos casos es necesario una comunicación ágil que otros medios no logran proveer.
4. Para uso comercial: son comunicaciones que no necesitan implementar una infraestructura debido a que se dan punto a punto. Un ejemplo es el de una tienda de ropa en el que sus trabajadores se comunican únicamente utilizando Walkie Talkies.

Dependiendo de las necesidades, giro del negocio, cantidad de usuarios, área de cobertura, entre otras aspectos, se puede definir la infraestructura de red de RCBA, tomando en cuenta que a partir del método de acceso y tipo de protocolo que mejor se adecue a las necesidades, se definirán los equipos finales a utilizar. Como cada método de acceso posee diferentes tipos de protocolos de comunicación, la figura 12 resume lo mencionado en este punto para cada método de acceso.

Seguridad Pública	Infraestructura Crítica	Negocios o Industria	Uso Comercial
Tetra (TDMA)	NXDN (FDMA) con licencia modo repetidora		NXDN (FDMA) con licencia punto a punto
			dPMR (FDMA) 446
	NXDN (FDMA) tipo C y tipo D		dPMR (FDMA) modo 1
	dPMR (FDMA) modo 1, modo 2 o modo 3		DMR (TDMA) Nivel 2
DMR (TDMA) Nivel 3			

Figura 12. Servicios que utilizan protocolos de comunicaciones en FDMA y TDMA

La figura 12 muestra los principales protocolos de comunicación de FDMA y TDMA relacionado al servicio en el que comúnmente es utilizado. Lo anterior quiere decir, que los protocolos no están condicionados a un solo tipo de servicio y dependiendo de la infraestructura requerida, lo representado en figura 12 podría variar según sea el caso.

6. RCBA digital en otros países latinoamericanos

Los sistemas de RCBA son utilizados en muchos países del mundo. Cada país posee su propia reglamentación y Costa Rica no es el único país que se encuentra regulada por una ley y otras disposiciones reglamentarias. Con el fin de abarcar y poseer referencia de como se regula la RCBA en otros países, en vista de la transición a sistemas que operen con equipos digitales en la que se encuentra actualmente el país, en la figura 13 se muestra un resumen de los reglamentos de algunos países de Latinoamérica.

Plan	País	Notas de interés	Reglamentación RCBA Digital
Plan Nacional de Atribución de Frecuencias	Costa Rica	CR 033	Sí
Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias	México	MEX56, MEX65, MEX85	No
Plan Nacional de Atribución de Frecuencias	Honduras	HND18, HND19, HND29, HND30	No
Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias	Colombia	CLM28-MOD2014,	No
Cuadro de Atribución de Frecuencias	Ecuador	EQA25	No
Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias de la República Argentina	Argentina	C20A, C20B, C20D, C21A, C21	No
Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias	Chile	129	No

Figura 13. Reglamentación de países latinoamericanos

La figura 13 muestra las principales notas de cada plan nacional de atribución de frecuencias de cada país. Cada nota destacada dicta el modo de operación

de un rango de frecuencias específico en cada país y para este caso de interés, dicta el modo de operación de los rangos de frecuencias atribuidas al servicio de RCBA de cada país. Lo que se puede observar es que Costa Rica es el único país en latinoamérica que ha puesto en vista una reglamentación que obligue a los permisionarios el uso de equipo que opere con tecnología digital. Los países mencionados en la figura anterior poseen reglamentación sobre este servicio, no obstante, no se solicita a los regulados el uso de equipos que operen con tecnología digital. Cabe mencionar que para la comparación de Costa Rica con los Planes o Cuadros de Atribución de Frecuencias de otros países, se basó únicamente con los de la región 2, en la que se encuentra Costa Rica, definida por el RR¹² de la UIT¹³, lo anterior debido a la distinta atribución de ciertas bandas de frecuencias para la región 1 y región 3, para la operación de los servicios móviles terrestres.

7. Conclusiones

1. Las tecnologías de acceso, ya sea, TDMA o FDMA, utilizan protocolos necesarios para proveer seguridad, comunicación y un uso eficiente del espectro, además estos son ajustados a las necesidades de los usuarios.
2. El funcionamiento de los equipos de RCBA está estrictamente ligado al método de acceso de la red. No obstante, el mercado nacional ofrece ambas tecnologías por medio de casas comerciales que se encargan de la distribución de los equipos de radio. Es importante, resaltar que, no es certero brindar una recomendación a favor de una tecnología en específico, ya que estas se alinean a las necesidades de comunicación o infraestructura de red que cada institución requiera desplegar.
3. En cuanto a los parámetros técnicos, se muestra un resumen de ambos métodos de acceso y protocolos que se verán identificados en el PNAF de Costa Rica, fundamentales para el despliegue de redes de RCBA digital, como se muestra en la figura 14.

¹² Reglamento de Radiocomunicaciones

¹³ De las siglas de Unión Internacional de Telecomunicaciones

Protocolos TDMA			
Protocolo	DMR		TETRA
Tipo	Abierto (ETSI)		
Método de acceso	TDMA		
Modulación	4-level FSK		DQPSK.
Canalización	2 x 6,25 kHz contiguos	12,5 kHz	25 KHz
Convencional	SI		SI
Operación en modo Trunking	Licenciado		Licenciado
Protocolos que utilizan FDMA			
Protocolo	NXDN		dPMR
Tipo	Propietario (Kenwood - Icom)		Abierto (ETSI)
Método de acceso	FDMA		FDMA
Modulación	4-level FSK		4-level FSK
Canalización	6,25 kHz	12,5 kHz	6,25 kHz
Convencional	SI		SI
Operación en modo Trunking	Depende del tipo de licencia		Depende del tipo de licencia

Figura 14. Cuadro comparativo de parámetros técnicos de tecnologías digitales

4. Para la implementación de RCBA digital, las empresas e instituciones deben considerar cual método de acceso y protocolo de comunicación se ajustan mejor a sus necesidades, por lo que es crucial tomar en cuenta las características mostradas en la figura 14.
5. Es importante recalcar que el protocolo TETRA no se ajusta a la canalización que dicta el PNAF conforme a los 12,5 kHz propuestos para la comunicación de redes de RCBA, siendo que TETRA trabaja con una canalización de 25 kHz, lo cual se aparta de lo dispuesto en el Plan mencionado.
6. Las bandas de frecuencias que están identificadas para el servicio de RCBA digital, en la reglamentación actual se definieron de 138 MHz a 174 MHz, 420 MHz a 430 MHz, de 440 MHz a 470 MHz. Según lo establecido en el PNAF, mediante nota CR 033, se extrae lo siguiente:

“CR 033 “Los segmentos de frecuencias de 138 MHz a 144 MHz, de 148 MHz a 174 MHz, de 225 MHz a 287 MHz, de 422 MHz a 425 MHz, de 427 MHz a 430 MHz, de 440 MHz a 450 MHz, de 451 MHz a 455 MHz y de 456 MHz a 470 MHz, en los servicios fijo o móvil, serán asignados para redes de radiocomunicación en banda angosta que operarán con 12,5 kHz de separación de canales y un ancho de banda de 8,5 kHz. A partir del 1° de enero de 2016 todos los sistemas de radiocomunicación que funcionen en dichas bandas deberán haber migrado, en su totalidad a tecnología digital y ajustarse a una separación de 6,25 kHz y/o dos canales contiguos de 6,25 kHz, con las excepciones que puedan darse en la banda de 225 MHz a 287 MHz. La banda de frecuencias de 450 MHz a 470 MHz se identifica para futuros despliegues de sistemas IMT¹⁴, en el servicio móvil. Corresponderá al Poder Ejecutivo

¹⁴ De las siglas en español de Telecomunicaciones Móviles Internacionales

establecer la fecha de uso y atribución de esta banda para sistemas IMT.” (MICITT, 2015)

Es importante indicar que la banda de 225 MHz a 287 MHz, no ha sido identificada para su uso en modulación digital a partir del 1° de enero del 2016, debido a que en esta banda el desarrollo de equipos de radio no es similar al de las otras bandas mencionadas en la nota CR 033, dado a que en otros países dicha banda no se encuentra atribuido para el servicio móvil terrestre.

7. Actualmente, todos los equipos que hacen uso del espectro radioeléctrico son causantes de interferencias, pero, estas pueden ser clasificadas entre interferencia admisible, interferencia aceptada e interferencia perjudicial.

Para evitar interferencias perjudiciales en los sistemas de RCBA, el PNAF define parámetros técnicos necesarios y de acatamiento obligatorio. Además las especificaciones técnicas de los equipos se deben alinear a lo definido en el Adendum IV del PNAF.

Ahora bien, las interferencias perjudiciales se pueden dar por el funcionamiento de estaciones sin autorización o ilegales, incluso, el mal funcionamiento de los equipos de transmisión puede provocar emisiones fuera de banda atribuidas al servicio y el no conocimiento de los límites de tolerancia o niveles de potencia pueden provocar emisiones no esenciales.

8. La migración hacia las tecnologías digitales, llámese TDMA o FDMA, brinda un uso eficiente del espectro radioeléctrico, tomando en cuenta que es un recurso escaso. Las modulaciones digitales comparadas con la modulación análoga proveen mejoras en materia de comunicación, por ejemplo, con la modulación digital se pueden obtener comunicaciones simultáneas, ya sea, de voz o en su defecto, manejo de datos para saber la ubicación GPS de los equipos asociados a una red, todo esto en el mismo ancho del canal (12,5 kHz) que se tenía solo para voz en modulación análoga.
9. El despliegue de una red digital implica una mayor inversión económica en equipos de RCBA, dado que los equipos de red permiten el envío de mensajes de texto, envío de las coordenadas de ubicación y llamadas uno a uno, además, se necesitan licencias y software de gestión de acuerdo a las funcionalidades o necesidades de comunicación de institución. No obstante a mayor demanda de equipos con modulación digital, el mercado podría disminuir los precios de este tipo de equipos digitales. Por otra parte, el despliegue de las redes con modulación análoga representa actualmente una menor inversión por la simplicidad de los equipos que trabajan con este tipo de modulación. Se debe tomar en cuenta que el costo o inversión de una red análoga o digital debe ser proporcional al dimensionamiento de la misma.

10. Al desplegar una red con equipos que utilicen tecnología digital, la interoperabilidad se reduce al emplear diferentes marcas que el mercado ofrece. Se debe tomar en cuenta el método de acceso a utilizar y por consiguiente el protocolo que se implementará, debido a que no poseen las mismas características de operación.
11. A parte de conocer las principales características de cada método de acceso, protocolos y especificaciones técnicas de equipos, para desplegar y poner en operación una red de RCBA, también es importante y necesario conocer previamente los estatutos reglamentarios que rigen nuestro país con respecto a la operación de este tipo de redes.

Referencias

- Associatiom, D. (2015, jul). (third ed.). pages 20
- Association, T. (2015, may). (sixth ed.). pages 20
- Communications, T. R. (2010). *Technologies and standards for mobile radio communications networks*. <http://www.qsl.net/kb9mwr/projects/dv/apco25/Digital-Radio-Standards.pdf>. pages 20
- de Espectro, A. N. (s.f.). *Cuadro nacional de atribución bandas de frecuencias*. <http://www.ane.gov.co/>. pages 19
- de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, A. F. (2015). *Cuadro de atribución de bandas de frecuencias de la república argentina*. <http://www.aftic.gob.ar/>. pages 19
- de Regulación y Control del Espectro, A. (2012). *Plan nacional de frecuencias*. <http://www.arcotel.gob.ec/>. pages 19
- de Telecomunicaciones, I. F. (2012). *Cuadro nacional de atribución de frecuencias*. <http://www.ift.org.mx/>. pages 20
- de Telecomunicaciones de Chile, S. (s.f.). *Cuadro de atribución de bandas de frecuencias en chile*. <http://www.subtel.gob.cl/>. pages 20
- dPMR Association. (2011). *Dpmr-faq*. <http://www.dpmr-mou.org>. pages 12
- Incorporated, I. (2015). *El sistema idas salva la brecha entre lo analógico y lo digital*. <http://www.icomamerica.com/>. pages 20
- León, J. G. (2011). Análisis del estándar de radio troncalizado digita tetra y de su posible aplicación en el ecuador. *Escuela Politécnica Nacional*. pages 19
- LoveToKnow, C. (2015, jul). (fourth ed.). pages 20
- MICITT. (2015). *Plan nacional de atribución de frecuencias*. <http://www.telecom.go.cr/>. pages 18, 20
- Solutions, M. (2015, apr). (fifth ed.). pages 20
- Villas, M. I. L. . P. A. (2010). Espectro ensanchado por secuencia directa. *Universidad Tecnológica de Pereira*. pages 19
- (León, 2011) (Villas, 2010) (de Espectro, s.f.) (de Regulación y Control del Espectro, 2012) (de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, 2015)

(de Telecomunicaciones de Chile, s.f.) (de Telecomunicaciones, 2012) (Incorporated, 2015) (Communications, 2010) (MICITT, 2015) (LoveToKnow, 2015) (Solutions, 2015) (Associatiom, 2015) (Association, 2015)

Glossary

ancho de banda es la diferencia de frecuencias máxima y mínima en donde se encuentra contenida la información. 5

bandas de frecuencias rango de frecuencias del espectro radioeléctrico que son atribuidas para un servicio de radiocomunicaciones en específico. 2

BER se refiere a la tasa de bits recibidos con respecto a los enviados en un intervalo de tiempo. 11

bien demanial hace referencia a los bienes de dominio público administrados por el Estado. 2

canal frecuencia específica en la que se transmite o recibe señales. 6

cobertura área geográfica que alcanza una señal a una determinada frecuencia. 3

encriptación método de cifrado y decifrado para que la información sea comprendida únicamente por personas específicas. 12

espectro radioeléctrico subconjunto de ondas de radios que se encuentran dentro del espectro electromagnético que son utilizadas para telecomunicaciones. 1

frecuencia determina la cantidad de ciclos de una señal periódica por unidad de tiempo, la unidad de medida son los Hertz (Hz). 2

IMT hace referencia a los servicios de telefonía móvil. 17

interferencia aceptada Señal percibida con niveles máximos admisibles de potencia, que no afectan el correcto funcionamiento del sistema interferido. 18

interferencia admisible Señal percibida con niveles bajos de potencia, que no afectan el correcto funcionamiento del sistema interferido. 18

interferencia perjudicial Señal percibida con niveles de potencia por encima del límite admisible, que degrada y afecta el correcto funcionamiento del sistema interferido. 18

interferencias señales no deseadas que degradan las transmisiones de otros sistemas de comunicaciones. 2

modulación consiste en la modificación de uno o varios parámetros de una señal para que esta sea apta para su transmisión a través de un medio guiado o no guiado. 4

móviles equipo tranceptor colocado en vehículos, autobuses, maquinaria, entre otros, con el objetivo de transmitir y recibir vos. 3

oscilador dispositivo electrónico que posee la capacidad de convertir la corriente directa en corriente alterna, con el que se puede generar ondas senoidales.. 11

portadora onda de frecuencia más alta, que es modificada en algunos de sus parámetros, por la señal que se desea transmitir.. 11

portátiles equipo tranceptor comúnmente denominado walkie talkie. 3

radiodifusión en radiodunicaciones, se refiere a la emisión de señales de radio y televisión en zonas geográficas amplias para el público en general. 2

repetidores equipo tranceptor que recibe una señal con nivel bajo para re-transmitirla a un nivel más alto con el objetivo de brindar cobertura a zonas geográficas más amplias. 3

sub-canales frecuencias de transmisión o recepción que se encuentran definidas dentro del mismo ancho de banda de un canal de comunicación. 6

trunking redes privadas móviles que brindan servicios de llamadas a usuarios específicos, comunicación por voz, mensajes de texto y otros, a través de un conjunto de frecuencias que dependiendo de la disponibilidad del canal se accede a los servicios. 12

Walkie Talkies Dispositivo tranceptor portátil que es utilizado para comunicaciones de voz entre personas. 14