

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

TRABAJO PREVIO LA OBTENCION DEL TÍTULO DE:

MAGISTER EN REDES DE COMUNICACIÓN

TEMA:

“ESTUDIO ESPECTRAL PARA LA APLICACIÓN DEL ESTÁNDAR 802.22 (WRAN) MEDIANTE EL USO DE USRP PARA ZONAS RURALES DEL CANTÓN AMBATO.”

AUTOR:

ANGEL SANTIAGO CRUZ VELASCO

TUTOR:

GUSTAVO XAVIER CHAFLA ALTAMIRANO PHD.

Quito, Febrero 2017

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Ing. Angel Santiago Cruz Velasco, portador de la cédula de identidad No. 1803736998, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

Ing. Angel Santiago Cruz Velasco

AGRADECIMIENTO

A Dios, a la Pontificia Universidad Católica sede Quito por los vastos conocimientos adquiridos y a mi Tutor Gustavo Chafra por el apoyo en el desarrollo de la investigación.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la vida y la fuerza para permitirme desarrollar esta investigación.

A mis Padres que son la fuente de inspiración y ejemplo a seguir como ejemplo de vida y de lucha.

A mi esposa Doris mujer ejemplar que con sus sentimientos puros me ayudan a ser mejor persona.

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| CAPITULO I- INTRODUCCION..... | 10 |
| 1.1. Introducción. | 10 |
| 1.2. Justificación | 11 |
| 1.3. Antecedentes | 13 |
| 1.4. Objetivo General. | 15 |
| 1.5. Objetivos Específicos..... | 15 |
| CAPITULO II- ESTADO DEL ARTE | 16 |
| 2.1. RADIO COGNITIVA..... | 16 |
| 2.1.1 Que es Radio Cognitiva ?..... | 16 |
| 2.1.2 Evolución de radio cognitiva. | 19 |
| 2.1.3 Aplicaciones Clave | 20 |
| 2.1.4 Una definición generalizada de la red de radio cognitiva..... | 25 |
| 2.1.5 Conceptos relacionados con la gestión del espectro. | 26 |
| 2.1.6 Conceptos relacionados con las plataformas computacionales. | 27 |
| 2.1.7 Estandar relacionado a Radio Cognitiva y a TV White Space..... | 30 |
| 2.2. Estándar IEEE 802.22..... | 32 |
| 2.2.1 Introducción. | 32 |
| 2.2.2 Arquitectura de IEEE 802.22..... | 35 |
| 2.2.3 Capa Física (PHY) para WRAN..... | 38 |
| 2.2.4 Modulación, Codificación..... | 44 |
| 2.2.5 Análisis de RF..... | 45 |
| 2.2.6 IEEE 802..2 Capa de control de acceso al medio (MAC)..... | 46 |
| CAPITULO III- SENSADO DEL ESPECTRO PARA 802.22..... | 63 |
| 3.1. Técnicas de sensado del espectro para 802.22..... | 63 |
| 3.1.1 Introducción. | 63 |
| 3.1.2 Cubrimiento de Espectro Compartido y Requerimientos de Sensado..... | 66 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.3 Técnicas de Sensado del Espectro..... | 67 |
| 3.2. Detección Cooperativa..... | 78 |
| CAPITULO IV- PROPUESTA..... | 83 |
| 4.1. SITUACION ACTUAL DE BANDA DE TELEVISION EN ECUADOR | 83 |
| 4.1.1 Asignación de frecuencias..... | 83 |
| 4.2. PARROQUIAS RURALES DEL CANTON AMBATO..... | 87 |
| 4.3. COMPONENTES PARA ADQUISICION Y SENSADO DE SEÑALES..... | 88 |
| 4.3.1 Características de la Antena..... | 89 |
| 4.3.2 Características de la USRP | 89 |
| 4.3.3 Software de Aplicación..... | 89 |
| 4.4. Programación en LabVIEW para la adquisición y procesado de las señales..... | 91 |
| 4.4.1 Parámetros de configuración..... | 91 |
| 4.4.2 Sensado de las señales por método de detección de Energía..... | 92 |
| 4.4.3 Procesado y toma de decisión..... | 94 |
| 4.4.4 Obtención de Resultados y Análisis..... | 96 |
| CAPITULO V- Conclusiones y Recomendaciones..... | 116 |
| 5.1. Conclusiones..... | 116 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 117 |
| BIBLIOGRAFIA:..... | 118 |
| ANEXOS: | 121 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 2.1-1 Interoperabilidad en CR | 22 |
| Figura 2.1-2 El espectro inalámbrico de 928-948 MHz en Rochester, Nueva York, el 19 de junio de 2008..... | 24 |
| Figura 2.1-3 La moderna gestión del espectro: clasificación con los ejemplos de aplicación. | 26 |
| Figura 2.2-1 Aplicación típica del estándar 802.22. | 35 |
| Figura 2.2-2 Principales características del estándar 802.22 WRAN en relación a los otros estándares de red inalámbrica existente. | 36 |
| Figura 2.2-3 Arquitectura de Referencia. | 37 |
| Figura 2.2-4 Modelo de Protocolo de referencia de BS y CPE. | 42 |
| Figura 2.2-5 Proceso de codificación de canal | 45 |
| Figura 2.2-6 Estructura MAC superframe..... | 48 |
| Figura 2.2-7 Estructura MAC frame..... | 49 |
| Figura 2.2-8 Ilustración de tiempo-frecuencia de la estructura de la trama 802.22. | 51 |
| Figura 2.2-9 Períodos tranquilos Intraframe e Interframe..... | 54 |
| Figura 2.2-10. Ejemplo de escenario de Comunicaciones inter-WRAN con CBP. | 62 |
| Figura 3.1-1 (a) Espectro de canal de National Television System Committee (NTSC) (b) Digital Television system (DTV) incluido Advanced Television Systems Committee. | 64 |
| Figura 3.1-2 Funciones del sensado del Espectro. | 65 |
| Figura 3.1-3 Diagrama de bloques del detector de energía..... | 68 |
| Figura 3.1-4 Representación gráfica e las probabilidades P_{fa} y $(1-P_d)$ | 71 |
| Figura 3.2-1 Detección Cooperativa | 81 |
| Figura 3.2-2 Detección Cooperativa | 82 |
| Figura 4.3-1 Componentes para adquisición y sensado..... | 88 |
| Figura 4.4-1 Configuración de USRP 2920..... | 91 |
| Figura 4.4-2 Frecuencias de análisis en la banda de TV. | 92 |
| Figura 4.4-3 Captura de señales. | 94 |
| Figura 4.4-4 Toma de decisiones en función de la distribución Gamma | 95 |
| Figura 4.4-5 Ubicación de Parroquias rurales de Ambato. | 96 |
| Figura 4.4-6 Probabilidad de ocupación de canales en Ambatillo. | 97 |
| Figura 4.4-7 Probabilidad de ocupación de canales en Atahualpa. | 97 |
| Figura 4.4-8 Probabilidad de ocupación de canales en Constantino Fernandez. | 98 |
| Figura 4.4-9 Probabilidad de ocupación de canales en Cunchibamba..... | 98 |
| Figura 4.4-10 Probabilidad de ocupación de canales en Huachi Grande..... | 99 |
| Figura 4.4-11 Probabilidad de ocupación de canales en Izamba. | 99 |
| Figura 4.4-12 Probabilidad de ocupación de canales en Juan Benigno Vela. | 100 |
| Figura 4.4-13 Probabilidad de ocupación de canales en Martinez. | 100 |
| Figura 4.4-14 Probabilidad de ocupación de canales en Montalvo. | 101 |
| Figura 4.4-15 Probabilidad de ocupación de canales en Pasa. | 101 |
| Figura 4.4-16 Probabilidad de ocupación de canales en Picaihua. | 102 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.4-17 Probabilidad de ocupación de canales en Pilahuín..... | 102 |
| Figura 4.4-18 Probabilidad de ocupación de canales en Pinllo..... | 103 |
| Figura 4.4-19 Probabilidad de ocupación de canales en Quisapincha..... | 103 |
| Figura 4.4-20 Probabilidad de ocupación de canales en San Fernando..... | 104 |
| Figura 4.4-21 Probabilidad de ocupación de canales en Santa Rosa..... | 104 |
| Figura 4.4-22 Probabilidad de ocupación de canales en Totoras..... | 105 |
| Figura 4.4-23 Probabilidad de ocupación de canales en Unamuncho..... | 105 |
| Figura 4.4-24 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Ambatillo..... | 106 |
| Figura 4.4-25 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Atahualpa..... | 106 |
| Figura 4.4-26 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Constantino Fernandez..... | 107 |
| Figura 4.4-27 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Cunchibamba..... | 107 |
| Figura 4.4-28 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Huachi Grande..... | 108 |
| Figura 4.4-29 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Izamba..... | 108 |
| Figura 4.4-30 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Juan Benigno Vela..... | 109 |
| Figura 4.4-31 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Martinez..... | 109 |
| Figura 4.4-32 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Montalvo..... | 110 |
| Figura 4.4-33 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Pasa..... | 110 |
| Figura 4.4-34 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Picaihua..... | 111 |
| Figura 4.4-35 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Pilahuín..... | 111 |
| Figura 4.4-36 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Pinllo..... | 112 |
| Figura 4.4-37 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Quisapincha..... | 112 |
| Figura 4.4-38 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en San Fernando..... | 113 |
| Figura 4.4-39 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Santa Rosa..... | 113 |
| Figura 4.4-40 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Totoras..... | 114 |
| Figura 4.4-41 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Unamuncho..... | 114 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1-1 Tipos de dispositivos de radio adaptable: (HW: Hardware, SW: Software)..... | 28 |
| Tabla 2.2-1 Parámetros del sistema WRAN | 39 |
| Tabla 2.2-2 Modos de PHY y sus modulaciones relacionados, las tasas de codificación, velocidades de datos..... | 41 |
| Tabla 3.2-1 Métodos de Detección del Espectro | 80 |
| Tabla 4.1-1 Distribución de frecuencias en Ecuador..... | 83 |
| Tabla 4.1-2 Grupo de Distribución de canales | 84 |
| Tabla 4.1-3 Ubicación de frecuencias y portadoras | 85 |
| Tabla 4.1-4 Canales asignados a la provincia de Tungurahua..... | 86 |
| Tabla 4.4-1 Requisitos para los parámetros de la capa física para una probabilidad típica de detección..... | 93 |

CAPITULO I- INTRODUCCION

1.1. Introducción.

La proliferación de dispositivos y servicios inalámbricos para usos tales como las comunicaciones móviles, la seguridad pública, WiFi y televisión sirven como el ejemplo más indiscutible de cuánto la sociedad moderna se ha vuelto dependiente de espectro radioeléctrico. Mientras que la tierra y la energía constituye el más preciado recurso de creación de riqueza durante las eras agrícola e industrial, respectivamente, el espectro radioeléctrico se ha convertido en el recurso más valioso de la era moderna.(FC Commission. (2006), n.d.).

En nuestro país y en el mundo existen zonas rurales que inevitablemente por su ubicación geográfica irregular y su reducido número de habitantes se convierten en zonas de difícil acceso y poco rentables para las compañías que ofrecen servicios de telecomunicaciones, un ejemplo claro es el servicio de banda ancha Inalámbrico por lo que el desafío de las empresas es llevar servicios de accesos a la información como el internet a zonas que por años se han encontrado alejadas y sus habitantes no han tenido la oportunidad de acceder al mismo.

De ahí han apareciendo diferentes tecnologías que permiten el acceso a los servicios mencionados, una de ellas son las que utilizan técnicas de Radio Cognitiva, o bien llamadas

Tecnologías Emergentes, este es el Estándar 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Network), que no es más que un método de acceso punto a multipunto que funciona en la banda de Televisión VHF y UHF, rango que cubre frecuencias entre 54 MHz y 686 MHz, convirtiéndose en una norma útil para servir a las zonas rurales donde los canales de televisión abierta llegan con baja potencia y su espectro asignado sub utilizado, consecuentemente se puede utilizar estos espacios para brindar servicios de comunicaciones inalámbricas(FC Commission. (2006), n.d.).

1.2. Justificación

El surgimiento del Estándar 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Network) aparece de necesidades de tecnologías emergentes para el acceso a servicios de banda ancha inalámbricos. A partir de esto bien sabido es que en la actualidad el espectro de frecuencias es escaso y costoso, con lo que la optimización de este recurso es prioritario, encontrar e identificar canales libres o espacios en blanco en la banda de TV en donde opera este Estándar es de vital importancia ya que podremos demostrar que es factible una posible y futura implementación en nuestro medio.

El aporte de este estándar no es más que la utilización de la banda de TV en las frecuencias de 54Mhz a 686Mhz para la transmisión de datos, el uso del espectro de televisión no utilizado es lo que nos guía fundamentalmente para que en áreas rurales se puede cubrir la brecha tecnológica de acceso a la información con este tipo de Estándar .

IEEE 802,22 (WRAN) se aprovecha de las características de propagación favorables en las bandas de VHF y UHF de televisión para proporcionar acceso inalámbrico de banda ancha bajo la Línea de Señal LOS (line-of-sight) y no línea de señal NLOS (non-line-of-sight) a través de una área grande (10 kilómetros a 30 kilómetros). Esto ocurre cuando se opera en una estricta base de no interferencia en el espectro asignado, pero no utilizado por los servicios existentes con licencia (IEEE Standards, 2011).

Como el estándar 802.22 se basa en técnicas de Radio Cognitiva (CR) y esta a su vez partió del desarrollo y aplicaciones de Radio definido por Software (SDR), se recurre a la utilización de la USRP (Universal Software Radio Peripheral) herramienta poca utilizada por desconocimiento pero que a medida de las investigaciones se va convirtiendo en plataforma física versátil y adaptable a diferentes software bajo licencia propietaria y libres, lo que permite la facilidad de manipular tan solo modificando el software con los módulos que permitan adaptar la señal y poderla analizar de una forma eficiente, principalmente para la aplicación de un método de sensado que ayude a identificar el entorno del espectro radioeléctrico en la banda de TV y sus posibles espacios en blanco que puedan ser ocupados sin interferir en el usuario propietario.

1.3. Antecedentes

Bien sabido es que la tendencia de acceso como redes tipo wi-fi, telefonía celular y en si redes inalámbricas conectan a los seres humanos, definitivamente por sus grandes ventajas una de ellas es la movilidad motivo por el cual hace que sea un gran atractivo a los usuarios.

Este gran atractivo a las redes inalámbricas tiene inconvenientes de ancho de banda debido principalmente a la asignación del espectro electromagnético por donde se puede transmitir, la verdad de este problema por decirlo así es un espectro asignado por entidades gubernamentales y estos no pueden ser utilizados por usuarios secundarios para realizar transmisiones (Deshmukh, M., Patif, K., Frederiksen, F., Skouby, K., & Prasad, 2013).

De ahí que con técnicas de transmisión como radio cognitiva se ha podido utilizar bandas licenciadas para poder transmitir datos, el espectro asignado a la banda de TV es un espectro subutilizado en cuanto a que existen los TVWS, espacios en blanco que se encuentran dentro del rango asignado a un canal y que pueden ser utilizado para transmisión de datos de manera oportunista sin interferir a la de TV (Zhao, Y., Morales, L., Gaeddert, J., Bae, K. K., Um, J. S., & Reed, 2007).

Tecnologías inalámbricas en zonas rurales y urbanas existen, tales como el Estándar IEEE 802.16 conocida como WIMAX, la cual opera en bandas licenciadas con velocidades

de 70 Mbps y puede cubrir territorios hasta 50Km, tecnológicas de alta inversión para empresas proveedoras de servicios de comunicaciones y por ende limitante económico para el usuario final (Patidar, M., Dubey, R., Jain, N. K., & Kulpariya, 2012).

Estudios realizados han comprobado que la banda de TV se encuentra subutilizada, por ejemplo un estudio en Doha (QATAR) permitió determinar el porcentaje de disponibilidad espectral, durante un lapso de tiempo de tres días en la banda comprendida desde los 700 hasta 3000 MHz, en donde se determinó que el porcentaje de utilización del espectro se encuentra alrededor del 14.6 % a 15.7%(Qaraqe, K. A., Celebi, H., Gorcin, A., El-Saigh, A., Arslan, H., & Alouini, 2009).

Por otro lado en Yunnan-China se determinó que dentro de la banda comprendida desde los 20 hasta 3000 MHz el porcentaje de utilización del espectro es del 13.7 % siendo el 2.11 % de la banda utilizada por los servicios de TV (Chen, D., Yang, J., Wu, J., Tang, H., & Huang, 2012).

Resultados que muestran que la disponibilidad espectral es amplia para aplicaciones del Estándar 802.22. Adicional en el 2015 ha sido declarado como norma aprobada y se la conoce como ISO/IEC/IEEE Std. 8802-22. ISO es una organización de membresía independiente, no gubernamental y el mayor desarrollador mundial de estándares internacionales voluntarios. ISO cuenta con 163 países miembros con una secretaría central

que tiene su sede en Ginebra, Suiza. IEEE e ISO tienen un convenio con la Organización Internacional de Normalización (PSDO, Partner Standards Developing Organization) (IEEE Standards, 2011).

Un análisis de este tipo en nuestro país y en América Latina no han sido desarrollados lo cual considero prioritario como fuente alterna de acceso a redes inalámbricas y como muestra de aplicaciones de hardware como el USRP adaptable a software bajo licencia propietaria y libres.

1.4. Objetivo General.

Elaborar un análisis de las oportunidades espectrales de transmisión de datos para el estándar 802.22 (WRAN) mediante uso de USRP para zonas rurales del cantón Ambato.

1.5. Objetivos Específicos.

- Analizar las características técnicas de la capa física del estándar 802.22 (WRAN).
- Determinar una técnica de censado del espectro que mejor se adapte para el rango de frecuencias de TV.
- Elaborar un método en USRP de análisis de huecos espectrales en el rango de frecuencias de 70 Mhz a 680 Mhz.

CAPITULO II- ESTADO DEL ARTE

2.1. RADIO COGNITIVA

2.1.1 Que es Radio Cognitiva ?

La capacidad de reconfiguración que ofrece la tecnología SDR(Radio definido por Software) permite a las radios cambiar las funciones y operaciones. Sin embargo, un SDR puede hacer esto sólo en la demanda; no es capaz de la reconfiguración de sí mismo en la forma más efectiva sin que el usuario sepa de esto. En la disertación de Mitola y una serie de publicaciones, imaginó una radio tal que se auto-reconfigure y apodó como término para ello como radio cognitiva. De acuerdo en un modelo de visión temprana Mitola, un CR (Radio Cognitiva) se realizaría a través de la integración de razonamiento basado en modelos con radio definido por software y podría ser orientable en un sentido amplio, en lugar de simplemente programable. En analogía con el proceso mental de la cognición, también Mitola enmascara un ciclo cognitivo a través del cual dicha radio puede reconfigurarse a sí mismo a través un proceso continuo de la conciencia (tanto de sí mismo y el mundo exterior), la percepción, razonamiento y toma de decisiones. El concepto de CR enfatiza una mejorada calidad de la información y la experiencia para el usuario, con la cognición y la capacidad de reconfiguración como un medio para este fin (Wyglinski, Nekovee, & Hou, 2009). Hoy en día, sin embargo, se ha convertido CR en una fórmula global para una amplia variedad de tecnologías que permiten a las radios alcanzar diversos niveles de auto-configuración, y con un énfasis en diferentes funcionalidades, que van desde el acceso inalámbrico universal, a la optimización de recursos de radio automatizado,

o el acceso dinámico del espectro para una futura administración de interferencia centrada en el dispositivo, a la visión de un CR ideal. Haykin, por ejemplo, define como un CR, radio capaz de ser consciente de su entorno, el aprendizaje y el cambio de forma adaptativa sus parámetros de funcionamiento en tiempo real con el objetivo de proporcionar confiabilidad en cualquier momento y en cualquier lugar de la comunicación, y la eficiencia espectral(Haykin, 2005).

La Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) utiliza una definición más restringida para este concepto:

"Una radio cognitiva (RC) es una radio que puede cambiar sus parámetros transmisores basado en la interacción con el entorno en el que opera. La mayoría de los radios cognitivos serán probablemente SDR (Software Defined Radio) pero ni tener el software ni siendo programable en campo son requisitos de un radio cognitivo. "

A pesar de estas diferencias en el alcance y el enfoque de la aplicación concepto CR, dos características principales parece ser en común en la mayoría de las definiciones.

Son reconfigurables y de conducta adaptativa inteligente. Aquí por conducta adaptativa inteligente significa la capacidad de adaptarse sin ser programado a priori para hacer esto; es decir, a través de alguna forma de aprendizaje. Por ejemplo, un teléfono que aprende un mapa de frecuencias de radio en su entorno podría crear un vector de ubicación indexados RSSI (Latitud, longitud, tiempo, RF, RSSI) y utiliza un algoritmo de aprendizaje para cambiar su banda de frecuencia cuando el usuario se mueve.

De esto se deduce que la funcionalidad de la radio cognitiva requiere al menos las siguientes capacidades (Wygliniski et al., 2009):

- Flexibilidad y agilidad, la capacidad de cambiar la forma de onda y otros parámetros operativos de radio sobre la marcha. En contraste, hay un grado muy limitado que el multiradio multicanal actual (MC-MR) puede hacer esto. Total flexibilidad hace posible cuando los CR's se construyen en base a los SDR. Otro requisito importante para lograr la flexibilidad, que es menos discutido, es la tecnología de antena de banda ancha o reconfigurable.
- Sensado, la capacidad de observar y medir el estado del medio ambiente, incluyendo la ocupación espectral. Es necesaria la detección si el dispositivo va a cambiar su funcionamiento basándose en su conocimiento actual del entorno de RF.
- El aprendizaje y la adaptabilidad, la capacidad de analizar la información sensorial, para reconocer patrones, y modifican el comportamiento operativo interno basado en el análisis de una nueva situación, no sólo basados en algoritmos pre codificados, sino también como resultado de un mecanismo de aprendizaje. En contraste, la capa MAC IEEE 802.11 permite que un dispositivo para adaptar su actividad de transmisión para la disponibilidad de canales que detecta. Pero esto se logra mediante la predefinida escuchar-antes-hablar y del algoritmo exponencial backoff en lugar de un ciclo cognitivo.

2.1.2 Evolución de radio cognitiva.

Los principales precursores para la investigación CR fue el trabajo doctoral de Mitola y Maguire en 1999 y principios de los estudios de medición de espectro llevado a cabo tan pronto como en 1995 para cuantificar el uso del espectro, tanto en la banda con licencia y sin licencia. En los Estados Unidos, la investigación CR se centró en la rapidez en el acceso al espectro dinámico (DSA) y uso secundario de espectro como los principales objetivos de la investigación inicial. Este fue debido al hecho de que estaba atrayendo a un número de proyectos de investigación tempranos (por ejemplo, URA, ESPECTRO, y MILTON). El proyecto más notable en la gestión del espectro y la investigación de políticas fue el proyecto XG financiado por DARPA. El objetivo principal del proyecto XG era estudiar los llamados servidores de políticas y tecnologías de uso secundario, en particular para fines militares. Sin embargo, el éxito inicial de XG empujaba a la comunidad para estudiar más ampliamente las posibilidades de CR. Otro impulso para la investigación fue dada por varios investigadores (como Lessig, Reed, y Peha), quien señaló que hay posibles fallas en el dominio regulatorio actual (Wyglinski et al., 2009).

En el ámbito de la normalización, tres grupos principales han surgido para trabajar en tecnologías y arquitecturas relevantes: IEEE 802.22 y SCC41 (formalmente P1900). Además, el Foro de SDR como un grupo de la industria ha estudiado algunas cuestiones relacionadas con el CR Comercialmente, la actividad más avanzada de normalización es IEEE 802.22 y la investigación relacionada que tiene como objetivo proporcionar un acceso dinámico Al espectro vacante de TV. Sin embargo, IEEE 802.22 requiere un nivel bastante limitado de la cognición.

En los Estados Unidos, la FCC ya propuso para permitir el acceso oportuno a las bandas de televisión en 2004 . El prototipo CR que operan en este modo se presentaron a la FCC por Adaptrum, I2R, Microsoft, Motorola y Philips en 2008 [13]. Después de realizar pruebas exhaustivas, la FCC adoptó en noviembre de 2008 un segundo informe y orden que establece reglas que permiten el funcionamiento de los dispositivos cognitivos en TVWS, a título secundario(Magazine, 2008).

Por otra parte, Ofcom afirma que: "Vemos un margen importante para equipos cognitivos utilizando espectro intercalado emerja y se beneficie de la economía internacional ". Más recientemente, el 16 de febrero de 2009, Ofcom publicó una nueva consulta que proporciona más detalles de su propuesta de acceso cognitivo a TVWS .Con tanto en los Estados Unidos y el Reino Unido adapta el modelo de acceso cognitivo, y el 802.22 como estándar emergente para el acceso cognitivo a bandas de TV , podemos esperar que la RC puede llegar a ser corriente principal de tecnología en todo el mundo en un futuro próximo (Wyglinski et al., 2009).

2.1.3 Aplicaciones Clave

2.1.3.1 Interoperabilidad

Hoy en día existe una gran cantidad de estándares inalámbricos, aplicaciones y servicios que se utilizan en numerosos sectores de la sociedad moderna, así como dentro del mismo sector, tales como el militar, seguridad pública y emergencias(Maldonado, D., Le, B., Hugine, A., Rondeau, T. W., & Bostian, 2005) . Por consiguiente, el uso de múltiples estándares de comunicación (potencialmente incompatibles) dentro de un sector específico

podría afectar gravemente a la eficacia de la coordinación de las operaciones, produciendo una situación análoga a la narración bíblica que describe la Torre de Babel. Por ejemplo, la eficacia de los equipos de emergencia para hacer frente a las secuelas del huracán Katrina en Nueva Orleans durante el mes de agosto de 2005 resultó muy afectada por la incapacidad de su amplia gama de equipos de comunicación desplegadas para operar con cada uno de otros, especialmente dentro de un entorno operativo descentralizado. Esto se muestra en la Figura 2.1-1, donde los miembros del equipo a emplear un estándar de comunicaciones que operan en una frecuencia portadora que es diferente desde el equipo de comunicación empleado por ambos equipos B y C. Por lo tanto, salvo que dichos equipos estén coordinadas con respecto a los parámetros de funcionamiento y normas de comunicación, la eficacia de las comunicaciones entre ellos, sería casi imposible.

Sin embargo, hay varias razones por sectores como los militares y la seguridad pública siguen manteniendo una gama de soluciones de comunicación, como una significativa inversión financiera y los requisitos específicos de rendimiento. Por consiguiente, CR posee el potencial para deshacer el síndrome de la Torre de Babel con respecto a las comunicaciones entre los equipos que emplean diferentes equipos .

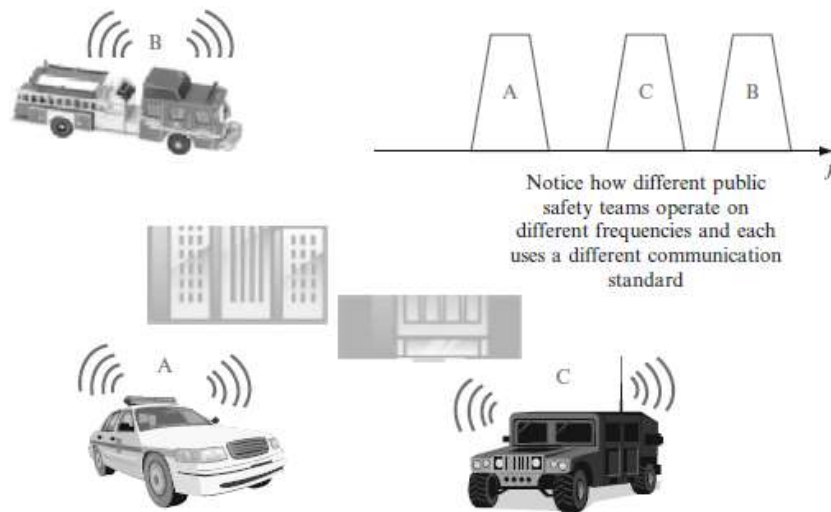


Figura 2.1-1 Interoperabilidad en CR

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 10). Burlington. Elsevier Inc.

Debido a su capacidad de asumir rápidamente cualquier configuración de radio disponible, plataformas CR puede reconfigurarse a un estándar de comunicaciones existentes con el fin de comunicarse con cualquier sistema de comunicación desplegado en el campo o facilitar comunicaciones entre dos plataformas que no son CR empleando diferentes normas. Por otra parte, con su inteligencia artificial integrada, CR puede distinguir de forma automática entre los diferentes estándares de comunicación en la ausencia de cualquier controlador centralizado.

2.1.3.2 Acceso dinámico al Espectro (DSA)

Con la creciente demanda de ancho de banda adicional para apoyar los servicios existentes y de los nuevos, tanto políticos y personas enroladas en comunicaciones están

buscando soluciones para esta aparente escasez de espectro. Mientras tanto, los estudios han demostrado que la medición de gran parte del espectro con licencia es relativamente no utilizada a través del tiempo y la frecuencia . No obstante, requisitos normativos actuales prohíben las transmisiones sin licencia en estas bandas, limitando en lugares densamente pobladas, propensas a interferencias de bandas de frecuencia. Para proporcionar el ancho de banda necesario requerido por servicios inalámbricos actuales y futuros y sus aplicaciones, la FCC ha comenzado a trabajar sobre el concepto de "endeudamiento" de los usuarios sin licencia de espectro licenciarios (Marcus, 2005). Este enfoque se conoce como uso acceso dinámico del espectro. Con los recientes avances en la tecnología de CR, ahora es posible para estos sistemas simultáneamente para respetar los derechos de los titulares de licencia mientras proporciona flexibilidad adicional y acceso al espectro.

Un ejemplo de cómo funcionaría DSA se puede ilustrar en la Figura 2.1-2, donde partes del espectro entre 928 MHz y 948 MHz están ocupados sobre ambos la frecuencia y el tiempo. Sin embargo, es fácilmente observable que también existe porciones del espectro que no están ocupadas por un período de tiempo significativo, haciendo en candidatos adecuados para acceso secundario por medio de dispositivos inalámbricos sin licencia en una marco DSA. Sin embargo, cuando se accede a estos rangos de frecuencia desocupadas dentro de un espectro con licencia, el dispositivo inalámbrico secundario debe asegurarse de no interferir con las transmisiones de los usuarios primarios.

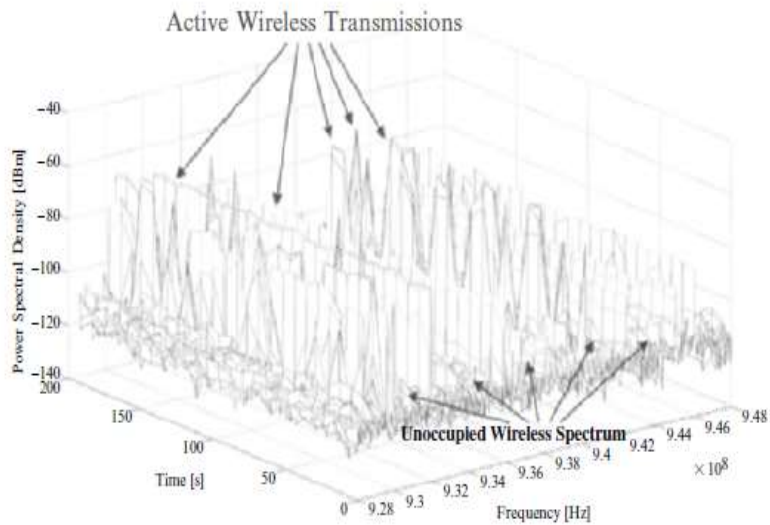


Figura 2.1-2 El espectro inalámbrico de 928-948 MHz en Rochester, Nueva York, el 19 de junio de 2008.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 11). Burlington. Elsevier Inc.

Interferencia puede ocurrir cuando la radiación fuera de banda (OOB) de la transmisión secundaria excede los niveles tolerables, contaminando la transmisión del usuario principal si está ubicado relativamente cerca en el dominio de la frecuencia. Al mismo tiempo, por la naturaleza de las transmisiones inalámbricas, un espectro que podrían estar desocupado, potencialmente podría ser ocupado en un instante de tiempo posterior. Por consiguiente, la plataforma CR debe ser consciente del medio ambiente y reconfigurables rápidamente a evitar la interferencia de las transmisiones de usuario secundario a usuarios primarios.

Para lograr una mayor eficiencia espectral, técnicas de acceso múltiple pueden ser emplean de tal manera que múltiples usuarios secundarios pueden transmitir datos dentro de la misma rango de frecuencia. Se han propuesto varias técnicas para lograr múltiples

accesos de usuario secundario, incluyendo las basadas en acceso múltiple por división de código (CDMA), la multiplexación espacial , y Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM) .

Con respecto a la tecnología OFDM las técnicas basadas en el concepto de agrupación de espectro puede aplicarse de manera efectiva, donde los datos se transmiten en desocupadas porciones de frecuencia, usando un subconjunto de sub-portadoras activas.

2.1.4 Una definición generalizada de la red de radio cognitiva.

Un aspecto interesante que observamos con respecto a CR es que se adapta a muchos campos de esfuerzos científicos y de ingeniería. Por ejemplo, estimula las técnicas de procesamiento de señales con respecto a la detección y el censado; parece como una fértil área de aplicación de la inteligencia artificial (AI); fomenta la teoría de estimación así como los entusiastas como lingüistas con respecto a la formulación de políticas; ofrece nuevas oportunidades creativas para sistemas especialistas. Para concluir, Aquí definimos el CR-en términos sencillos como el concepto con el cual los nodos inalámbricos adaptar sus propiedades, incluida la radio, para conseguir la eficiencia de uso del espectro, en el tiempo y en el espacio, sobre la base de los factores tales como la radio, medio ambiente, políticas y requisitos de la capa superior con un inherente y aprendizaje constante para mejorar el uso del espectro(Wyglinski et al., 2009).

2.1.5 Conceptos relacionados con la gestión del espectro.

A lo escrito en lo anterior se puede concluir que el CR ha sido reducido de alguna manera a la capa de gestión del espectro solamente. Así, todos los conceptos relacionados con los enfoques modernos de la gestión del espectro se mezclará con CR . Para eliminar la ambigüedad en la terminología, se presenta brevemente una clasificación en la Figura 2.1-3.

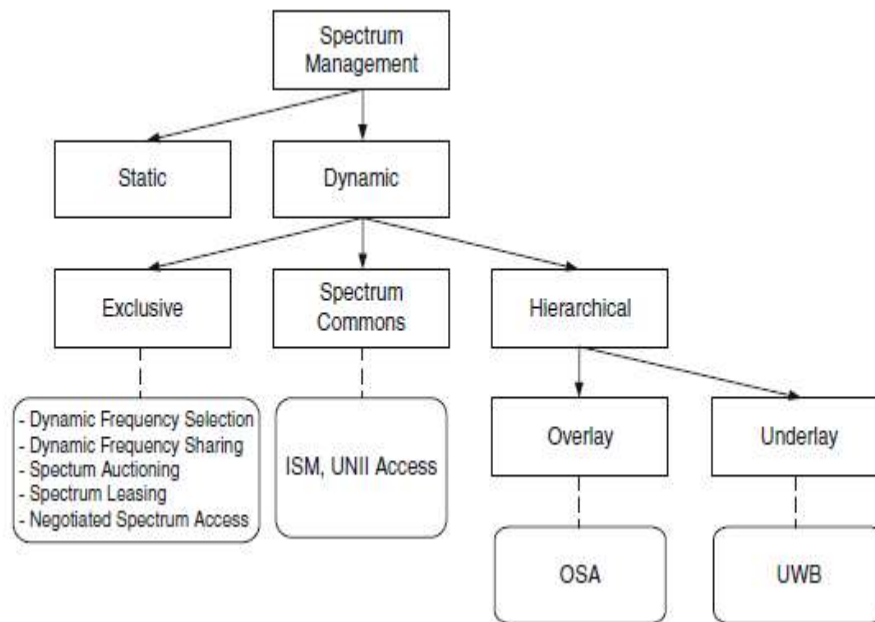


Figura 2.1-3 La moderna gestión del espectro: clasificación con los ejemplos de aplicación.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 377). Burlington. Elsevier Inc.

Podemos considerar tres modelos esenciales: Administración de espectro exclusivo (ESM), el espectro común (SC) compartir el modelo de gestión del espectro y jerárquico (HSM). El modelo de la ESM da aún el uso de canal exclusivo para cada usuario o proveedor de servicio pero difiere de una asignación estática en el sentido de que los

canales se asignan dinámicamente entre posibles licenciatarios. El proceso de acceso de canal exclusivo generalmente se rige por órganos del reglamento de radiocomunicaciones. Las diferencias entre los enfoques de la ESM, especificado en la Figura 2.1-3, dependen del modelo económico, que varía de un país a otro. En el modelo SC, distintos usuarios compiten por las frecuencias asignadas, en igualdad de condiciones. El modelo HSM proporciona a usuarios primarios (con licencia) (PUs) más derechos de uso del espectro de otros secundarios (sin licencia) usuarios (SUS). Podemos distinguir dos enfoques de HSM. En HSM de superposición, sólo un usuario del sistema puede utilizar una banda de frecuencia en un determinado espacio y tiempo, y el SUs tienen que retroceder cuando un PU está presente. Sin embargo, cuando no está presente el PU, el SU puede utilizar la banda de frecuencia en forma oportunista, por lo que esta técnica también se conoce como el acceso al espectro oportunista. En la base HSM, un SU puede transmitir en una banda ocupada ya si esta transmisión no aumenta la interferencia a la PU por encima de un umbral determinado. Una nueva clasificación de HSM de superposición (no se muestra en la figura 3) implica la coexistencia simétrica (cuando ambos SU y el adaptador de redes PU) y coexistencia asimétrica (sólo cuando su red se adapta, obedeciendo las necesidades PU) (Wyglinski et al., 2009).

2.1.6 Conceptos relacionados con las plataformas computacionales.

Otra definición ambigua proviene de la aplicación CR. Categorías y Clases de diferentes dispositivos de radio adaptable en el futuro se enumeran en la Tabla 2.1-1. Esta comparación simplista intenta mostrar las diferencias entre ellos, ya que aún persiste cierta confusión en la comunidad CR sobre cómo clasificar los diferentes dispositivos y sistemas.

Hay que tomar en cuenta que diferentes hitos en la gestión del espectro flexibilidad han sido mapeados en diferentes plataformas de hardware. Cuanto más flexible es el sistema dado, más flexible se convierte en la plataforma de hardware. Ciertos hitos que tenemos que tener en cuenta en el desarrollo de software basado en plataformas de radio son SPEAKEasy, Joint Tactical Rradio System , DARPA XG radios programa e integrada de comunicaciones, navegación y aviónica (identificación ICNIA) (Wyglinski et al., 2009). Podemos predecir un semi-crecimiento exponencial en hardware lo que dará mayor flexibilidad en los próximos años.

Tabla 2.1-1

Tipos de dispositivos de radio adaptable: (HW: Hardware, SW: Software)

| Type of Radio | Platform | Reconfiguration | Intelligence |
|----------------|----------|-----------------------------|--|
| Hardware | HW | Minimal | None |
| Software | HW/SW | Automatic | Minimal |
| Adaptive | HW/SW | Automatic/predefined | Minimal/none |
| Reconfigurable | HW/SW | Manual/predefined | Minimal/none |
| Policy based | HW/SW | Manual (database)/automatic | Minimal/none |
| Cognitive | HW/SW | Full | Artificial/ machine learning |
| Intelligent | HW/SW | Full | Machine learning/ predicting decision |

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 378). Burlington. Elsevier Inc.

Algunas explicaciones y características de los términos en la Tabla 2.1-1. Nos referimos al estándar SCC41 para 1900.1.

- Radio de hardware: La capacidad de dispositivos CR, cambian sus características de radio se ha implementado completamente en hardware. Así, una vez en el

campo de los dispositivos no serán capaces de cambiar sus características diferentes a lo que ya está incorporado. Por ejemplo, el rango de frecuencia programada en el hardware es siempre la misma, incluso aunque el usuario sabe que hay una oportunidad para trabajar en un rango diferente. Por lo tanto, el alcance se limita en este caso.

- La radio por software: La capacidad de dispositivos CR cambian sus características de radio también está implementada en el software. Por lo tanto, los dispositivos son capaces de cambiar sus características de otros de lo que ya está incorporado. Por ejemplo, en contraste con lo anterior, el rango de frecuencia programada en el hardware pueden ser cambiados por cargar un parche new-software (digamos, un simple archivo de configuración).
- Radio Adaptiva: Esta es la capacidad de dispositivos CR donde sus características de radio se cambian mediante mecanismos tales como los de bucle cerrado o controladores de lazo abierto. Básicamente, los dispositivos pueden adaptarse al entorno mediante la detección y utilizando la lógica preprogramada y técnicas de control.
- Radio reconfigurable: Las radios en dispositivos CR cuyas funcionalidades se pueden cambiar manualmente. Un hardware y un software de radio reconfigurable de ambos, aunque de diferentes maneras y en diversos grados.
- Radio basada en políticas. Los cambios en las funciones de radio de dispositivos CR están regidos por las políticas. El conjunto de políticas generalmente está disponible como un conjunto de datos (o base de datos). Por ejemplo, las

frecuencias utilizadas por equipos militares no son permitidos a ser usados por otras personas en todas las circunstancias. Básicamente, la política rige las características operacionales de los dispositivos CR bastante irrelevante si son capaces.

- La radio cognitiva. Ya se ha definido. Esto incluye bases de datos, políticas, técnicas de aprendizaje, y así sucesivamente.
- Radio inteligente. Esto incluye radios cognitivas, que también son capaces de aprender, así como predecir las situaciones y adaptarse. En un sentido general y crudo, es un software de radio. Sin embargo, con respecto a la anterior explicación de la radio por software, simplemente especifica la capacidad para trabajar con un software de control, pues una radio inteligente es mucho más que una simple radio por software.

2.1.7 Estandar relacionado a Radio Cognitiva y a TV White Space.

IEEE otros proyectos relacionados a la próxima generación de radio, como IEEE 802.{18, 19, 20, 22} son las fuentes de conocimientos especializados para IEEE SCC41. Desde el diálogo activo entre los diferentes organismos de estándares es crucial en esta etapa de desarrollo de CR, IEEE SCC41 inició la cooperación con la FCC, Ofcom, SDR Forum, andOMGForum, para nombrar unos pocos.

2.1.7.1 IEEE 802.22 para espacios en blanco de TV.

Para hacer realidad el acceso de banda ancha universal, permiten a la industria de servicios de Internet para crecer y hacer que los consumidores en Internet el acceso competitivo al ofrecer más opciones, los espacios en blanco en la banda de televisión se abrió para el uso sin licencia por la FCC (Commission, 2004). Así, el uso omnipresente de acceso inalámbrico está pensado como un importante factor de decisión para permitir más espectro. De hecho, incluso un acceso fijo inalámbrico tiene muchas ventajas sobre el acceso a la red cableada en términos de facilidad de configuración y uso. En este sentido, el espacio en blanco es una iniciativa de la coalición que influyeron en la FCC para abrir el espectro de televisión. Además, IEEE 802.22 efectivamente tuvo la iniciativa de definir un estándar para usar los espacios en blanco en la banda de TV.

IEEE 802.22 está pensado como una alternativa a la tecnología WiFi con un espectro sin licencia como WiFi, pero un mejor espectro entre 54 MHz y 863 MHz. Similar a las señales de televisión el acceso a Internet puede ser a lo largo de decenas de kilómetros y sin restricciones con respecto a los ambientes en el edificio y similares. Sin embargo, los desafíos son muchos: la identificación de los usuarios primarios, la enumeración de los canales no utilizados localmente, y la definición de los niveles de potencia, de modo que no interfiera con las bandas adyacentes. Las dos importantes entidades definidas aquí son la estación base y el equipamiento de las instalaciones del cliente (CPE). BS controla todos los CPEs, determina cuándo envía datos y los canales a utilizar. CPEs también el espectro de detección en sus proximidades, permitiendo la detección distribuida, y enviarlo de vuelta al BS. Con la apertura de los espacios en blanco en la banda de TV por la FCC, esta norma adquirió un papel importante lo que se explicará más a fondo a continuación.

2.2. Estándar IEEE 802.22

2.2.1 Introducción.

La mayoría de los dispositivos electrónicos están desplazando hacia wireless por flexibilidad y portabilidad para superar la basura creada por los cables, así como las limitaciones en la movilidad. Este fenómeno es visto principalmente en espectro no licenciado debido a los avances en las comunicaciones de banda ancha inalámbrica, Wireless LAN/PAN/MAN, cuidado de la salud, la seguridad pública, etc. Esta explosión ha creado un estallido de recursos de radio. Es bien sabido que el espectro radioeléctrico es controlado y asignados por organismos reguladores, conduciendo a ser económicamente valioso. Esto ha instigado los órganos reguladores como las comisiones y Federal de Comunicaciones (FCC), a través de fuerza de tareas a reanalizar el espectro con licencia y recomendar la modificación de uso de espectro licenciado en 2004 (Mishra, A. K., & Johnson, 2015).

Con la fuerza de tarea especial de FCC y algunas universidades de investigación en EEUU, informó de que la utilización del espectro en algunas bandas, como la banda de TV es muy baja, donde como medio de utilización en banda móvil y es muy utilizado en la banda sin licencia en algún tiempo y lugar. También se encontró que el cambio de la televisión analógica a la televisión digital permitió reducir la utilización de bandas con licencia. Este importante resultado FCC para revisar las cuestiones relativas a la gestión del espectro tradicional que está creando obstáculos en la gestión del espectro para los avances en las tecnologías inalámbricas en zonas semiurbanas y rurales de banda ancha inalámbrica, cuidado de la salud y la seguridad pública. FCC creó una oportunidad de oro, en su

notificación de propuesta de elaboración de normas (NPRM), lanzado en mayo de 2004 y la próxima versión de 2008, proponiendo para permitir que los canales de televisión con licencia 513 en la banda de VHF y 1451 en la banda UHF se utiliza para sistemas de acceso de banda ancha fija con tecnologías de radio cognitiva como mecanismo para la coexistencia . Esto proporcionó una amplia banda de frecuencias de 53 a 837 MHz como recurso adicional bajo la banda de TV VHF y UHF. La banda de TV tiene características inherentes, una es que adapte a la conectividad de red de banda ancha con ventajas añadidas. Características de la banda de TV son relativamente bajas y sea por ruido industrial y reflexiones ionosféricas, tamaños de antenas razonables, y buenas propagaciones sin línea de visión(NLOS) y su amplia cobertura de distancia puede ser ideal para la conectividad de datos inalámbrica en zonas rurales y remotas (IEEE Std, 2011).

Se encontró que la mayoría de las zonas rurales y alejadas en el mundo están enfrentando la brecha digital en comparación con sus contrapartes urbanas. Esto atribuyó principalmente a los costes de infraestructura en forma de instalación de cable óptico y una línea de suscriptor digital (DSL) en áreas de baja densidad de población, como las zonas rurales y alejadas. Así que una investigación ha instigado a la utilización de espectro de televisión para conectividad de banda ancha rural en un camino sin obstáculos. Es probable que esto se hizo posible mediante concepto cognitivo la cual fue iniciada por Joseph Mitola III de definir grupos de software (Mitola III, J., Maguire Jr, 1999). La Radio cognitiva es una tecnología de radio en los que el hardware de radio observa el entorno del escenario y se adapta a las características del canal sobre la marcha. Se utiliza como concepto central en el análisis de la escena de la radio, el estado de canal, estimación de modelado predictivo, control de potencia de transmisión y los comandos de gestión de espectro para prestar un

buen servicio QoS en espectro no licenciado sin obstruir al usuario con licencia. El grupo de trabajo para IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN), se formó en 2004 para enmarcar la capa física (PHY) y la capa de acceso al medio (MAC), el protocolo de interfaz de aire para conectividad de banda ancha inalámbrica rural sin afectar a los usuarios titulares en los espacios en blanco de televisión. Los usuarios predominantes son los operadores de televisión con licencia y dispositivos auxiliares de baja potencia especificada en el Título 47, Parte 74 del Código de Regulaciones Federales (CFR) de la FCC, USA como dispositivos como micrófono sin licencia que operan en la banda de VHF y UHF de 57 a 867 MHz. Esta norma garantiza la interoperabilidad de múltiples proveedores de banda ancha inalámbrica, productos desarrollados para la accesibilidad a áreas geográficas diversas, incluyendo las zonas rurales escasamente pobladas (IEEE Std, 2011). Proyecto de procedimiento de PHY y MAC IEEE 802.22 ha finalizado en julio de 2011. Otros dos sub proyectos incluyen IEEE 802.22.1 que explica el procedimiento de protección auxiliar de baja potencia utilizando beacons se completó en 2010 e IEEE 802.22.2 que proporciona información acerca de recomendar la práctica y la implementación del sistema IEEE 802.22 se completó en 2013. Dos más sub proyectos de IEEE 802.22.2a y IEEE 802.22.2b se espera posteriormente para modificar la gestión, el plano de control y ampliar aplicaciones WRAN en tiempo real y la monitorización en tiempo casi real, de emergencia, servicios de banda ancha, servicios de atención médica a distancia, etc., que requieren velocidades de datos más altas y mayor número de dispositivos. Numerosos artículos publicados recientemente son informes del estándar IEEE 802.22, la aplicación de configuración de MAC y PHY antes del proyecto de publicación.

2.2.2 Arquitectura de IEEE 802.22

Las redes regionales wireless que esta norma desarrolló, se espera operar en zonas de baja densidad de población y facilitar el acceso de banda ancha a las redes de datos mediante canales de televisión vacantes en las bandas de VHF y UHF en el rango de frecuencias de entre 54 MHz y 862 MHz, evitando interferencias en la emisión predominantes en estas bandas. Una aplicación típica será la cobertura del área rural alrededor de una aldea, como se ilustra en la Figura 2.2-1, dentro de un radio de 17-30 km, dependiendo de la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP) de la estación base mediante modulación adaptativa, aunque el MAC podía adaptarse a los terminales del usuario ubicados tan lejos como 100 km cuando frecuencia de radio (RF) prevalecen las condiciones de propagación de la señal.

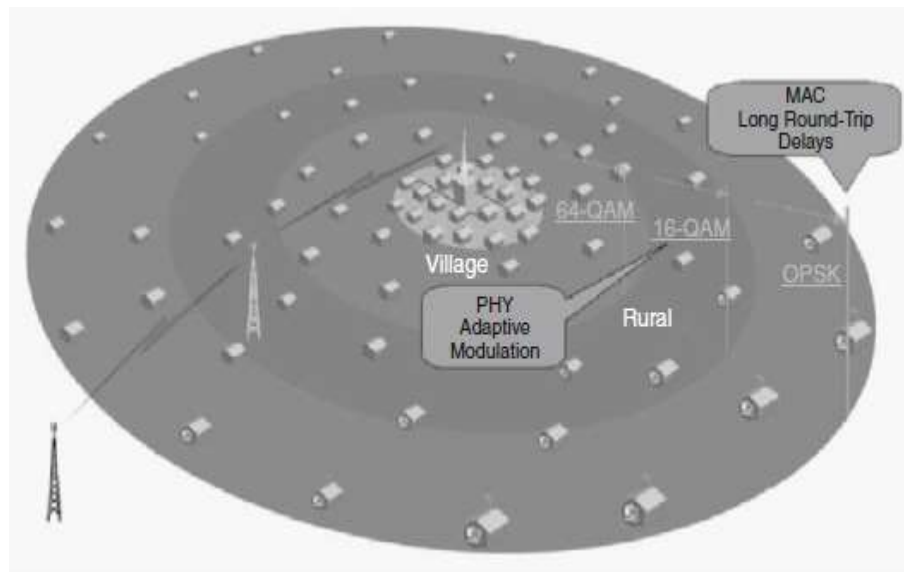


Figura 2.2-1 Aplicación típica del estándar 802.22.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 390). Burlington. Elsevier Inc.

Como se mencionó los requisitos funcionales 802.22, la capacidad en el terminal del usuario se espera que sea de 1,5 Mb/s en el downstream y 384 kb/s en el upstream. La disponibilidad del servicio debido a la propagación de radiofrecuencia se supone al 50% de las ubicaciones para permitir que el proveedor de servicio para llegar a suscriptores en áreas marginales, y el 99,9% del tiempo para proporcionar una conexión fiable donde es posible. El promedio de la eficiencia del espectro en el área de cobertura se espera alrededor de 2 bps/Hz, dados los parámetros de modulación adaptativa y las limitaciones operacionales que se describirán más adelante; y suponiendo un canal de televisión de 6 MHz de ancho de banda y un ratio de 40:1 de la sobresuscripción resultante de la naturaleza estocástica del uso de la red de datos, esto se traduce en un total de 255 terminales de usuario que puede ser servido por la estación base por cada canal de televisión.

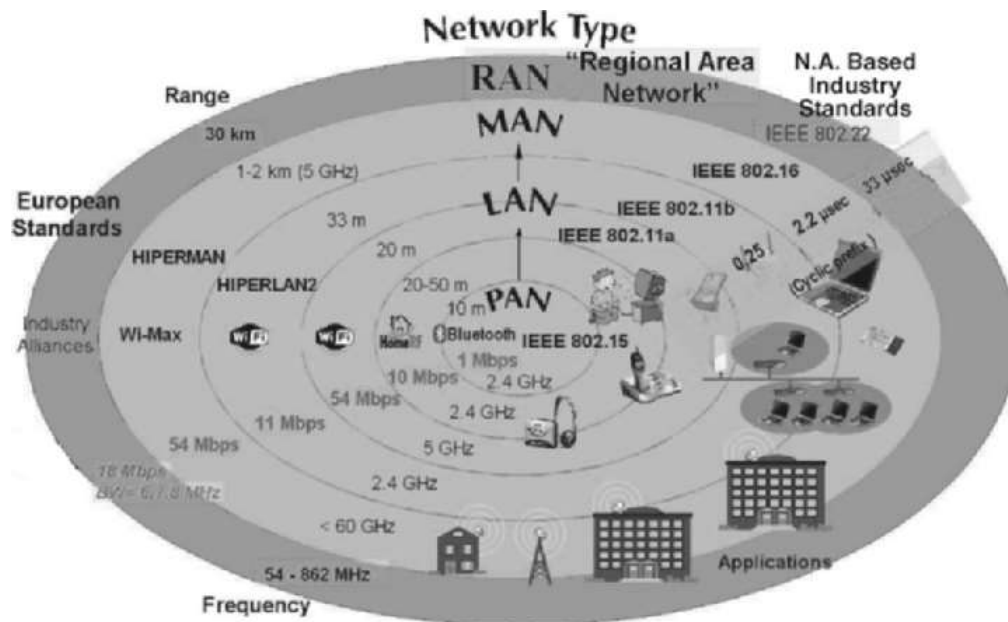


Figura 2.2-2 Principales características del estándar 802.22 WRAN en relación a los otros estándares de red inalámbrica existente.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 391). Burlington. Elsevier Inc.

El sistema 802.22 especifica una interfaz de aire inalámbrica fija de punto a multipunto (PMP) mediante el cual una estación base (BS) gestiona su propia celda y todos los asociados Consumer Premise Equipment (CPEs), tal como se ilustra en la Figura 2.2-3.

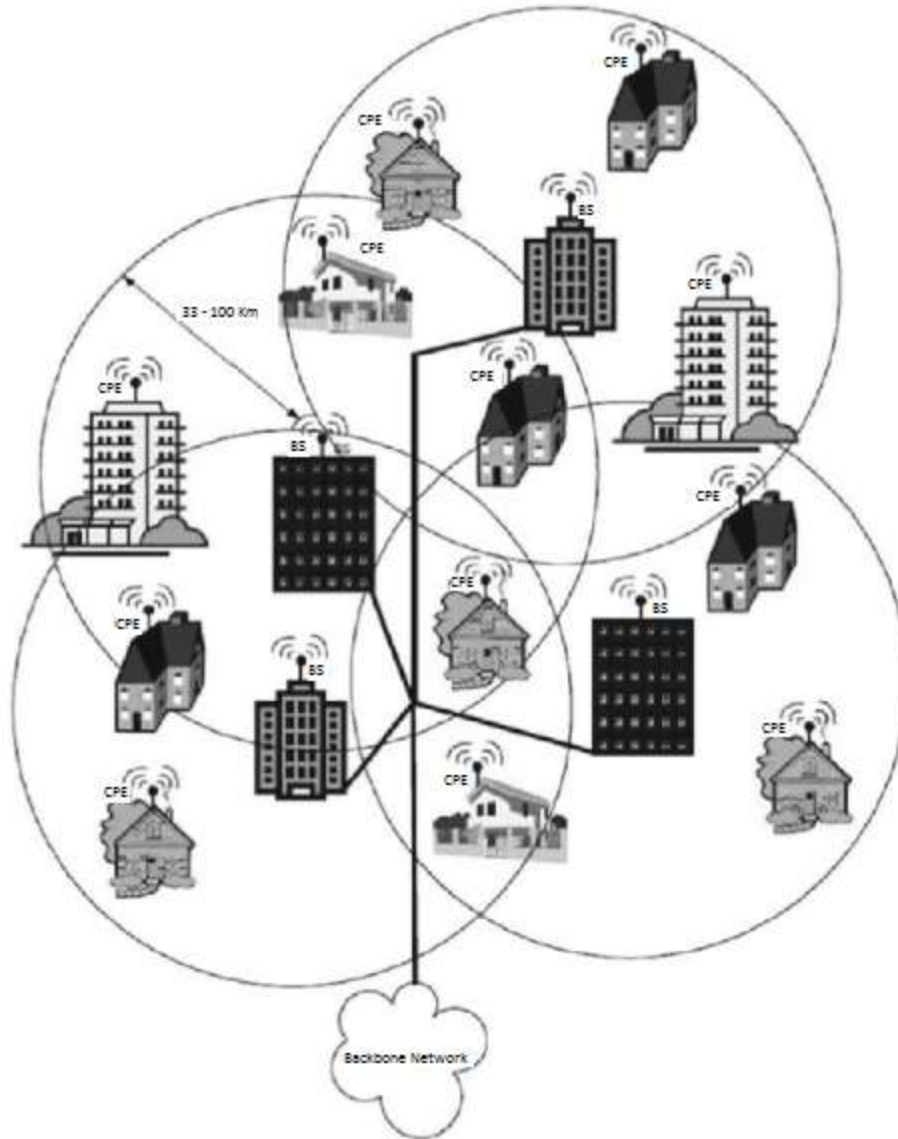


Figura 2.2-3 Arquitectura de Referencia.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 392). Burlington. Elsevier Inc.

La BS controla el medio de acceso en su celda y transmite en el sentido downstream a los distintos CPEs, que responde a la BS en sentido upstream. Para garantizar la protección de los servicios, el titular sigue un estricto sistema 802.22 master/slave, en donde la relación BS desempeña el papel del maestro y el CPEs son los esclavos. CPE no se pueden transmitir antes de recibir la autorización apropiada de un BS, que también controla todas las características de RF (p. ej., modulación, codificación y frecuencias de operación) utilizado por los CPEs. Además de la función tradicional de un BS, que es regular la transmisión de datos en una celda, un BS 802.22 administra una característica única de detección distribuida. Esto es necesario para garantizar una adecuada protección del titular y es administrado por el BS, que indica los distintos CPEs para realizar actividades de medición distribuidos.

2.2.3 Capa Física (PHY) para WRAN

En la información de la capa PHY a downstream desde BS o upstream de varios CPEs se transmite utilizando Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA). Los parámetros físicos utilizados en sistema WRAN se tabulan en la Tabla 2.2-1. El rango de frecuencia de operación es de 56 a 867 MHz con una sola interfaz aérea de 2048 sub portadores. Un símbolo de la OFDM es una combinación de salida IFFT con prefijo cíclico. La duración de un símbolo de la OFDM es $T_{iFFT} + T_{CP}$. El prefijo varían de modo cíclico para $T_{Tff}/4$ to $T_{Tff}/32$, por lo tanto, basándose en que la duración de símbolo cambia también. Esto transmitió a todos los CPE por BS en términos de T_{CP} a T_{iFFT} a través de cabecera de control super frame. En un dominio de frecuencia símbolos OFDMA se define en términos de su sub-carrier. Basado en la funcionalidad sub lleva se agrupan como (1) data sub

carrier, (2) pilot sub carriers, (3) guard and null (incluido DC) sub-carriers (Mishra, A. K., & Johnson, 2015). Un sub-canal es la unidad básica utilizada para sub portador tanto en upstream y downstream. Entre 2048 sub portadores en cada símbolo OFDM, 384 son sub-portadores nulas (banda de protección izquierda, derecha y la banda de la guardia subcarriers DC) con 0 de amplitud y de fase 0. Los restantes 1.680 sub portadoras están divididas en 60 sub-canales. Cada sub-canal es de 28 sub portadoras con 24 para datos y 4 para piloto .

Tabla 2.2-1

Parámetros del sistema WRAN

| Parameters | Specification | Remarks |
|---------------------|---|---|
| Frequency range | 54 862 MHz | |
| Channel bandwidth | 6, 7, or 8 MHz | According regulatory |
| Data rate | 4.54 to 22.6 Mbit/s | |
| Spectral efficiency | 0.76 to 3.78 bit/(sHz) | |
| Payload modulation | QPSK, 16-QAM, 64-QAM | BPSK used for preamble pilots and CDMA codes |
| Transmit EIRP | 4 W maximum for CPEs 4 W maximum for BSs in the USA regulatory domain | Maximum EIRP for BSs may vary in other regulatory domains |
| Multiple access | OFDMA | |
| FFT size (NFFT) | 2048 | |
| Cyclic prefix modes | 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 | |
| Duplex | TDD | |

Fuente: Mishra Kumar A, Jhonson Lloyd D. White Space Communication. (p. 17). Springer.

Los datos binarios que van a transmitirse se pasa desde la capa MAC a la capa PHY. Auto-convivencia (self-coexistence), el primer frame o super frame contendrá el preámbulo super frame como primer símbolo, seguido por un frame preamble symbol, tanto que el

tercer símbolo será super frame control (SCH) y en el último cuarto símbolo contienen el Control Frame Header (FCH) y, cuando sea necesario, DS-MAP, US-MAP, DCD y UCD, y ráfagas de datos si hay algún margen izquierda. Más adelante en la Figura 2.2-8 muestra que normalmente primer frame es símbolo de dos cortos debido a la presencia de SCH de manera que el periodo es de 10 ms. SCH se encarga de la programación para el período de protección predominante y el mapeo de los frames de la celda WRAN para que la auto-coexistencia sea posible. 15 frames restantes normalmente lleva el preámbulo frame, FCH, DS-MAP, US-MAP, DCD y UCD, si es necesario, y ráfagas de datos. En la Figura 2.2-6 Transmitir-recibir Turnaround Gap (TTG) se inserta en cada frame entre las ráfagas de downstream y upstream, para permitir que el CPE pueda cambiar entre el modo de recepción y el modo de transmisión y a absorber el tiempo de propagación de la señal a una distancia de hasta 30 km y un tiempo de respuesta de CPE de 10 s. Como se ha mencionado anteriormente más allá de esta distancia, la programación adecuada de las ráfagas downstream y concesiones upstream es hecho en la BS para absorber el tiempo. Al final de cada (RTG) se inserta de modo que BS cambia entre el modo de recepción a modo de transmisión. En EE.UU. el patrón es de 6 MHz de ancho de banda, diferentes tipo de modulación PHY, velocidad de codificación y la velocidad de datos resultante se tabulan en la Tabla 2.2-2 (Mishra, A. K., & Johnson, 2015).

Tabla 2.2-2

Modos de PHY y sus modulaciones relacionados, las tasas de codificación, velocidades de datos

| PHY mode | Modulation | Coding rate | Data rate (Mb/s) | Spectral (for 6 MHz bandwidth) |
|----------|------------|-------------------|------------------|--------------------------------|
| 1 | BPSK | Uncoded | 6 | 6 |
| 2 | QPSK | 1/2 Repetition: 4 | 6 | 6 |
| 3 | QPSK | 1/2 Repetition: 3 | 6 | 6 |
| 4 | QPSK | 1/2 Repetition: 2 | 6 | 6 |
| 5 | QPSK | 1/2 | 4.54 | 0.76 |
| 6 | QPSK | 2/3 | 6.05 | 1.01 |
| 7 | QPSK | 3/4 | 6.81 | 1.13 |
| 8 | QPSK | 5/6 | 7.56 | 1.26 |
| 9 | 16-QAM | 1/2 | 9.08 | 1.51 |
| 10 | 16-QAM | 2/3 | 12.10 | 2.02 |
| 11 | 16-QAM | 3/4 | 13.61 | 2.27 |
| 12 | 16-QAM | 5/6 | 15.13 | 2.52 |
| 13 | 64-QAM | 1/2 | 13.61 | 2.27 |
| 14 | 64-QAM | 2/3 | 18.15 | 3.03 |
| 15 | 64-QAM | 3/4 | 20.42 | 3.40 |
| 16 | 64-QAM | 5/6 | 22.69 | 3.78 |

Fuente: Mishra Kumar A, Jhonson Lloyd D. White Space Communication. (p. 18). Springer.

2.2.3.1 Definición Preámbulo.

Hay tres tipos de preámbulos, preámbulo super frame, preámbulo frame y Preámbulo de co-existencia de Protocolo de baliza (CBP). Estos preámbulos están formados por dos tipos de ráfagas de secuencia definida en la capa PHY como secuencia de tiempo corto (STS) y secuencia a largo plazo (LTS). Estas secuencias de dominio de frecuencia facilitan la detección de ráfaga, la sincronización y la estimación de canales en un receptor WRAN. STS es formado de 512 bits de la secuencia binaria de no a cero insertado en cada 4th subportadora de un símbolo OFMD y en el dominio del tiempo de repetición es de 4 repeticiones de 512 muestras y LTS está formado de 1024 bits de la secuencia binaria de no

a cero insertado en cada segunda subportadora de un símbolo OFDM, así que en dominio del tiempo dos repeticiones de 1024 muestras por símbolo OFDM. Símbolos Super frame preámbulo consta de cuatro secuencias STS y la siguiente un CP. Preámbulo Super-frame utilizado para la posterior sincronización de tiempo y frecuencia. Preámbulo Frame es un símbolo OFDM hecho de la última parte de la mitad LTS como CP con dos secuencias LTS. El preámbulo frame se utiliza para la sincronización, la estimación de canales, estimación de frecuencias offset y la estimación de energía recibida. El preámbulo CBP se utiliza para la detección de CBP, sincronización, estimación de frecuencias offset y la estimación de canales CBP . Preámbulo CBP es un símbolo OFDM de cinco STS. Los tres tipos de preámbulo se muestran en la Fig. 2.2-4. Estas secuencia generada utilizando algoritmo asegura que low peak-to-average-power-ratio (PAPR) en OFDMA. Preámbulo CBP generados tienen poca correlación cruzada con el preámbulo super frame por lo que super frame y preámbulo CBP pueden diferenciarse fácilmente.

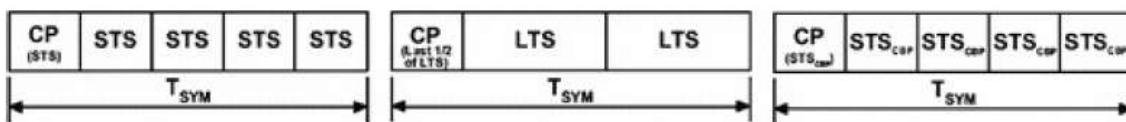


Figura 2.2-4 Modelo de Protocolo de referencia de BS y CPE.

Fuente: Mishra Kumar A, Jhonson Lloyd D. Signals and Communication Technology. (p. 19). Springer.

2.2.3.2 Definición de Control de Cabecera.

Hay dos cabeceras de control uno SCH y otro FCH. SCH proporciona información acerca de celda WRAN está operando en modo normal o en modo auto-convivencia.

Decodificación de SCH crítico, ya que proporciona información acerca de la celda WRAN de modo que incumbe la protección, auto-mecanismo de coexistencia y el apoyo inter-frame y mecanismo intra-frame para sensado de períodos quietos es realizado eficientemente. SCH constituye un símbolo OFDM y se transmite mediante PHY modo 2 dadas en la Tabla 3. y usa $TCP = 1/4 TtFFT$. SCH es de 45 bytes de longitud y está codificado por 1/2 tasa de código de convolución. FCH que es de 3 bytes de longitud, principalmente da la información sobre la longitud del frame en símbolos OFDM desde el comienzo de la trama a todos los preámbulos y longitud de información MAP enviada después de la FCH. La cabecera de control de trama se transmite como parte de la unidad de datos de protocolo de downstream en la downstream sub frame. FCH se transmite usando PHY modo 5 que aparecen en la Tabla 3. El FCH es enviado en los dos primeros sub canales del símbolo inmediatamente después del símbolo del preámbulo símbolo en el frame.

2.2.3.3 Definición MAP.

El MAP (Parámetros de acceso al medio) se clasifican como DS-MAP y US-MAP. Estos son los mensajes que define los parámetros de acceso al medio como el tiempo de inicio de ráfaga, la longitud de ráfaga y sub utilización de canales para el upstream OFDMA sub frame para la CPEs programada para transmitir hacia el BS y BS hacia CPEs. Como estos se transmiten como parte de PDU con el PHY modo 5 en el canal secundario lógico inmediatamente después de la FCH. Como se ha mencionado anteriormente la longitud de DS-MAPA PDU contenidas en FCH, si éste no está presente, que es la longitud del US-MAPA PDU. Presencia de Canal Descriptor Down link (DCD) y mensajes de Canal Descriptor Up-link (UCD) enviados a través de DS-MAP. Longitud de los mensajes en

slots OFDM decide el número de sub-canales. PHY mod 5 en la Tabla 2.2-2. se utiliza para la transmisión. Si el número de subcanales requeridos excede, que son enviadas en el siguiente símbolo. Y sin usar sub canales en cabecera de trama utilizado para la transmisión de datos .

2.2.4 Modulación, Codificación.

Proceso de codificación de canal implica cuatro pasos que se muestra en la Fig. 2.2-5. Scrambling, Forward error coding (FEC), en el que la codificación convolucional binaria o de código avanzado como comprobación de códigos paridad de baja densidad (LDPC) ,y acortar el bloque de códigos (SBTCs) están incluidos puncturing, bit interleaving y trazado de mapas basados en la constelación de modulación diferentes. Proceso de Codificador de canal sólo en porciones Physical Layer service data unit (PSDU) de ráfagas PHY la cabecera de control de ráfaga y no en el preámbulo. En el marco de datos PSDU se codifican utilizando secuencia binaria seudo aleatorio (PRBS) polinomio de $1 + X^{14} + X^{15}$ en el que el encabezado y el preámbulo de ráfaga PHY dejado intacto. Ráfaga de datos PHY se codifica con un rate: 1/2 codificador convolucional binario, que es obligatoria la codificación definida en IEEE 802.22. Salida de codificador convolucional es perforado para obtener la tasa de codificación diferente. Códigos avanzados aumentan la capacidad de corrección, pero a costa de un incremento de pay load y complejidad en el receptor, para CTC, LDPC y STBC son opcionales. Bit interleaving se utiliza para obtener una mayor diversidad de frecuencia, que se realiza usando Turbo estructura basados repetitivas interleaving. En la Tabla 2.2-2 muestra las diferentes técnicas de modulación utilizado. Los datos continuos se asignan basándose en modulación tipo QPSK, 16 QAM o 64 QAM.

Constelación de mapeo se realiza utilizando codificación Gray. Por lo general subportadora piloto se modulan usando BPSK. Modo 1 de la Tabla 3 se utiliza para la transmisión de Acceso múltiple por división de código (CDMA) ranging/bandwidth (BW) solicitud de message/urgent convivencia urgente (UCS) de notificación. Modo 2 utiliza para CBP y el modo restante 3-16 utiliza para la transmisión de datos.

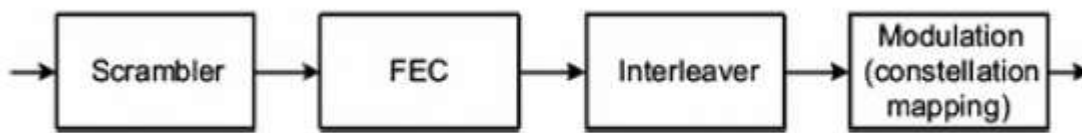


Figura 2.2-5 Proceso de codificación de canal

Fuente: Mishra Kumar A, Jhonson Lloyd D. Signals and Communication Technology. (p. 21). Springer.

2.2.5 Análisis de RF.

En Estados Unidos, la regulación fija un máximo de class effective isotropic radiated power (EIRP) está fijado en 4 W, con la altura máxima de la antena por encima del nivel del suelo es de 30 m para ambos BS y CPE. Para el caso de modo portátil EIRP es de 100 mW. El estándar IEEE 802.22 soporta el mecanismo el control de potencia de transmisión (TPC) para que el mínimo EIRP puede ser usado para mantener la conexión, y de ahí la protección de interferencia al titular es evitada y al mismo tiempo una conexión rápido y fiable entre CPE es mantenida. Coarse ranging es utilizado para reducir el rango dinámico entre el receptor de cerca y de lejos en BS mediante el control de EIRP de transmisión CPE. Se espera que el estándar IEEE 802.22 es compatible con el transmisor de nivel de potencia

monotónica sobre un intervalo de al menos 60 dB, con una resolución de 0.5 dB. Control de potencia se realiza mediante proceso y mecanismo de retroalimentación. Algoritmo de TPC también admite el ajuste EIRP en la tasa de 6dB/s con fluctuaciones de energía y pérdida de propagación. La transmisión y la recepción CPE se realiza a través de antenas separadas con precisión de rastreo de 0,5 dB de uno al otro en todos los azimuths del lóbulo principal. Ganancia de la antena de detección en azimut horizontal será equivalente a una antena de ganancia omnidireccional. Donde como BS utiliza la misma antena para la recepción y transmisión. La norma especifica que el dispositivo WRAN debe cumplir máscara RF especificado en el reglamento. Detector de potencia media se usa para medir la densidad espectral de potencia (PSD) sobre el ancho de banda de medición de 100 KHz y ancho de banda de vídeo de 100 KHz. Sensibilidad del receptor utilizando sólidas modulaciones de QPSK rate : 1/2 hasta 2×10^{-4} en BER en canal de televisión de 6 MHz de ancho de banda para BS y CPE 94,5dBm y 91,3 dBm respectivamente. Y selectividad del receptor definido para la misma modulación es de 50,7 dB.

2.2.6 IEEE 802.22 Capa de control de acceso al medio (MAC).

El estándar 802.22 define una conexión centralizada y orientada a la capa MAC, que pidió prestado algunos de sus rasgos básicos, incluida la asignación de recursos y características de soporte de QoS, desde el estándar IEEE 802.16 para redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN). Como en 802.16 WMAN, el medio de acceso dentro de una célula controlada por una estación base, la cual utiliza TDM (Time Division Multiplex) en la dirección downstream y asigna recursos a través de una DAMA (acceso

múltiple de asignación dinámica) aproximada en la dirección upstream (Wyglinski et al., 2009).

2.2.6.1 Estructura del Frame y Superframe.

El 802.22 MAC utiliza una estructura de distribución síncronas, donde las tramas se agrupan en una estructura superframe, que se introdujo para permitir una mejor protección del titular y auto-convivencia. La estructura superframe, representada en la Figura 2.2-6, se compone de 16 fotogramas con una duración fija de 10 ms cada uno. La BS inicia el primer frame dentro del superframe con el preámbulo superframe seguido por el preámbulo frame y el control de cabecera superframe. El preámbulo superframe se utiliza para la sincronización del tiempo, mientras que el preámbulo frame es utilizado para la estimación de canales, permitiendo la decodificación robusto del SCH y mensajes siguientes.

El SCH lleva la dirección MAC BS junto con el calendario de períodos tranquilos para la detección, así como otra información sobre la celda. El SCH se transmiten a una velocidad muy robusta para permitir la decodificación correcta a largas distancias, lo cual es importante para garantizar a vecinos WRANs para descubrir cada uno de otros y evitar interferencias perjudiciales. Después de que el SCH, el BS transmite el Control Frame Header (FCH), el cual es seguido por los mensajes en el primer frame. Los restantes 15 frames dentro el inicio de super-frame con el preámbulo del frame seguido por la FCH y mensajes de datos posteriores.

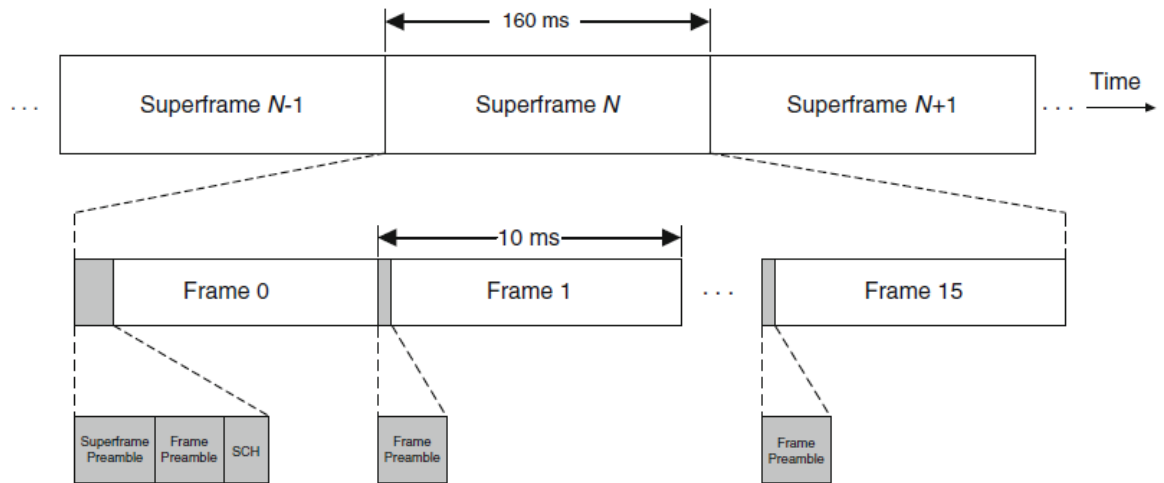


Figura 2.2-6 Estructura MAC superframe.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 399). Burlington. Elsevier Inc.

La estructura de dominio de tiempo para una típica trama MAC está representada en la Figura 2.2-7. La trama se divide entre DS y US subframes y la ventana de auto-coexistencia (SCW), que pueden ser programadas por el BS en el final de la trama. La primera ráfaga downstream después de la FCH se utiliza para transmitir el DS/US MAPs, el canal DS/US mensajes descriptor (DCD y UCD) y otros mensajes de broadcast MAC. El DS/US MAPs son mensajes broadcast que especifican la asignación de recursos en la DS y US subframes respectivamente. El DCD y UCD se transmite habitualmente por el BS a intervalos periódicos para definir las características de la DS y canales físicos US, respectivamente. Después de la señalización de control inicial, el BS puede programar ráfagas DS para la transmisión de datos utilizando diferentes esquemas de modulación/codificación para cada ráfaga. En la US subframe, la BS puede asignar recursos para accesos basados en contención antes del envío de datos, que puede ser utilizado para ordenar, el solicitado

ancho de banda (BW) y urgente situación de notificación de coexistencia (UCS). La ventana UCS es otra nueva característica en el MAC 802.22, que puede ser utilizado por CPEs para transmitir un indicio de que el titular ha sido detectado en el canal. Además, el BS también podrán reservar hasta cinco símbolos en el extremo del frame por la ventana auto-coexistencia. El SCW es utilizada para la ejecución del protocolo beacon de coexistencia (CBP), lo que implica la transmisión de beacons de coexistencia (paquetes CBP) que transportan información sobre la celda y mecanismos de coexistencia específicos. El SCW y paquetes CBP son nuevas funciones de radio cognitiva que permitan coordinación over-the-air 802.22 entre celdas vecinas para facilitar la protección del titular y mecanismos de reparto del espectro(Wyglinski et al., 2009).

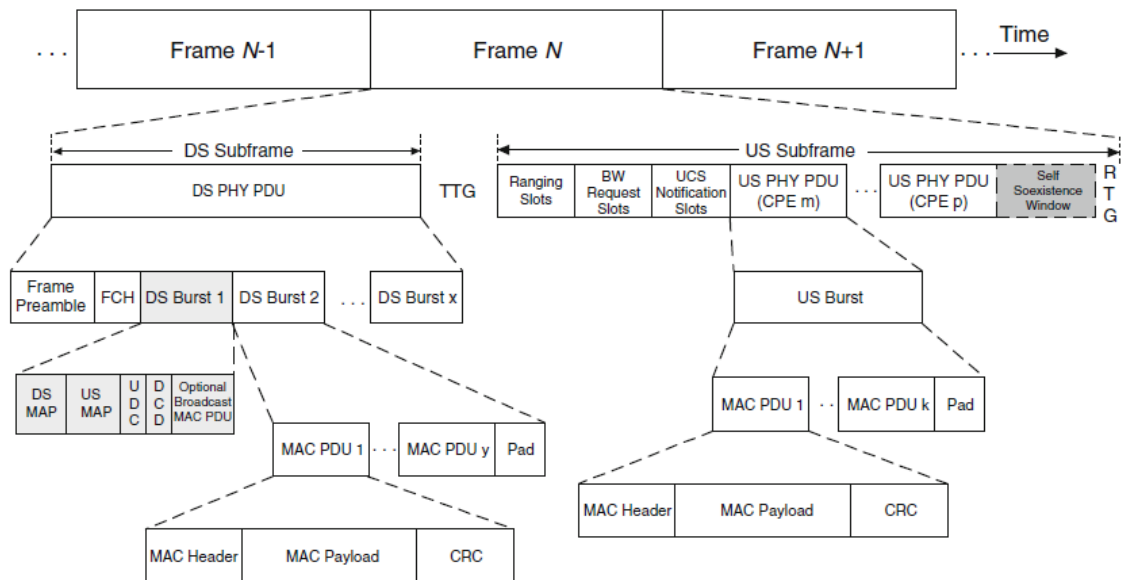


Figura 2.2-7 Estructura MAC frame

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 400). Burlington. Elsevier Inc.

Las dos dimensiones (tiempo-frecuencia) de la estructura MAC frame se muestra en la Figura 2.2-8. Puntos interesantes a tener en cuenta en esta cifra están las diferentes maneras en que los datos de MAC se pueden asignar en las dos dimensiones de la multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) estructura utilizada en la Capa PHY. En el DS frame, los datos de MAC son capas primero verticalmente por subcanales avanzado en el dominio del tiempo (símbolo) horizontalmente. Esta estructura reduce el retardo para datos DS. Por otro lado, hay dos opciones posibles en la US frame. Primero, los datos de US MAC puede ser asignados por símbolos horizontales por símbolo en un subcanal lógico y avanzadas al siguiente subcanal sólo cuando la plena capacidad se llena en el anterior. Esta opción con largas ráfagas nos permite los CPEs a maximizar la potencia por subportadora, que pueden contribuir a un aumento en el área de comunicación. La segunda opción es usar ráfagas US con una longitud máxima de 7 símbolos. Si se utiliza esta opción, la anchura de la última ráfagas nos puede ser de entre 7 y 13 símbolos. Esta asignación opcional puede ofrecer mejor rendimiento de retardo en el US en el coste de la pérdida de rango, que puede ser una buena compensación en tiempo real para aplicaciones multimedia (Wyglinski et al., 2009).

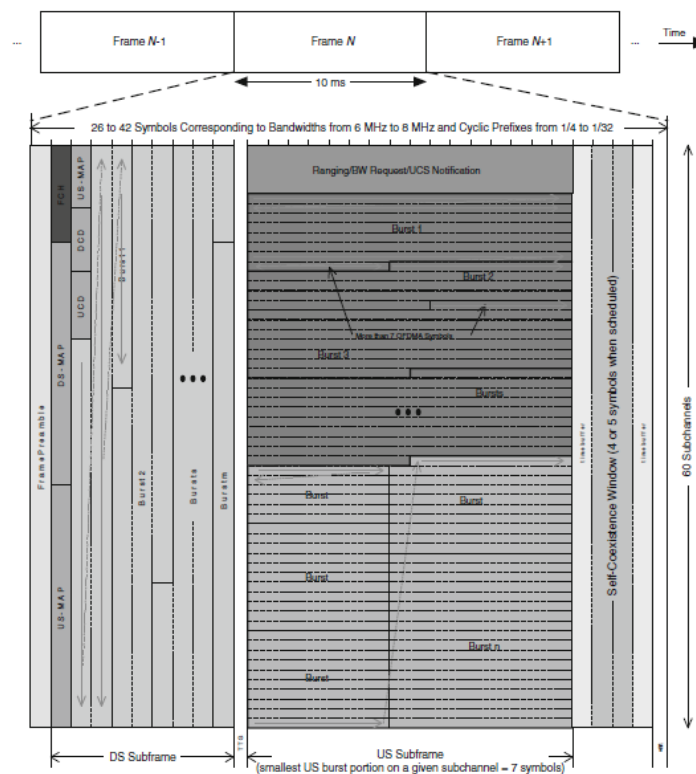


Figura 2.2-8 Ilustración de tiempo-frecuencia de la estructura de la trama 802.22.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 401). Burlington. Elsevier Inc.

2.2.6.2 Detección del titular y notificación de apoyo.

Uno de los desafíos para el diseño de la capa MAC 802.22 es permitir una protección fiable de los titulares, manteniendo la calidad de servicio (QoS) para los usuarios de 802.22. Este problema fue abordado mediante la detección de espectro y el funcionamiento multicanal. En esta sección describimos cómo la capa MAC 802.22 admite la detección y notificación de titular, que pueden desencadenar eventos de agilidad de frecuencia de las operaciones.

Dos importantes capacidades fueron introducidos en la capa MAC para apoyar titular fiable de detección (Wyglinski et al., 2009):

- Periodos de inactividad de la red: Para evitar interferencias con la detección de espectro, que ha de atender a muy bajos umbrales de detección predominantes (IDTs) (p.ej., -116 dBm para DTV), el BS puede programar períodos tranquilos de networkwide (QPs), durante el cual todas las transmisiones están suspendidos, y por ende la detección puede realizarse de forma más fiable. Sin QPs para la detección, el WRAN pueden enfrentarse a una alta tasa de falsas alarmas, especialmente en áreas donde se superponen las áreas de cobertura n múltiples WRANs. Dos tipos de QPs puede ser programado: QPs intraframe y QPs intertramas (ver Figura 2.2-9). Intraframes QPs, como el nombre sugiere, son de corta duración QPs (menos de un frame) y son útiles para la detección regular de canales en banda sin afectar a la calidad de servicio (QoS) para los usuarios de WRAN. Sin embargo, el BS también pueden programar largos interframe QPs a través de varios frames, en caso de que se necesita más tiempo para la detección. Interframes QPs debe ser utilizado según la demanda, ya que afecta a la calidad de servicio (QoS) de los usuarios. En general, la BS puede limitar el número y la duración de QPs al mínimo necesario para satisfacer los requisitos de detección en términos de probabilidad de detección y la probabilidad de falsa alarma. El BS puede programar QPs mediante los campos de programación QP en el SCH o puede utilizar un mensaje de gestión específica, denominada requisito de canal (CHQ-REQ), para detener el tráfico en cualquier momento dentro de su celda.

- Gestión de medición de canal: En caso de que un titular es detectada por la BS, el BS puede tomar las acciones apropiadas para evitar interferencias, pero cuando un CPE detecta un titular, ha de informar al BS. Por eso, la capa MAC incluye la solicitud de medición de canal y mensajes de informe, que permiten que el BS para tomar el control total del proceso de detección y notificación de dominante dentro de su celda. La BS puede también utilizar tramas de gestión para solicitar CPEs para realizar otro tipo de medidas, tales como la detección de otros WRAN y otras mediciones relacionadas con el rendimiento. La BS es también responsable de la asignación de los recursos US para que la CPEs pueda transmitir sus informes después de la detección de medición cuando se ha completado. En caso de que un CPE ha detectado la presencia de los titulares, pero no se ha asignado suficiente ancho de banda US para transmitir sus mediciones de vuelta al BS, el CPE puede utilizar la notificación de ranuras UCS en la subframe US para informar a la BS de la situación. El CPE utiliza un argumento basado en un mecanismo para transmitir un mensaje de notificación UCS para indicar que un titular ha sido detectado en el canal. Mediante la notificación de mensajes de notificación UCS con resultados de detección de mensajes de notificación recibidos desde CPEs, el BS puede reaccionar más eficazmente en forma oportuna para la presencia de los titulares.

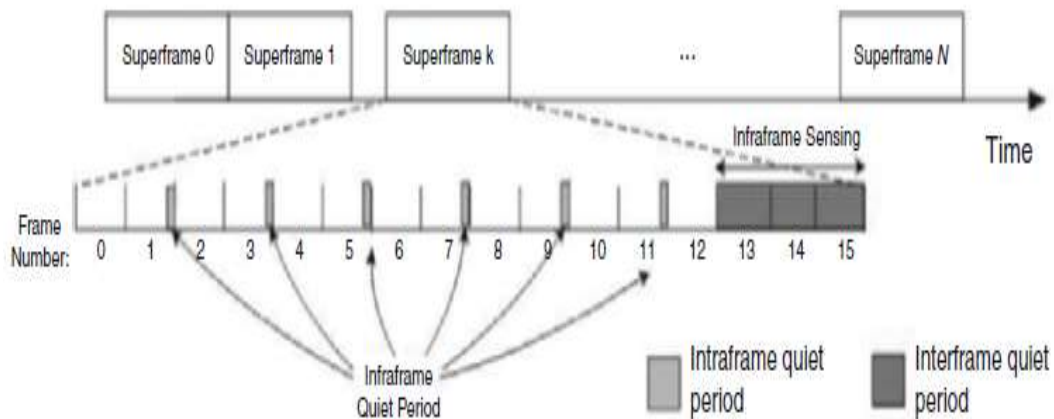


Figura 2.2-9 Períodos tranquilos Intraframe e Interframe.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 403). Burlington. Elsevier Inc.

2.2.6.3 Operación Multicanal.

Las normas reguladoras requieren que los usuarios secundarios van a desalojar el canal dentro del tiempo de movimiento del canal (CMT) (2 segundos para 802.22) una vez que se detecta a un usuario primario. Este requisito impone un reto importante para la red 802.22,es decir, cómo mantener la conectividad para los usuarios de 802.22 con soporte de calidad de servicio (QoS) en una situación de detección de titular. El grupo 802.22 abordó este problema utilizando el concepto de canales de reserva. Durante el funcionamiento normal, el BS proactivamente mantiene una lista de canales de reserva. En caso de que un titular es detectado en canales en banda, el BS es la responsable de activar un interruptor para un canal de copia de seguridad en el seno de la CMT, lo que debiera ocurrir perfectamente para mantener las garantías de calidad de servicio (QoS) para los usuarios de 802.22. Obviamente, el canal backup debe ser igualmente claro de titulares, a fin de utilizarse de inmediato. Por lo tanto, la detección del titular debe hacerse en canales fuera

de banda; es decir, los canales que se pueden utilizar como backup. Sin embargo, la detección de canales backup pueden hacerse durante el tiempo de inactividad del CPE y no requieren QPs en el canal operativo. Pero, si el canal backup para ser detectado es ocupado por otro WRAN, el CPEs debería utilizar el QPs programada en el canal correspondiente para evitar las interferencias de otros WRAN.

Para lograr una transición sin problemas a la canal de backup sin interrumpir el servicio, dos modos de gestión de canal están especificados en el estándar 802.22. En el modo implícito, el BS puede utilizar los campos de acción en los mensajes broadcast DCD para indicar la transición a todos sus CPEs. De lo contrario, el BS puede utilizar un mensaje de gestión específicas (modo explícito) para programar un evento de cambio de canal para un marco específico en el futuro. El enfoque explícito proporciona la flexibilidad necesaria para permitir la gestión de canales para un solo o un grupo de CPEs, desde el mensaje de gestión de canal (solicitud de cambio de canal, CHS-REQ) puede ser enviada como un frame broadcast, multicast o unicast. De esta manera que un BS funciona como varias radios 802.22 colocado en diferentes canales puede dirigir un CPE a otro canal y continuar con el funcionamiento de su canal actual. Esta característica es especialmente útil en el caso de detectar CPEs individuales predominantes de baja potencia (p. ej., micrófonos inalámbricos) en zonas con escasa disponibilidad de canales.

2.2.6.4 Sincronización.

La sincronización es un factor clave para el éxito de la operación de sistemas de 802.22, y es necesario no sólo con fines de comunicación entre BS y CPEs sino también para la protección del titular. La BS y CPEs en una celda debe ser sincronizado para garantizar las

no transmisiones durante el QP para la detección. Asimismo, una vecina WRANs compartiendo el mismo canal (N) o operaciones en primer y segundo canales adyacentes ($N-2, N-1, N+1, N+2$) deben sincronizar sus QPs para evitar interferencias con la detección del titular y reducir la tasa de falsas alarmas. Aunque canales en banda sólo incluyen hasta primeros canales adyacentes ($N, N+1$ y $N-1$), sincronización de QPs hasta canales secundarios adyacentes ($N + 2$ y $N - 2$) es necesaria para evitar la interferencia cuando la primera detección de canales adyacentes (Wyglinski et al., 2009).

Para facilitar la sincronización de QPs, todos las BSs 802.22 deben estar equipadas con un sistema de posicionamiento por satélite (GPS), por ejemplo, el cual es utilizado para obtener la información de sincronización para las superframes. Por lo tanto, especificando un tiempo de referencia común, la norma garantiza que todos los superframes están sincronizados. Una vez que el superframes están sincronizados, el siguiente paso es sincronizar los QPs intraframe e interframe.

El QPs interframe se espera que sea usado para la detección regular de canales en banda, ya que su duración limitada (menos de un frame) sólo tiene un impacto mínimo en la calidad del servicio (QoS). Para facilitar la sincronización, tales períodos tranquilos pueden ser programadas sólo al final de cada trama. Por lo tanto, BSs vecinos necesita anunciar sólo los frames en los que intraframes QPs son programados a ocurrir y la duración QPs. Esta información es transmitida en el SCH (usando el ciclo de detección intraframe bitmap y otros campos de respaldo) al principio de cada superframe y también está incluido en los paquetes transmitidos CBP por CPEs. El intraframe programado QP puede ser válida para múltiples superframes, según lo indicado por el campo ciclo de detección intraframe. Esto permite la próxima BSs para descubrir la operación de la celdas existentes en el área y

alinearse sus intraframes QPs en consecuencia. También, una vez que descubre una BS los QPs programados por otros BSs utilizando el mismo canal o canales adyacentes, tiene que alinear y ajustar su duración intraframe QP (duración de detección intraframe) a la más grande entre los BSs superpuestos. Cabe señalar que esta sincronización se realiza con la información que la BS obtiene a través de la detección de otras BSs en sus proximidades, u obtener el informe de su propia CPEs en las cercanías de otras BSs.

Las BSs también emiten información (SCH) sobre el interframe QPs, que incluye el tiempo de período de tranquilidad (TTQP) y la duración del período de tranquilidad (DQP). Para garantizar QoS, el QPs interframe debe usarse sólo cuando sea estrictamente necesario y, por consiguiente, están programados en la demanda. Una vez que otros vecinos BSs recibe información sobre un nuevo interframe QP programado, que realizan un algoritmo para decidir si deben cambiar su propia programación QP para alinearse con la programación recibida. El mecanismo se basa en la siguiente regla para reducir el efecto ping-pong : "Una BS 1 sólo deberá modificar su período tranquilo de detección programado inter-frame período para sincronizar con el período tranquilo de detección inter-frame de otra cercana BS 2 si el tiempo restante de la próxima detección tranquilo inter-frame BS 1's es mayor que el tiempo restante de período tranquilo de detección inter-frame BS 2's " En este caso, un BS modifica sus programadas QP solo si su QP está programado para una hora posterior a la de los otros BSs QP. Después de tomar la decisión, el BS planifica un cambio en su QP. BSs también puede cancelar o cambiar QPs cambiando la QP programada contenidos en el SCH o utilizando mensajes de gestión específicos para programar QPs. Evidentemente, para estos procedimientos, para ser eficaz, las BSs debe

programar QPs antes de tiempo, y si es posible, unos superframes con antelación para permitir suficiente tiempo para la coordinación con vecinos BSs (Wygliniski et al., 2009).

2.2.6.5 Auto-Coexistencia

El modelo de acceso al espectro sin licencia aprobada para sistemas 802.22 subraya la importancia de la propia convivencia, mecanismos para garantizar la justa y eficaz utilización del espectro. Auto-coexistencia también desempeña un papel clave en la protección de los titulares, debido a la coordinación necesaria para la detección fiable de espectro; es decir, la sincronización de QPs. La adecuada coordinación de horarios de detección también minimiza el número necesario de QPs y deja más tiempo para la comunicación de datos.

El problema de auto-convivencia se aborda de 802.22 con los siguientes elementos clave:

- Descubrimiento de redes vecinas y coordinación: La disponibilidad de espectro no determinista junto con la capacidad de cambiar canales hace que el entorno operativo 802.22 se un espectro dinámico. Esto requiere no sólo de detección del titular, sino también para otros sistemas vecinos 802.22. El descubrimiento de la red es parte de los procedimientos de inicialización para ambos BSs y CPEs, pero también es realizado continuamente durante la operación normal de la red. WRANs puede ser descubierto a través del SCH transmitido por el BSs o paquetes CBP, que se transmiten durante la ventana por CPEs o BSs. CPEs que descubra otras vecinas WRANs envían esta información de vuelta a sus BS en el formato

de mensajes de informes de medición. Tras el descubrimiento de nuevos WRANs vecinos, la BS debe considerar si se requiere una sincronización QP.

- Protocolo de coexistencia beacon: El protocolo CBP juega un papel fundamental en el descubrimiento y la coordinación eficiente de las redes vecinas. BSs y CPEs puede descubrir otros WRANs detectando paquetes CBP transmitidos durante la ventana de SCW. El CBP Los paquetes transportan información sobre la celda (p. ej., BS dirección MAC, calendario de QPs, canales de reserva) y BSs debe abrir SCWs regulares para transmisión de CBPs para habilitar el descubrimiento de red eficiente. Durante el funcionamiento normal, el CPE debe escuchar a su BS's SCH para identificar los cambios pertinentes a su celda, y desde superframes están sincronizados a través de las células, CPEs puede no ser capaz de detectar transmisiones vecinos BSs SCH. Los paquetes CBP proporcionan apoyo adicional para el descubrimiento de la red, ya que se transmiten durante los SCWs, y el BS puede solicitar explícitamente CPEs para escuchar el canal durante el SCW para detectar paquetes CBP desde otras células vecinas. Los paquetes CBP pueden también llevar la información necesaria para la ejecución de varios mecanismos de intercambio de recursos que requiere el intercambio de información entre las células. En otra palabras, el CBP sirve como protocolo subyacente para la comunicación inter-WRAN. Como puede verse en la Figura 10, el SCW se impone una sobrecarga adicional (cuatro o cinco símbolos), y BSs debe tener en cuenta la sobrecarga y la falta de tiempo para la comunicación inter-WRAN al programar SCWs. El protocolo CBP es útil en muchas situaciones, y una posible situación queda ilustrada en la Figura

12. En este ejemplo, las BSs A y B están fuera del alcance de comunicación de cada uno de otros, pero CPEs A y B en la zona de superposición puede transmitir información entre las dos celdas a través de paquetes de CBP.

- Mecanismos de intercambio de recursos: Tras el descubrimiento de la red, WRANs vecinas tendrán que considerar cómo compartir el espectro disponible. Considere el ejemplo en la Figura 2.2-10 y suponga un BS A y CPE A1 funcionan en un canal dado N. cuando un nuevo BS B y CPE B1 inicie la operación, primero escanea los canales disponibles y CPE B1 detecta eventualmente BS A's SCH o paquetes transmitidos CBP por A1. En este punto, BS B debe ejecutar el primer mecanismo de convivencia, llamado etiqueta de espectro. La idea principal detrás de la etiqueta de espectro es evitar operaciones co-canales con otras WRANs ya existentes. Por lo tanto, BS B busca primero un canal disponible que no es utilizada por BS A. Sin embargo, si ningún otro canal está disponible, BS B pueden compartir el mismo canal con BS A. Aunque no es una situación deseable, esto podría suceder en zonas con pocos canales disponibles, y el estándar proporciona el apoyo necesario para la convivencia en tales casos. BSs podrá entablar un proceso de negociación para compartir el canal en una base frame-por-frame. Esta negociación puede basarse en mecanismos de contención del espectro. La negociación entre BSs se lleva a cabo mediante el intercambio de paquetes de CBP. En el ejemplo en la Figura 2.2-10 el CPEs se utilizan para intercambiar paquetes de CBP, pero en un escenario donde las BSs están dentro de cada rango de comunicación del otro, pueden transmitir y recibir los mismos paquetes de CBP. Cabe destacar que ese

proceso de negociación entre BSs puede convertirse en un cuello de botella en el número de vecinos de BSs en los mismos canales de aumento.

Otro problema que debe ser considerado en escenarios de convivencia donde varios BSs comparten el mismo canal es la posible colisión de transmisiones SCH desde las celdas vecinas. Sincronización de las superframes a través de celdas en transmisiones simultáneas de SCHs por todos BSs en el comienzo de cada superframe, lo cual puede provocar colisiones en CPEs en las áreas de superposición. Debido a la solidez del modo de transmisión, un CPE podrán decodificar la SCH desde su BS, incluso en presencia de otras transmisiones de SCH. Sin embargo, dependiendo de la distancia entre BSs interferentes, colisiones SCH podría producirse, lo que podría evitar la operación en algunos lugares específicos. Esto es todavía una cuestión abierta para la norma, pero su impacto puede ser mínima, dependiendo de la disponibilidad de canales sin titular. BSs vecinos siempre intentará encontrar canales vacíos, y el funcionamiento con otras BSs co-canal es perseguido sólo como último recurso para mantener la conectividad. No obstante, se están estudiando varias propuestas para abordar este problema. En un posible enfoque, denominado Red de frecuencia única (SFN), todas las BSs solapadas transmiten un modo de auto-coexistencia SCH, que es el mismo en todos BSs y lleva a las asignaciones de trama para diferentes celdas, mientras que otra opción es para multiplexar las transmisiones SCH en el dominio del tiempo (Wygłinski et al., 2009).

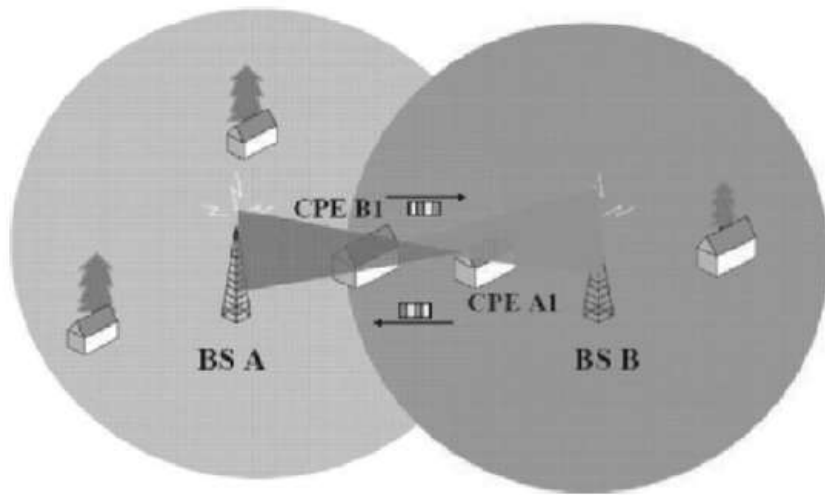


Figura 2.2-10. Ejemplo de escenario de Comunicaciones inter-WRAN con CBP.

Fuente: Wyglinski A, Nekovee M, Hou Y.(2010).Cognitive Radio Communications and Networks. (p. 407). Burlington. Elsevier Inc.

CAPITULO III- SENSADO DEL ESPECTRO PARA 802.22

3.1. Técnicas de sensado del espectro para 802.22

3.1.1 Introducción.

La Detección de espectro es una de las claves para una tecnología de activación para acceder a espacios en blanco, porque es un método de detección de medir el espectro de una manera cíclica para detectar transmisores primarios para el propósito expreso de proteger los principales receptores y para evitar interferencias con los sistemas primarios. Últimamente, la detección de espectro ha recibido mucha atención en el contexto TVWS. La aplicaciones de TVWS , como los 802.22 WRAN, Cellular Extension Over TVWS, IEEE 802.11af (erróneamente llamados TVWS White-Fi 802.11af) y redes TVWS WiMAX 802.16, TV móvil sobre TVWS, emergencia y aplicaciones de seguridad pública sobre TVWS y algunas aplicaciones más allá White-Fi smart city, como smart grid, tele-medicina y robots en red, son proporcionar algoritmos de detección geográficas y políticas básicamente, con el fin de proteger el principal servicio de difusión de televisión. La operación secundaria de dispositivos de espacios en blanco en las bandas de TV se basa en gran medida en la capacidad de estos dispositivos para identificar correctamente TVWS, sugerida por los reguladores sobre la base de la capacidad de estos dispositivos para evitar interferencias perjudiciales a los usuarios con licencia de estas bandas, que además de lo analógico y la banda de radiodifusión de televisión digital (DTV)/ATV también incluye par micrófonos inalámbricos. El espectro de oportunidades de TVWS consiste de residuos y

canales inactivos de canales de sistemas de titulares con licencia. La Figura 3.1-1 muestra la composición de la señal de TV .

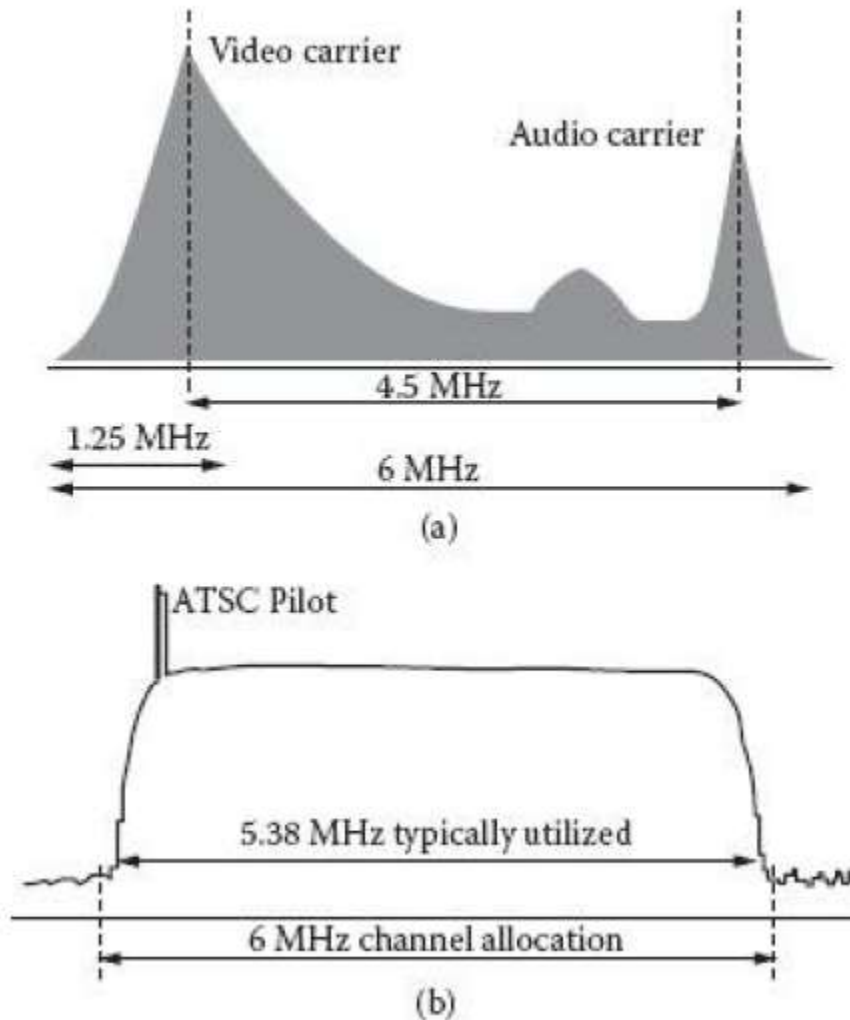


Figura 3.1-1 (a)Espectro de canal de National Television System Committee (NTSC) (b) Digital Television system (DTV) incluido Advanced Television Systems Committee.

Fuente: Saeed Rashid A, Shellhammer J(2012).TV White Space Spectrum Technologies. (p. 402). CRC Press

La detección de espectro permite a dispositivos TVWS detectar la presencia de señales de TV y proporciona una inteligente, adaptable y distribuida solución para identificar bandas blancas de TV. Sin embargo, la fiabilidad de las técnicas de detección juega un

papel importante, que implica hacer observaciones de la frecuencia de radio (RF), detección de uso, gestión de cooperativas, gestión y políticas de detección. La figura 3.1-2 muestra las funciones de detección en la capa física, control de acceso al medio (MAC), y las capas de red, así como una gran variedad de métodos y técnicas que se pueden asignar para conseguir la pila de detección de funcionalidades. En la capa física, la detección puede realizarse por diferentes métodos de detección; es decir, de detección de espectro puede realizarse con banda ancha o técnicas de exploración de banda estrecha en que la banda puede dividirse en sub-bandas y escaneada con un paralelo o un método de escaneo secuencial, en cuyo caso puede explotar la detección de frecuencia con el método hopping para un escaneo rápido de la banda de frecuencia.

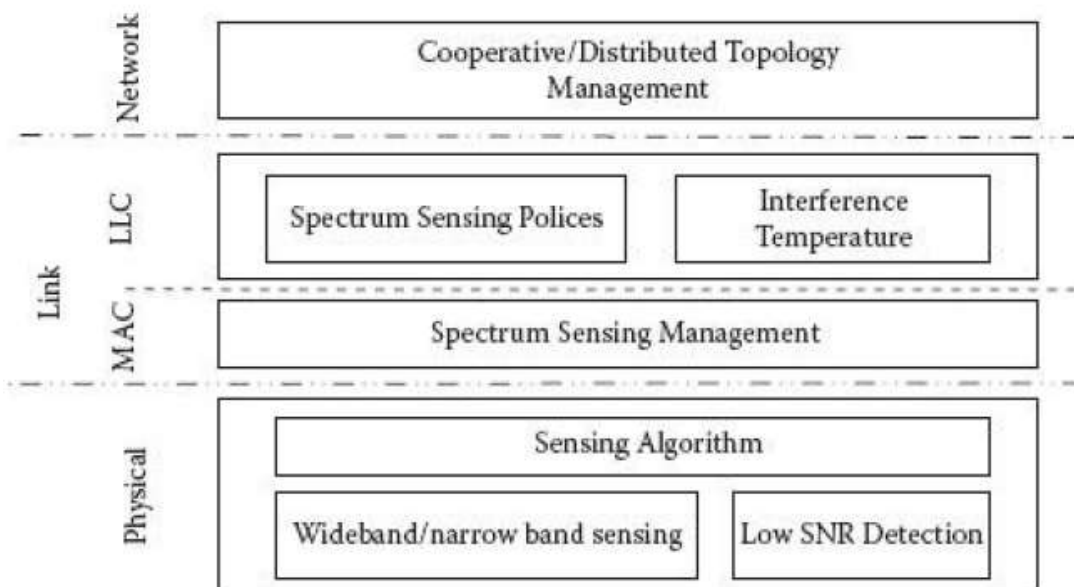


Figura 3.1-2 Funciones del sensado del Espectro.

Fuente: Saeed Rashid A, Shellhammer J(2012).TV White Space Spectrum Technologies. (p. 402). CRC Press

El sensado también requiere una solución de redes para la coordinación de una cooperativa, en virtud del cual una gestión de detección distribuida es necesario para la

gestión de la topología, cuestiones de consulta, detección de carga, distribución e intercambio de información. Sensado adicional es necesaria para asignar con regularidad y a resolver cuestiones de política. Detección de un espectro requiere el uso de un tipo de distribución y/o fusión de centralización de datos y decisiones estratégicas para la combinación de los resultados de detección.

3.1.2 Cubrimiento de Espectro Compartido y Requerimientos de Sensado.

La eficiencia del espectro en TVWS requiere la dominación sobre una serie de preocupaciones, incluida la restricción de interferencia, productos finales de QoS, cumplimiento de regulaciones, y la solución de algunas cuestiones técnicas, tales como la detección de nodos ocultos y radios de espacios en blanco y equipos desarrollados. El escenario de superposición TVWS permite comunicaciones a trabajar por (FCC 04-113, 2004):

- Sensado para detectar bandas no utilizados o espacio en blanco.
- Coexistencia con dispositivos de espacio en blanco similares en los que se utilizarán frecuencias blancas.
- Monitoreo de frecuencias usadas por otros.
- Espectro de movilidad y control de potencia de transmisión como y cuando sea necesario.

Prácticas de detección de señal de TV basado en la FCC tiene dos requisitos esenciales: primero, una alta sensibilidad de detección para alcanzar el umbral especificado que se

define como -107 dBm para los EE.UU. canal de 6 MHz en corto tiempo de detección y, en segundo lugar, la detección de un titular ocultos que pueden ser el resultado de fuertes señales de dispositivo cercano fuentes de transmisión. El desafío para lograr estos dos requisitos es la tecnología de sensado de RF que pueden utilizarse para producir una aceptable probabilidad de detección y la probabilidad de falsa alarma. Otros retos son fuera de banda y las emisiones espurias debido a los bajos umbrales de detección de la presencia de otros dispositivos electrónicos que funcionan en la zona que puede afectar la capacidad de un detector por el enmascaramiento del titular de la señal de TV, resultando así en un problema de nodo oculto. Detección de espectro tiene un aspecto diferente en sistemas TVWS, por ejemplo, cierta calidad de servicio (QoS) basada en la detección de acceso al espectro utilizado para comunicación inalámbrica TVWS es extremadamente difícil debido a la ausencia de un conocimiento completo de cómo los servicios de TV primaria utilizan la banda, así como otras cuestiones de dispositivo en blanco. Una selección de umbral de detección resulta en un equilibrio entre el rendimiento del sistema y la protección del titular.

3.1.3 Técnicas de Sensado del Espectro.

Existen varias propuestas de métodos que permiten la detección de espectro de radios cognitivas para identificar la banda no utilizados y la selección dinámica de frecuencias (DFS). En esta sección, algunas de las técnicas de detección de espectro más común en la literatura de radio cognitiva son explícitamente explicado. Cuando la estructura de la señal del primario se identifica a la radio cognitiva, la mayoría seleccione el detector en el estacionario es un filtro Gaussiano coincidente, el ruido se recoge en un filtro coincidente

seguido por una prueba de umbral. Sin embargo, implementar este tipo de detector coherente es difícil porque un usuario secundario tendría un extra de circuitos dedicados para lograr una sincronización con cada tipo de licenciataria primario. Además, la sincronización a tan baja relación señal-ruido (SNR) en muchos casos es más difícil de lograr. Además, puede haber casos ya en práctica donde un detector de filtro combinado está descartado debido a la falta de los conocimientos sobre la estructura de la señal primaria. En estos casos, un detector de propósito general, en el que se introdujeron varias técnicas de detección para la detección de la señal de TV, es mucho más conveniente y viable.

3.1.3.1 Método de detección de Energía.

Un método común para la detección de señales desconocidas en ruido es la detección de energía. La Figura 3.1-3 presenta un diagrama de bloques de un detector de energía. La entrada filtro pasa bajos selecciona la frecuencia central, f_s , y el ancho de banda asociado, W .

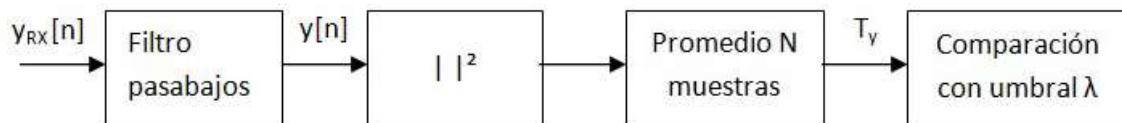


Figura 3.1-3 Diagrama de bloques del detector de energía.

Fuente: Cabric D, Tkachenko A, and Brodersen R. Experimental study of spectrum sensing based on energy detection and network cooperation. Association for Computing Machinery, 2006.

Este proceso de filtrado es seguida por un dispositivo de cuadratura para medir la energía recibida y un integrador que determina el intervalo de observación, T . Finalmente, la salida del integrador, y se compara con un umbral, λ , para determinar la presencia de una señal.

Expresando el test de hipótesis en tiempo discreto y para el índice $i = 1, \dots, N$, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$H_0 : y[i] = n[i] \text{ (usuario primario ausente)} \quad (3.1)$$

$$H_1 : y[i] = s[i] + n[i] \text{ (usuario primario presente)} \quad (3.2)$$

En base a la descripción del detector, el estadístico del método en este caso se resume a la ecuación (3.3):

$$T_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} y[i]^2 >< \lambda \quad (3.3)$$

En el caso en que $T_y > \lambda$ entonces el detector determinará que existe presencia de una señal primaria. Por el contrario en caso que resulte $T_y < \lambda$ el detector concluirá la hipótesis H_0 .

Se hará la suposición que el ruido ($n[i]$) es Additive White Gaussian Noise (AWGN) por lo tanto las muestras del ruido se considerarán variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (*iid*) con una distribución de probabilidad Normal de media nula y varianza σ_n^2 . Al mismo tiempo se considerará $s[i]$ *iid*, de media nula, varianza σ_s^2 e independiente del ruido n . Por lo tanto en caso de H_1 se obtiene que: $\sigma_y^2 = \sigma_s^2 + \sigma_n^2$.

En base a la teoría estadística se observa que T_y tiene una distribución de x^2 orden N , centrada en cero para la hipótesis H_0 y no centrada para H_1 . Si se considera que la cantidad de muestras $N \gg 1$, mediante el uso del Teorema Central del Límite, es válido aproximar el estadístico T_y a una distribución Gaussiana, como se muestra a continuación:

Bajo las hipótesis:

$$H_0 = T_y \sim N\left(\sigma_n^2, \frac{2}{N} \sigma_n^4\right) \quad (3.4)$$

$$H_1 = T_y \sim N\left((\sigma_s^2 + \sigma_n^2), \frac{2}{N} (\sigma_s^2 + \sigma_n^2)^2\right) \quad (3.5)$$

Para el caso de hipótesis H_1 se define la relación señal a ruido (SNR) como:

$$SNR = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} \quad (3.6)$$

Luego es válido expresar σ_y^2 de la siguiente forma:

$$\sigma_y^2 = \sigma_n^2 (SNR + 1) \quad (3.7)$$

Para el cálculo de umbral y cantidad de muestras dependerá de la probabilidad de falsa alarma (P_{fa}) y probabilidad de detección (P_d) por lo tanto haciendo uso de la simplificación de considerar el estadístico de distribución Normal, se obtiene:

$$P_{fa} = P(T_y > \lambda) |_{H_0} = Q\left(\frac{\lambda - \sigma_n^2}{\sigma_n^2 \sqrt{\frac{2}{N}}}\right) \quad (3.8)$$

$$P_d = P(T_y > \lambda) |_{H_1} = Q\left(\frac{\lambda - (\sigma_s^2 + \sigma_n^2)}{(\sigma_s^2 + \sigma_n^2) \sqrt{\frac{2}{N}}}\right) \quad (3.9)$$

Las probabilidades anteriores se muestran gráficamente en la Figura 3.1-4. Se recuerda que la probabilidad de detección fallida equivale a: $P_{df} = 1 - P_d$.

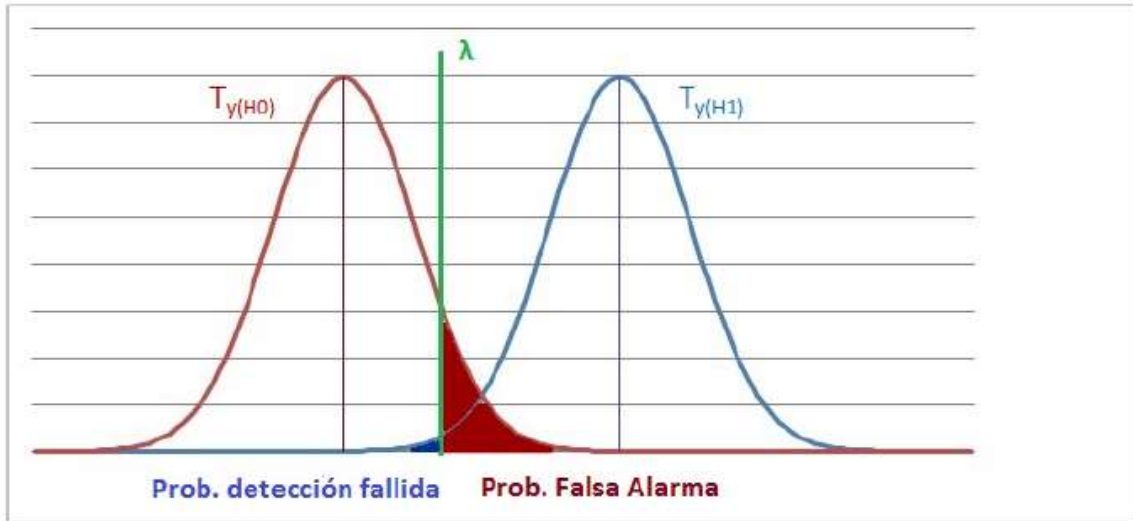


Figura 3.1-4 Representación gráfica e las probabilidades Pfa y (1-Pd)

Fuente: Gómez S, Mera F, and Schneeeberger M. Radios Cognitivos y Sensado del Espectro Radioléctrico. 2014.

Utilizando la ecuación de σ_y^2 en función de SNR (3.7) y eliminando el parámetro λ de las ecuaciones anteriores (3.8) y (3.9) se obtiene:

$$N = \frac{2[Q^{-1}(P_{fa}) - Q^{-1}(P_d)(SNR+1)]^2}{SNR^2} \quad (3.10)$$

Por último se observa que el umbral λ se puede despejar tanto de la ecuación de P_{fa} (3.8) como de la de P_d (3.9), obteniendo dos ecuaciones diferentes pero que ambas dependen de la potencia del ruido σ_n^2 . Dado que el Detector de Energía busca maximizar la P_d bajo una restricción en P_{fa} se presenta en (3.11) la fórmula del umbral en función de P_{fa} :

$$\lambda_{fa} = \sigma_n^2 \left[\frac{Q^{-1}(P_{fa})}{\sqrt{\frac{N}{2}}} + 1 \right] \quad (3.11)$$

Como se adelantó al inicio del capítulo, en la ecuación (3.11) se observa que es necesario tener conocimiento del piso de ruido de manera de poder fijar correctamente el umbral.

En cuanto a la incertidumbre en potencia de piso de ruido, según las ecuaciones anteriores en caso de tener un conocimiento perfecto del piso de ruido, eligiendo un número N lo suficientemente grande y ajustando correctamente el umbral sería posible garantizar cierta probabilidad de detección para cualquier nivel de SNR .

En la práctica esto resulta imposible ya que entre otros factores existe incertidumbre sobre el valor del piso de ruido lo cual conlleva a que exista un nivel límite de SNR hasta el cual el detector resulta robusto (definido según la literatura la SNR_{wall} [14]).

Si se considera que la potencia del piso de ruido varía según el intervalo: $\left[\frac{1}{T} \sigma_n^2, \tau \sigma_n^2 \right]$, siendo $\tau \geq 1$, se define la SNR_{wall} como:

$$SNR_{wall} = \frac{\tau^2 - 1}{\tau} \quad (3.12)$$

Mientras que la incertidumbre del piso de ruido se define como: $(\tau - 1)$. Se observa que para una incertidumbre nula, la SNR_{wall} resulta de valor cero lo que equivale en dB a $SNR_{wall} \rightarrow -\infty$. Reescribiendo la ecuación (3.11) considerando el máximo valor de

potencia de ruido posible de acuerdo al intervalo de incertidumbre se obtiene la ecuación 3.13:

$$\lambda_{fa} = \tau \sigma_n^2 \left[\frac{Q^{-1}(P_{fa})}{\sqrt{\frac{N}{2}}} + 1 \right] \quad (3.12)$$

Si bien la detección de energía han sido ampliamente estudiados en el pasado, el rendimiento bajo el canal de la aleatoriedad sólo ha sido considerado recientemente. Un detector de energía no coherente es una detección de la señal subóptima en comparación con un detector coherente de filtro adaptado o características de detector cicloestacionario. Un esquema de detección de energía pura es confundido por las interferencias en la banda porque no es robusta contra señales de espectro ensanchado, y su rendimiento se ve seriamente afectado bajo condiciones fading. El rendimiento de detección es pobre bajo los valores de SNR. Hay un mínimo SNR denominado SNRwall por debajo del cual no se puede detectar la señal y el detector de energía no es capaz de distinguir el ruido, interferencias y señales moduladas. Por lo tanto, no es capaz de usar técnicas de cancelación de interferencia adaptativa. El umbral de detección está expuesta a niveles de ruido desconocida o variante. Usar el umbral estimado adaptativo proporcionaría robustez y mejores ganancias; Sin embargo, se ve afectada por la interferencia dentro de la banda. Además, no está clara la manera de definir el umbral en presencia de fading selectivo en frecuencia, en relación con las muescas del canal (Saeed & Shellhammer, 2011).

La FCC especifica el umbral de detección como -114 dBm para los canales de 6 MHz y de -120 dBm para los canales de 8 MHz, lo que implica la exigencia de que el espacio en

blanco los dispositivos deben ser capaces de detectar señales de televisión con una sensibilidad mayor que la de los receptores de televisión original (CIP 2008, 2008). Para lograr una buena calidad de detección con un alto nivel de sensibilidad para la detección de la existencia de ruido es difícil y laborioso con los actuales métodos de detección de energía. Sin embargo, el enfoque basado en la energía no-coherente no requiere un conocimiento previo de la señal a ser detectado y puede dar resultados en mucho menos cálculos para llegar a una decisión, permitiendo un mayor ancho de banda para ser estudiados en todo momento.

Una detección de energía de una señal de TV se puede hacer en un ancho de banda completo o un proceso de detección piloto donde los algoritmos de detección de piloto son específicos para las señales NTSC, ATSC que tienen un DC piloto a un menor bandedge en un lugar conocido con relación a la señal. La detección se logra mediante el establecimiento de un umbral en la amplitud o la ubicación de la señal piloto. Detección basada en la ubicación de un piloto es particularmente robusta contra el ruido, la incertidumbre, porque la posición del piloto puede ser identificado con un alto grado de precisión incluso si la amplitud es baja debido al fading (Saeed & Shellhammer, 2011).

3.1.3.2 Detección de espectro Multi-Resolución.

Una técnica de detección multi-resolución produce una estimación de la densidad espectral de potencia (PSD) de resolución múltiple utilizando un filtro wavelet sintonizable que puede cambiar su frecuencia central y su ancho de banda. Esto es realizado por el filtro, que barre sobre un rango de frecuencias, y se registra la potencia en cada frecuencia. La

estimación de la densidad espectral de potencia se puede utilizar para comprobar la ocupación del canal del espectro, como en la técnica de detección previa (Saeed & Shellhammer, 2011).

3.1.3.3 Sincronización del segmento, Detección de secuencia PN511 o PN63.

La técnica de sensado ATSC basada en el método de correlación de secuencia de firmas implica correlacionar la señal recibida de banda base con una secuencia de firma basada en las secuencias de ruido pseudoaleatorio de sincronización de campo de datos (PN). La señal correlacionada es procesada a una prueba estadística que se compara con el umbral definido. El frame de datos de la señal digital de TV compone de 313 segmentos, cada uno de los cuales tiene cuatro símbolos de sincronización del segmento de datos, así como los 828 Reed Solomon (RS) símbolos codificados. El símbolo de sincronización del segmento de datos patrón es representado como "1001" de un nivel binario. La trama de datos de la señal de televisión ATSC comprende 24,2 ms de 313 segmentos con el primer segmento es el símbolo de sincronización campo patrón de 832 símbolos, y este proceso de segmentación se repite para cada frame. El contenido de los 832 símbolos consta de una secuencia de códigos de 511 PN y una secuencia de código de 63 PN, y este patrón se repite 3 veces. A partir de la estructura del patrón de símbolos de sincronización de campo de 832 símbolos, el método de detección puede estar compuesto de tres tipos de métodos usando (i) el patrón de símbolos de sincronización de segmentos de datos, (ii) usando la secuencia de códigos PN511, y (iii) Secuencia de código PN63.

Los datos se envían de ATSC en segmentos de 828 símbolos en que, al comienzo de cada segmento, un símbolo de 4 secuencias (5,-5,-5,5) es enviado. La detección de esta

secuencia puede utilizarse en función de un detector. En la secuencia PN 511, la señal ATSC tiene una secuencia PN de 511 símbolos de longitud que se inserta en el flujo de datos cada 24,2 ms. Debido a que esto es bastante infrecuente, un promedio de más de un campo sería necesario para la detección, lo que conduce a tiempos de detección más largos (Saeed & Shellhammer, 2011).

3.1.3.4 Características de Detección Cicloestacionaria.

Sensado puede aprovechar las funciones asociadas de una señal de TV para lograr una calidad de detección superior a través de los sofisticados métodos de detección adicional. El proceso de detección de función cicloestacionario explota las características de las señales recibidas. Características Cicloestacionarias son causados por la periodicidad en la señal o en sus estadísticas, tales como la media y la autocorrelación. En lugar de una densidad espectral de potencia (PSD), una función de correlación cíclica se utiliza para detectar las señales presentes en un determinado espectro.

Los algoritmos de detección basado en cicloestacionarios puede diferenciar el ruido de las señales de los usuarios primarios. Esto es consecuencia del hecho de que el ruido es una gran sensación inmóvil (WSS) con ninguna correlación, mientras que las señales son moduladas cicloestacionarias con una correlación espectral, debido a la redundancia de la periodicidad de señales . La técnica aprovecha las características de periodicidad asociadas con las señales moduladas, como onda portadora, trenes de pulso, código de dispersión, saltos de secuencias, y/o prefijos cíclicos para estimar los parámetros de señal y utilizar este parámetro para detectar la señal en presencia de ruido y otras señales. La función de correlación espectral (SCF), el cual es espectro cíclico puede definirse como :

$$S_x^\alpha(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \int_{-t/2}^{t/2} \frac{1}{T} X_T \left(t, f + \frac{\alpha}{2} \right) X_T \left(t, f - \frac{\alpha}{2} \right) dt \quad (3.13)$$

$$X_T(t, v) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} x(u) e^{-j2\pi\alpha t} du \quad (3.14)$$

Densidad del espectro de potencia (PDS) es un caso especial de SCF para $\alpha = 0$. Puesto que el ruido es un gran sentido estacionario (WSS) con ninguna correlación, la ventaja de esta técnica es su capacidad para diferenciar el ruido de las señales de los usuarios primarios que son cicloestacionarios con una correlación espectral. La densidad espectral cíclica (CDS) en función de una señal se define como :

$$S(f, \alpha) = \sum_{T=-\infty}^{\infty} R_y^\alpha(T) e^{-j2\pi f T} \quad (3.15)$$

donde

$$R_y^\alpha = E[y(n+T)y^*(n-T)e^{j2\pi\alpha n}] \quad (3.16)$$

es la función de autocorrelación cíclica (CAF), y α es la frecuencia cíclica.

Tanto el ATSC y DVB-T son señales cicloestacionarias; específicamente, los medios y la correlación de secuencias de estas señales revelan las características de una periodicidad. Los detectores de funciones cicloestacionarias se introdujeron como una técnica de procesamiento de señal bidimensional compleja para el reconocimiento de señales moduladas en presencia de ruido e interferencia. Recientemente los métodos de resolución de estas anomalías han sido propuestos por varios autores para la detección de débiles señales de televisión en el contexto de la detección de espectro para la radio cognitiva (Saeed & Shellhammer, 2011).

3.1.3.5 Correlación Espectral.

Señales con Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM), incluyendo señales DVB-T, contienen una secuencia especial llamado el prefijo cíclico (CP), donde el último bits D del símbolo OFDM se copian al comienzo del símbolo. Una detección de prefijo cíclico es similar a una detección de energía. Sin embargo, la estadística de prueba utilizada en el algoritmo es la energía contenida en el prefijo cíclico de cada símbolo OFDM, en lugar de los símbolos completos. Además, debido a la presencia de CP la función de autocorrelación de señales DVB-T muestra picos definidos en valores distintos de cero, cuya amplitud y posición puede utilizarse para detectar la señal del ruido. En presencia de un patrón conocido, la detección puede realizarse mediante la correlación de la señal recibida con una copia de sí mismo .

El método de correlación compara la forma del espectro de la señal recibida con la conocida forma de la señal primaria de destino calculando las correlaciones con los valores conocidos de la señal y revela la existencia de un usuario primario cuando los valores de correlación son mayores que los valores conocidos de un objetivo primario de la señal de TV. Este método sólo es aplicable a los sistemas con patrones de señal conocida, y se denomina detección basada en la forma de onda. La Tabla 3.2-1, describe los diferentes métodos de detección de espectro (Saeed & Shellhammer, 2011).

3.2. Detección Cooperativa.

El problema básico sobre detección de espectro es la detección de una señal dentro de una medida de ruido. El rendimiento de las técnicas de detección de espectro local está

limitada por la potencia de la señal recibida. La detección de espectro en un nodo de radio cognitiva (local sensing) está asociado con algunos retos. La información de estado de canal (CSI) entre un transmisor y un receptor primario y una ubicación de receptor son desconocidos para la radio cognitiva .

Los problemas de nodo oculto pueden surgir cuando hay una obstrucción entre el dispositivo TVWS y una estación de televisión, pero no hay obstáculos entre la estación de televisión y una antena y receptor de TV sin obstrucción entre el dispositivo sin licencia y la misma antena del receptor de televisión. En tal caso, una radio cognitiva puede no detectar la presencia de la señal de TV y puede comenzar a usar un canal ocupado, causando interferencias perjudiciales para el receptor de televisión. Este problema aumenta el requisito de la sensibilidad de radio cognitiva a un nivel que supera el receptor del usuario principal (PU) en la medida en que es capaz de detectar las señales débiles. Detección de nodo local puede lograr un resultado de detección aceptable sólo después de un muy largo tiempo de detección. Teniendo en cuenta esta limitación que ocurre en una detección de espectro local, la cooperación entre las radios cognitivas es introducido para mejorar la precisión de la detección de usuario primario. La cooperación puede solucionar problemas de sombras y el problema de nodo oculto , como se muestra en la Figura 3.2-1. La cooperación es considerada como el método fundamental para la realización de un radio cognitiva.

Tabla 3.2-1

Métodos de Detección del Espectro

| Método | Ventaja | Desventaja |
|--|--|---|
| Filtro adaptativo (optimo) multiresolucion | Corto tiempo para lograr una cierta probabilidad de falsa alarma o probabilidad de detección perdida | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere un conocimiento profundo de las principales funciones de señalización de los usuarios. ▪ Complejidad de la implementación. ▪ La sincronización es necesaria y puede ser más difícil que la detección. ▪ Gran consumo de energía ▪ Requiere de la señal primaria preconocida. |
| Características de detección Cicloestacionario(sub-optional) | Señales de destino distinto del ruido | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere una considerable potencia de procesamiento. ▪ Peores resultados que el método de energía cuando el ruido está parado. |
| Detección basada en la forma de onda (sub-optional) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere tiempos de medidas cortas. ▪ Mas robustes que el detector de energía y métodos cicloestacionarios | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Se necesitan patrones conocidos de señal de destino |
| Detección de Energía (sub-optional) | <ul style="list-style-type: none"> ▪ No requiere conocimiento a priori. ▪ Rápido. Mayor ancho de banda. ▪ Baja complejidad de implementación. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ No es robusto contra las señales de espectro ensanchado. ▪ Confundido por interferencia de banda. ▪ Poco rendimiento bajo valores bajos de SNR. |

Fuente: Saeed Rashid A, Shellhammer J(2012).TV White Space Spectrum Technologies. (p. 414). CRC Press

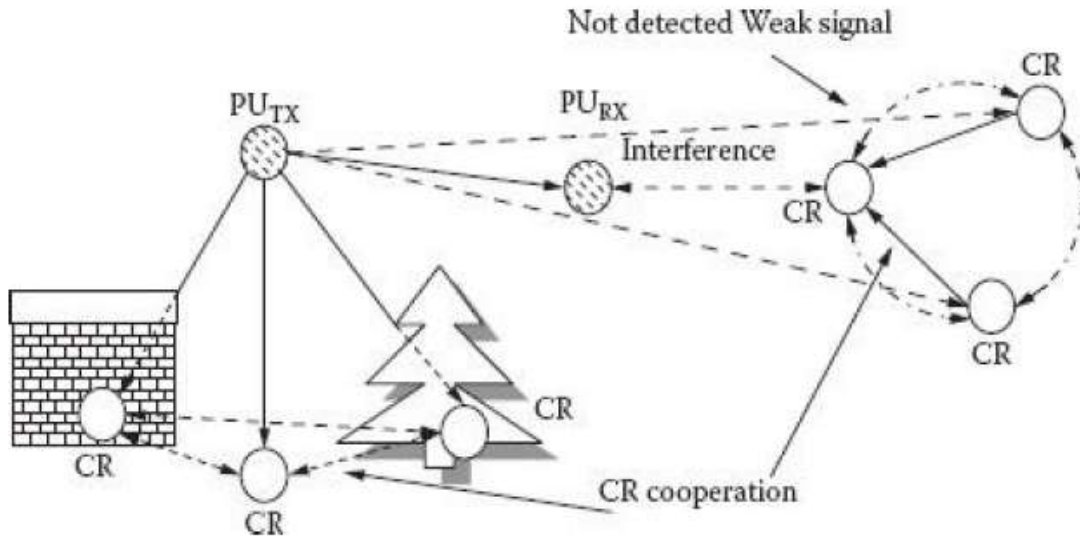


Figura 3.2-1 Detección Cooperativa

Fuente: Saeed Rashid A, Shellhammer J(2012).TV White Space Spectrum Technologies. (p. 414). CRC Press.

La detección puede ser mejorado mediante la incorporación de más observaciones de otras radios cognitivas en distintas ubicaciones. La cooperación en red puede mejorar un rendimiento de detección en comparación con una detección local en virtud de la cual una detección cooperativa mejora la detección y reduce la probabilidad de interferencia a un usuario principal. Detección de una cooperativa se basa en el hecho de que la suma de las señales de dos radios cognitivos pueden mejorar la fiabilidad de la detección mediante el aumento de la relación señal-ruido (SNR) si las señales están correlacionadas. Una cooperativa de detección de espectro de difusión aprovecha la naturaleza y diversidad espacial del canal. En una detección cooperativa, los receptores de radio cognitivo puede estimar las variaciones de canal resultantes del fading, ruido e interferencia mediante la retransmisión de mensajes entre sí que propagan señales redundantes a través de múltiples rutas en la red (Saeed & Shellhammer, 2011).

Realización de un estándar de radio cognitiva basado en un radio Cooperativa emplea un conjunto de aplicaciones, tales como canales de relés, arrays de antenas distribuidas, métodos de localización, intercambio de datos, y el método de fusión así como cartografía colaborativa. Detección cooperativa puede aplicarse de diferentes formas basadas en el método de la cooperación y la arquitectura de la red. Métodos de detección cooperativa incorpora un conjunto de tecnologías de cooperación incluyen la arquitectura de red, el método de detección, el algoritmo de fusión de datos, selección del sensor, y el protocolo de intercambio de datos que caracterizan el comportamiento del método. Figura 3.2-2. El gráfico muestra el espectro de tecnologías empleadas en cooperativa y destaca la detección de otros métodos de cooperación en este ámbito (Saeed & Shellhammer, 2011).

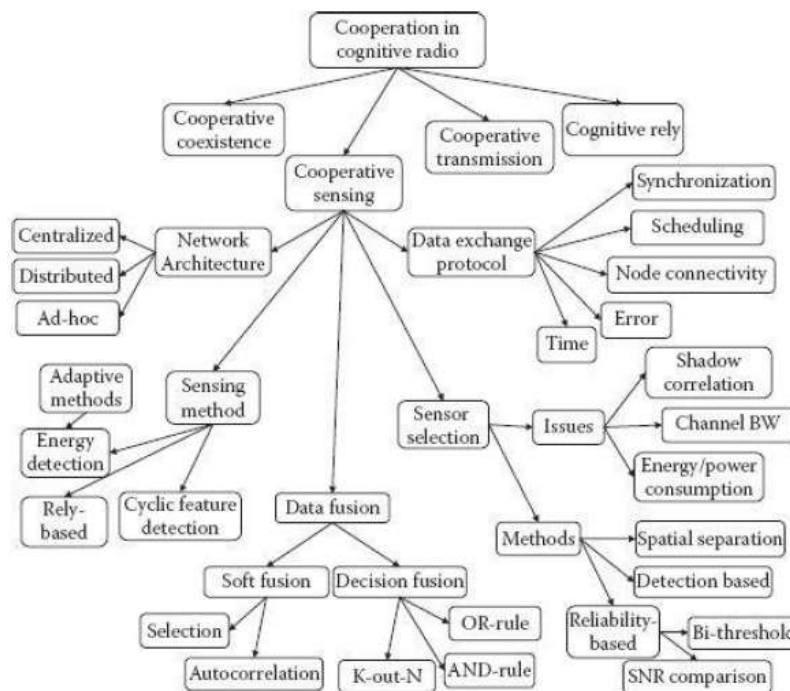


Figura 3.2-2 Detección Cooperativa

Fuente: Saeed Rashid A, Shellhammer J(2012).TV White Space Spectrum Technologies. (p. 416). CRC Press

CAPITULO IV- PROPUESTA

Para la realización de la propuesta es fundamental precisar el estado de las frecuencias en nuestro país, si bien es cierto el Estándar 802.22 se encuentra abierto para la utilización en otros países, en nuestro país no se encuentra estipulado bajo alguna resolución, pero al ser norma IEEE puede ser adaptado a nuestro medio. La propuesta realizada consta del procedimiento realizado paso a paso para un mejor entendimiento.

4.1. SITUACION ACTUAL DE BANDA DE TELEVISION EN ECUADOR

4.1.1 Asignación de frecuencias.

Se parte en primer lugar del estado con resolución ARCOTEL-2015 señala la distribución de frecuencias principales distribuidas en bandas como señala la Tabla 4.1-1:

Tabla 4.1-1

Distribución de frecuencias en Ecuador

| VHF | |
|-----------|---|
| BANDA I | de 54 a 72 MHz y de 76 a 88 MHz |
| BANDA III | de 174 a 216 MHz |
| UHF | |
| BANDA IV | de 470 a 482 MHz, 512 a 608 MHz y de 614 a 644 MHz |
| BANDA V | de 644 a 698 MHz |

Fuente: Arcotel(2015). NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA. (p. 4-16). <http://www.arcotel.gob.ec>

Además que establece que las bandas de frecuencia se dividen en 44 canales de 6 Mhz de ancho de banda para cada uno, con lo que se establecen 8 grupos de distribución y asignación de canales en el territorio nacional como indica las siguientes Tablas 4.1-2:

Tabla 4.1-2

Grupo de Distribución de canales

| GRUPO | CANAL | GRUPO | CANAL |
|-------|--------------------|-------|-------|
| A1 | 2 | G2 | 15 |
| | 4 | | 22 |
| | 5 | | 24 |
| A2 | 3 6 | | 26 |
| | | | 28 |
| | | | 30 |
| | | | 32 |
| | | | 34 |
| | | | 36 |
| B1 | 8 | | G3 |
| | 10 | 41 | |
| | 11 | 43 | |
| B2 | 7 9 11 13 | 45 | |
| | | 47 | |
| | | 49 | |
| | | 51 | |
| | | 38 | |
| | | 40 | |
| G1 | 14 | G4 | |
| | 21 | | 44 |
| | 23 | | 46 |
| | 25 | | 48 |
| | 27 | | 50 |
| | 29 | | |
| | 31 | | |
| | 33 | | |
| 35 | | | |

Fuente: Arcotel(2015). NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA. (p. 4-16). <http://www.arcotel.gob.ec>

La ubicación del rango de frecuencias y de su portadora de video de observan en la siguiente Tabla 4.1-3:

Tabla 4.1-3

Ubicación de frecuencias y portadoras

| BANDA DE FRECUENCIAS | CANAL | RANGO DE FRECUENCIAS MHz | PORTADORA DE VIDEO (MHz) | PORTADORA DE AUDIO (MHz) |
|--------------------------|-------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 2 | 54-60 | 55,25 | 59,75 |
| VHF I (54-72 MHz) | 3 | 60-66 | 61,25 | 65,75 |
| | 4 | 66-72 | 67,25 | 71,75 |
| VHF I (76-88 MHz) | 5 | 76-82 | 77,25 | 81,75 |
| | 6 | 82-88 | 83,25 | 87,75 |
| | 6 | 82-88 | 83,25 | 87,75 |
| | 7 | 174-180 | 175,25 | 179,75 |
| | 8 | 180-186 | 181,25 | 185,75 |
| | 9 | 186-192 | 187,25 | 191,75 |
| VHF III (174-216 MHz) | 10 | 192-198 | 193,25 | 197,75 |
| | 11 | 198-204 | 199,25 | 203,75 |
| | 12 | 204-210 | 205,25 | 209,75 |
| | 13 | 210-216 | 211,25 | 215,75 |
| UHF IV (470-482 MHz) | 14 | 470-476 | 471,25 | 475,75 |
| | 15 | 476-482 | 477,25 | 481,75 |
| | 21 | 512-518 | 513,25 | 517,75 |
| | 22 | 518-524 | 519,25 | 523,75 |
| | 23 | 524-530 | 525,25 | 529,75 |
| | 24 | 530-536 | 531,25 | 535,75 |
| | 25 | 536-542 | 537,25 | 541,75 |
| | 26 | 542-548 | 543,25 | 547,75 |
| | 27 | 548-554 | 549,25 | 553,75 |
| UHF IV (512-608 MHz) | 28 | 554-560 | 555,25 | 559,75 |
| | 29 | 560-566 | 561,25 | 565,75 |
| | 30 | 566-572 | 567,25 | 571,75 |
| | 31 | 572-578 | 573,25 | 577,75 |
| | 32 | 578-584 | 579,25 | 583,75 |
| | 33 | 584-590 | 585,25 | 589,75 |
| | 34 | 590-596 | 591,25 | 595,75 |
| | 35 | 596-602 | 597,25 | 601,75 |
| | 36 | 602-608 | 603,25 | 607,75 |
| | 38 | 614-620 | 615,25 | 619,75 |
| UHF IV (614-644 MHz) | 39 | 620-626 | 621,25 | 625,75 |
| | 40 | 626-632 | 627,25 | 631,75 |

| | | | | |
|-------------------------|----|---------|--------|--------|
| | 41 | 632-638 | 633,25 | 637,75 |
| | 42 | 638-644 | 639,25 | 643,75 |
| | 43 | 644-650 | 645,25 | 649,75 |
| | 44 | 650-656 | 651,25 | 655,75 |
| | 45 | 656-662 | 657,25 | 661,75 |
| | 46 | 662-668 | 663,25 | 667,75 |
| UHF V (644- 698 MHz) | 47 | 668-674 | 669,25 | 673,75 |
| | 48 | 674-680 | 675,25 | 679,75 |
| | 49 | 680-686 | 681,25 | 685,75 |
| | 50 | 686-692 | 687,25 | 691,75 |
| | 51 | 692-698 | 693,25 | 697,75 |

Fuente: Arcotel(2015). NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA ANALÓGICA. (p. 4-16). <http://www.arcotel.gob.ec>

Una vez que se conoce las distribuciones de frecuencias señaladas en las tablas anteriores de este capítulo, es trascendente conocer la asignación de los usuarios primarios o concesionados para conocer de primera instancia y su posible incidencia en ciertas parroquias rurales de Ambato. Las Áreas de operación de cada zona asignada a la provincia de Tungurahua es el grupo de canales A1 y B1 para VHF y G2 y G3 para UHF. Por lo que la que los canales concesionados para Ambato y sus alrededores son las siguientes:

Tabla 4.1-4

Canales asignados a la provincia de Tungurahua.

| Canal | Nombre de la Estación | Area de Servicio |
|-------|----------------------------------|----------------------|
| 2 | PROMOTORES TV-AMBATO | AMBATO Y ALREDEDORES |
| 4 | RED TELESISTEMA (R.T.S) | AMBATO,LATACUNGA |
| 5 | TELEVISORA NACIONAL | AMBATO, LATACUNGA |
| 7 | ECUADOR TV | AMBATO |
| 8 | TELEVISION DEL PACIFICO | AMBATO,BAÑOS |
| 10 | CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION | AMBATO,BAÑOS |

| | | |
|----|-------------------------|----------------------------|
| 12 | TELEVISION DEL PACIFICO | AMBATO,LATACUNGA, PILLARO. |
| 22 | CANAL INTIMAS | AMBATO |
| 23 | UNIMAX | AMBATO |
| 24 | CANAL UNO | AMBATO,LATACUNGA |
| 26 | TV LEGISLATIVA | AMBATO Y OTROS CANTONES |
| 28 | TELEATAHUALPA (RTU) | AMBATO,LATACUNGA |
| 32 | TROPICAL TV | AMBATO, LATACUNGA |
| 34 | UNIMAX | AMBATO, LATACUNGA |
| 39 | UCSG TELEVISION | AMBATO Y LATACUNGA |
| 41 | ASOMAVISION | AMBATO, LATACUNGA |
| 43 | TELERAMA | AMBATO, LATACUNGA |
| 49 | EL CIUDADANO TV | AMBATO |

Fuente: Arcotel(2015). Estaciones concesionadas de Televisión Abierta y Digital Terrestre.
<http://www.arcotel.gob.ec>

4.2. PARROQUIAS RURALES DEL CANTON AMBATO

Las zonas rurales del cantón Ambato están conformadas por 18 parroquias rurales las cuales son las siguientes:

- Ambatillo
- Atahualpa
- Augusto Martinez
- Constantino Fernández
- Cunchibamba
- Huachi Grande
- Izamba
- Juan B. Vela
- Montalvo
- Pasa
- Picaihua

- Pilahuin
- Quisapincha
- San Bartolomé de Pinllo
- San Fernando
- Santa Rosa
- Totoras
- Unamuncho

4.3. COMPONENTES PARA ADQUISICION Y SENSADO DE SEÑALES

El sistema está conformado básicamente por tres bloques principales para el sensado del espectro en la banda de TV. El primero conformado por la antena de disco y cono para scáner, el segundo conformado por la USRP 2920 de National Instruments, y el tercer bloque conformado por Lab View de National Instruments como indica la Figura:



Figura 4.3-1 Componentes para adquisición y sensado.

Fuente: Elaborado por Investigador.

4.3.1 Características de la Antena

Para la captura de señales en este caso recurrimos a un tipo de antena de disco y cono construida de acero inoxidable con una cobertura de frecuencias de 25 a 1300 Mhz, con patrón de radiación omnidireccional, conectado a la antena con conector PL-259 con cable coaxial de 50 ohmios de 1.5 m y en su otro extremos del cable conectado a la USRP con conector SMA, minimizando las pérdidas por cable y conectores.

4.3.2 Características de la USRP

La USRP utilizada es la USRP-2920 de National Instrument, se utilizó esta debido a su rango de frecuencia ajustable que va desde los 50 MHz a 2.2 GHz suficientes para cubrir los rangos de frecuencias de la banda de TV, su completo conjunto de herramientas de desarrollo hace que permita la implementación de algoritmos de sensado, utilizados básicamente para investigación y perfectamente adaptable al propósito de estudio. De un lado se conecta por medio de un conector SMA de la USRP a la antena y por medio de cable Ethernet del puerto Gigabit Ethernet a la PC.

4.3.3 Software de Aplicación

El software utilizado LabView, NI USRP, el cual brinda facilidades de entorno para la programación grafica compatible con cualquier USRP de National Instrument, el paquete NI USRP permite la configuración para la adquisición de datos en tiempo real. La PC en donde está cargado el programas de la LabVIEW necesita puerto GigaEthernet para que

pueda comunicarse con la USRP. Muchos son los beneficios de utilizar este tipo de software debido a las siguientes razones:

- Integración con Hardware: Usa la tecnología FPGA para crear sistemas más complejos con un solo entorno de desarrollo.
- Flujo Uniforme para Diseño de Software: Puede generar prototipos de los nuevos diseños, los diseñadores de comunicaciones se han estandarizado en plataformas de radio definido por software (SDR) puesto que estos dispositivos de hardware ofrece estupenda flexibilidad.
- Capacidad de Linux Real-Time: Puede desarrollar algoritmos de tiempo crítico y agiliza el acceso a las vastas herramientas y tecnologías de código abierto necesarias para desarrollar prototipos de sistemas completos al permitir la investigación de capa superior y MAC.
- IP de Aplicaciones Modificable: Los frameworks de aplicación son diseños de referencia de software que ofrecen un amplio juego de FPGA IP de alto rendimiento para generar prototipos de sistemas de comunicación inalámbrica en tiempo real. Al combinarse con la línea de NI de SDRs, los frameworks de aplicación forman una plataforma completa de generación de prototipos de hardware y software (National Instrument, n.d.).

4.4. Programación en LabVIEW para la adquisición y procesado de las señales.

4.4.1 Parámetros de configuración.

En este bloque se establecen los valores de configuración para la USRP, como la dirección IP del puerto Ethernet del dispositivo (Device names) que en este caso es la 192.168.10.2; Canal de adquisición por defecto es el canal 0; velocidad de adquisición de banda base I/Q Rate de 12.1 Mega muestras por segundo , ancho de banda de 6MHz, ganancia del dispositivo de 0dB y numero de muestras de adquisición desde el dispositivo igual a 1000, como se observa en la figura 1.

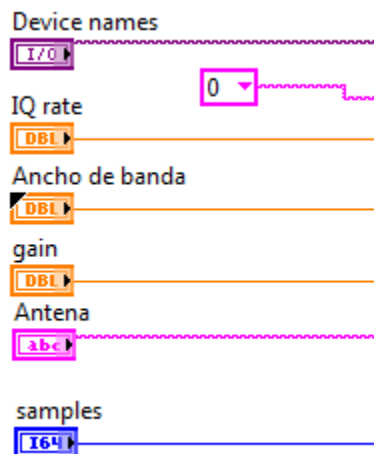


Figura 4.4-1 Configuración de USRP 2920.

Fuente: Elaborado por Investigador.

Un parámetro importante de configuración es la frecuencia central de la portadora de la señal de radio frecuencia la cual debe cambiar su valor conforme avance el programa, en este se especifican las frecuencias sobre las cuales realizara el análisis, en la Figura 4.4-2 se observa todas las frecuencias de análisis pertenecientes a la banda de TV , también es

importante indicar que el bloque de configuración tiene como salida los valores reales con los que se configuro el dispositivo

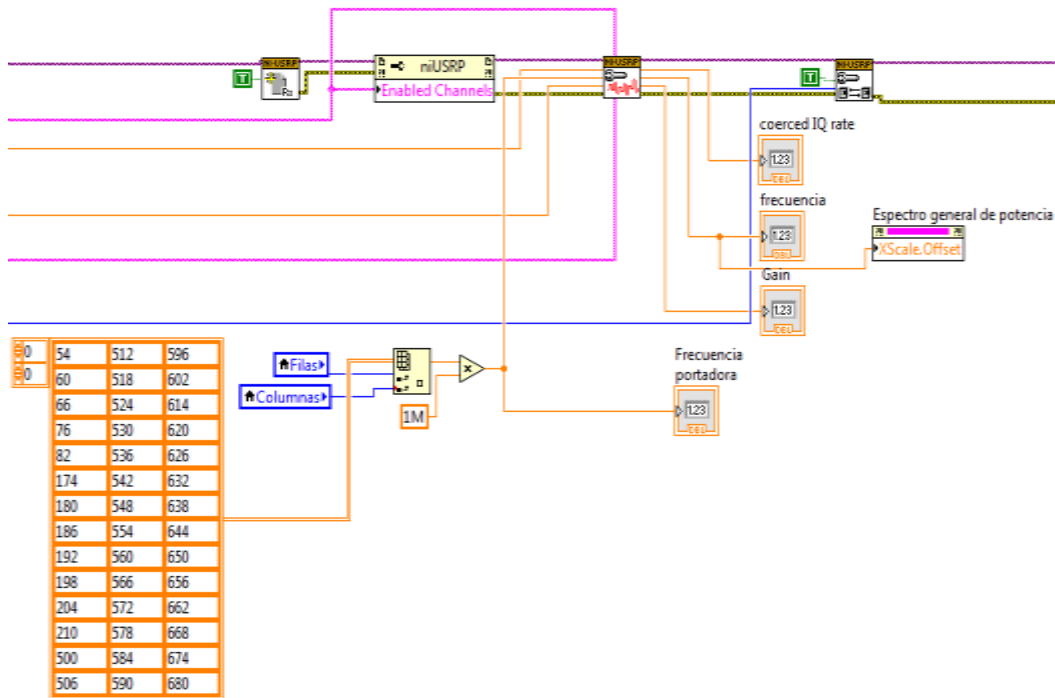


Figura 4.4-2 Frecuencias de análisis en la banda de TV.

Fuente: Elaborado por Investigador.

4.4.2 Sensado de las señales por método de detección de Energía.

Para el sensado debemos tomar en cuenta que el método utilizado es el de Detección de Energía, para lo cual el estándar nos señala que para la detección de probabilidades debemos tomar en cuenta los parámetros establecidos en la siguiente tabla propia del estándar.

Tabla 4.4-1

Requisitos para los parámetros de la capa física para una probabilidad típica de detección.

| Parameter | DTV/ATV | Part 74 |
|---|-------------------------------------|---------------------------|
| Detection time | ≤ 2 [sec] | ≤ 2 [sec] |
| Move time | 2 [sec] | 2 [sec] |
| Closing transmission time | 100 [ms] | 100 [ms] |
| Detection threshold (sensitivity) at 90% probability of detection, 10% probability of false alarm | -114 [dBm] (DTV) -94 [dBm] (ATV) | -107 [dBm] (Over 200 KHz) |
| SNR | -21 [dB] (DTV) 1 [dB] (ATV) | -12 [dB] |

Fuente: Saeed Rashid A, Shellhammer J(2012).TV White Space Spectrum Technologies. (p. 417). CRC Press

Una vez configurada la USRP se procede a capturar las señales, en cada instante de configuración el dispositivo toma como frecuencia central de captura una de las que se especifican en el array de frecuencias, de la Figura 4.4-2 se sabe que la portadora de video es la que concentra la mayor cantidad de energía de los 6 MHz del canal de TV, por lo que se realiza la medición de potencia a 1.25MHz del inicio de cada canal el ancho de banda de esta portadora es aproximadamente 250KHz con la ayuda de los VI “Power Spectrum” y “Power In Band” se calcula la potencia de esta señal durante un tiempo especificado controlado en Labview por el VI “Elapsed Time” luego de transcurrido dicho intervalo de

tiempo el software salta a la etapa de procesamiento y posteriormente vuelve a reconfigurar la USRP con el siguiente valor de frecuencia de captura como se muestra en la Figura 4.4-3 .

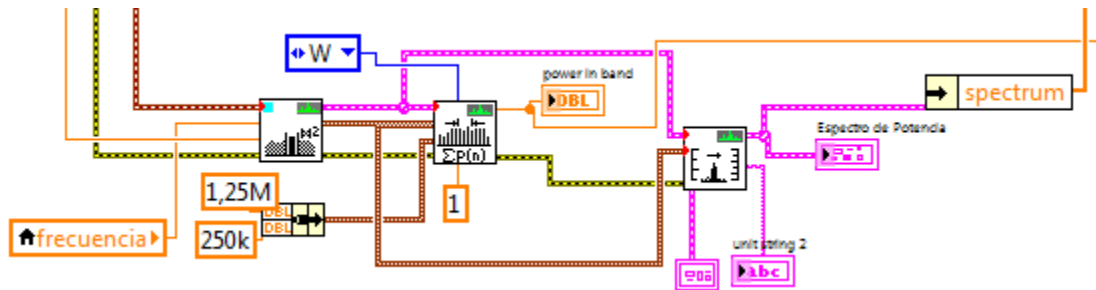


Figura 4.4-3 Captura de señales.

Fuente: Elaborado por Investigador.

4.4.3 Procesado y toma de decisión.

Luego de capturar los valores de potencia de la portadora de video se calcula la probabilidad de estos valores correspondan a una señal proveniente de una estación de TV o su ausencia, para este propósito organizamos los valores de potencia en un histograma y calculamos la media y la varianza, estos parámetros alimentan al VI para el calculo de CDF y PDF basado en la distribución Gamma la cual modela de mejor manera la distribución de los valores de potencia capturados como muestra en la Figura 4.4-4, la función gamma requiere tres parámetros fundamentales que son los valores continuos de la variable aleatoria, el parámetro de forma y de escala, el primero proviene de los valores del histograma, el segundo de la media al cuadrado dividido por la varianza y el tercer parámetro se obtiene de la varianza sobre la media, esto producirá una distribución gamma lo más cercana posible a la distribución real de potencias, utilizando el valor del umbral para la CDF de la función gamma se ha establecido en -80dBm en base a la

experimentación de campo con la que se puede obtener la probabilidad de existencia o no de un canal de TV .

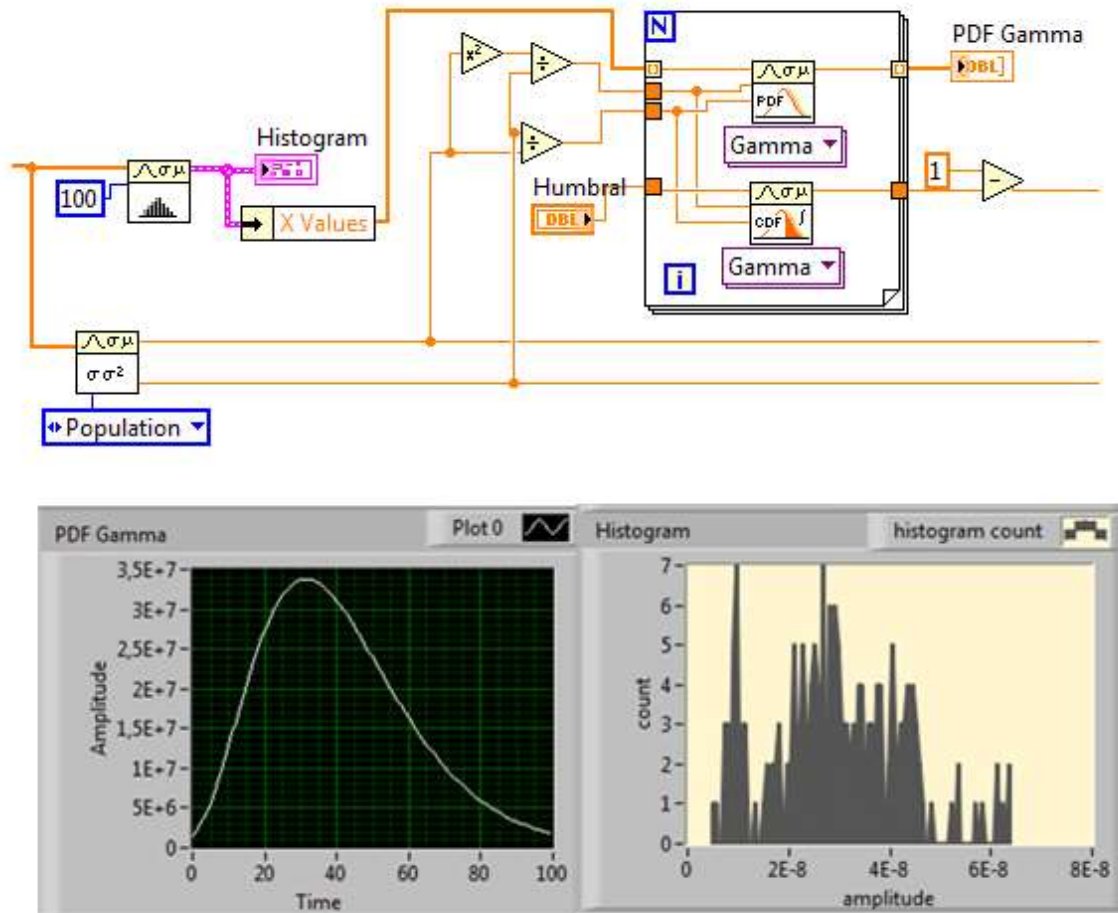


Figura 4.4-4 Toma de decisiones en función de la distribución Gamma

Fuente: Elaborado por Investigador.

El diagrama de bloques completo se encuentra en el Anexo 1 en donde se visualiza toda la programación en LabVIEW.

El panel de control se encuentra en el Anexo 2, en donde se visualiza los parámetros de configuración inicial, el estado del receptor, el espectro general de potencia que visualiza la

señal relativa a la frecuencia de la portadora central, el espectro de potencia absoluto del canal de 6MHz, y las tres columnas de resultados que son el valor promedio de potencias en Watos, la varianza y la probabilidad de existencia de canal.

4.4.4 Obtención de Resultados y Análisis.

Para las pruebas se realizaron en todas la parroquias rurales del cantón Ambato, las cuales son un total de 18 parroquias como se mencionó. La siguiente Figura 4.4-5 muestra la ubicación de todas las parroquias.

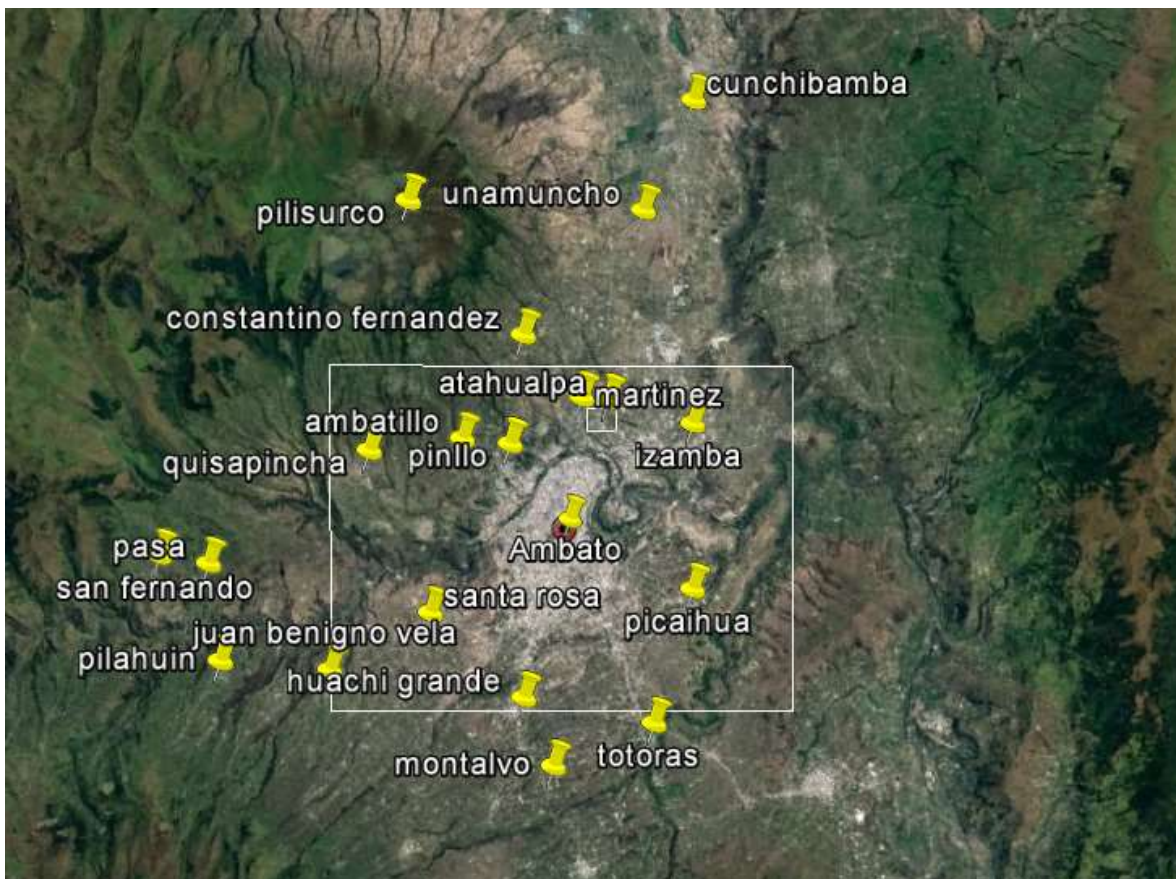


Figura 4.4-5 Ubicación de Parroquias rurales de Ambato.

Fuente: Elaborado por Investigador.

Los resultados en cada parroquia para la decisión de la ocupación de un canal nos proporciona la tabla de resultados de probabilidad de los 49 canales obtenidos de columna de probabilidades señalado en el ANEXO 2, con lo que se presenta a continuación en las siguientes figuras de barras concernientes a cada parroquia en base a los resultados totales señalados en la tabla del ANEXO 3.

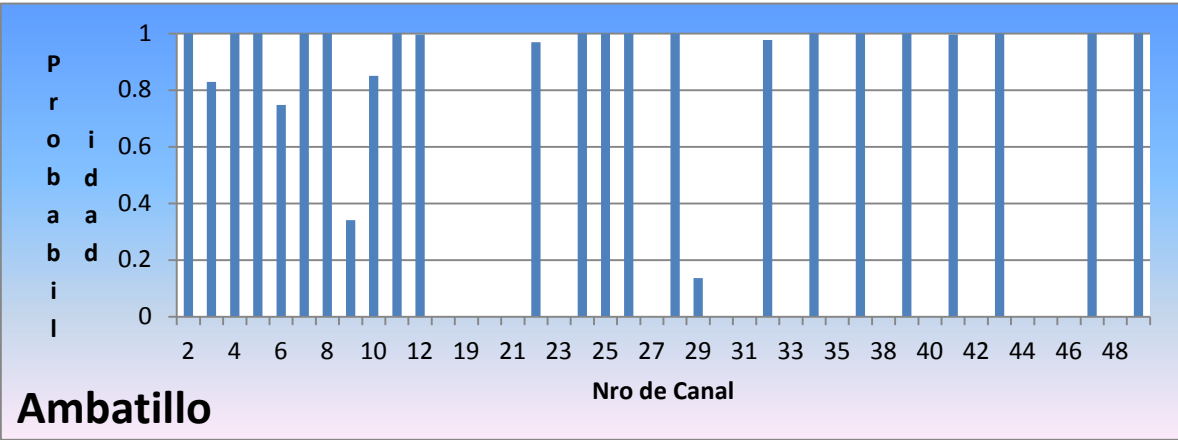


Figura 4.4-6 Probabilidad de ocupación de canales en Ambatillo.

Fuente: Elaborado por Investigador.

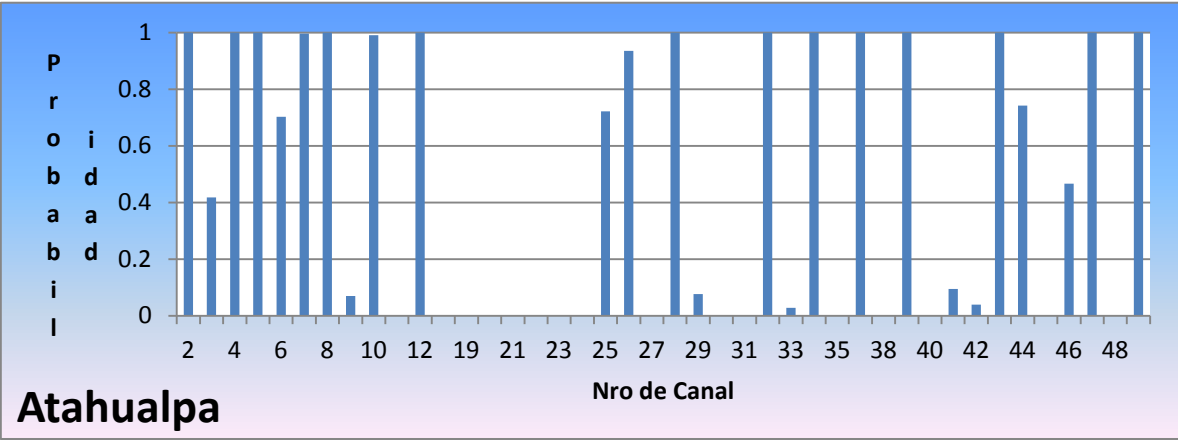


Figura 4.4-7 Probabilidad de ocupación de canales en Atahualpa.

Fuente: Elaborado por Investigador.

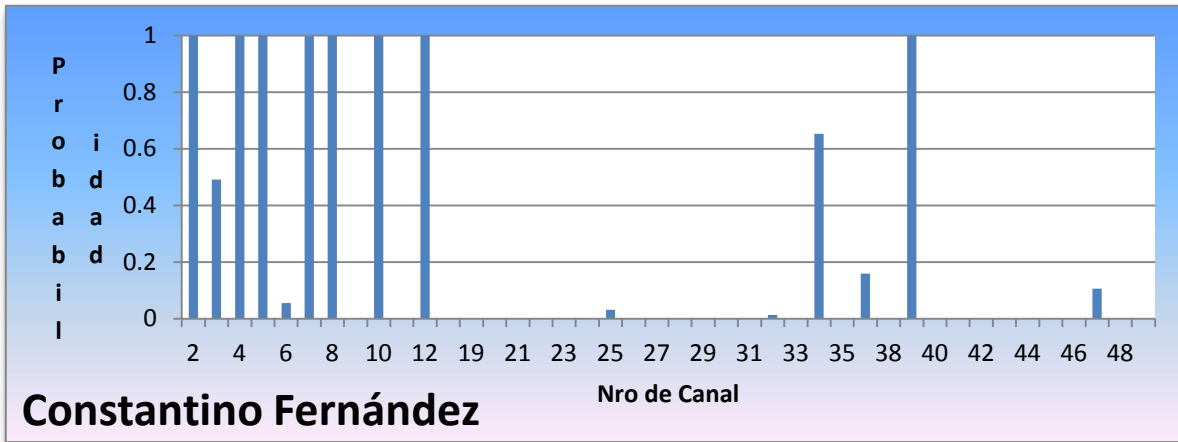


Figura 4.4-8 Probabilidad de ocupación de canales en Constantino Fernandez.

Fuente: Elaborado por Investigador.

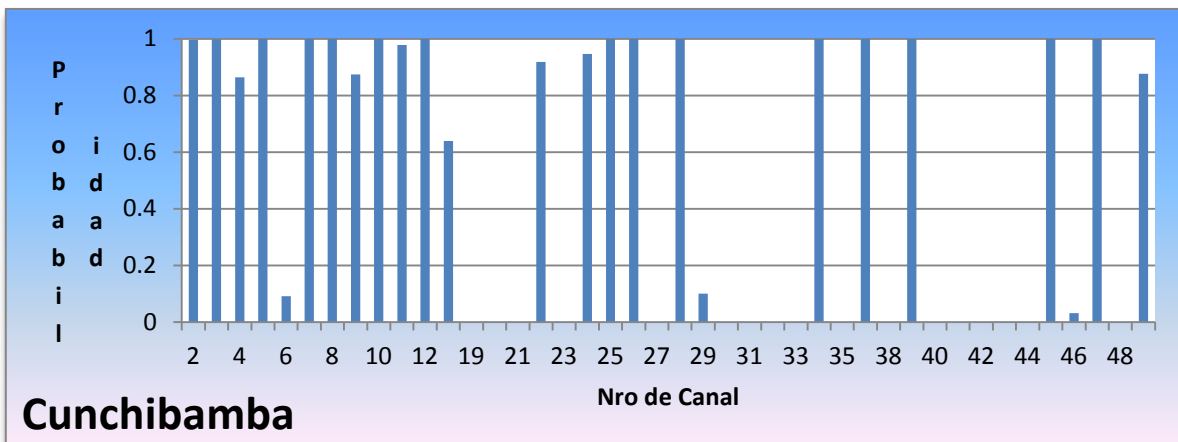


Figura 4.4-9 Probabilidad de ocupación de canales en Cunchibamba.

Fuente: Elaborado por Investigador.

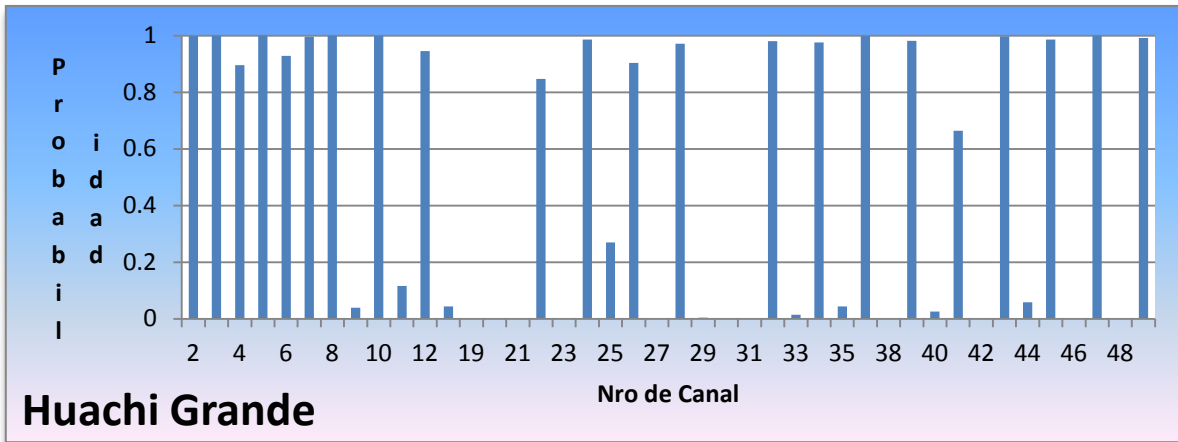


Figura 4.4-10 Probabilidad de ocupación de canales en Huachi Grande.

Fuente: Elaborado por Investigador.

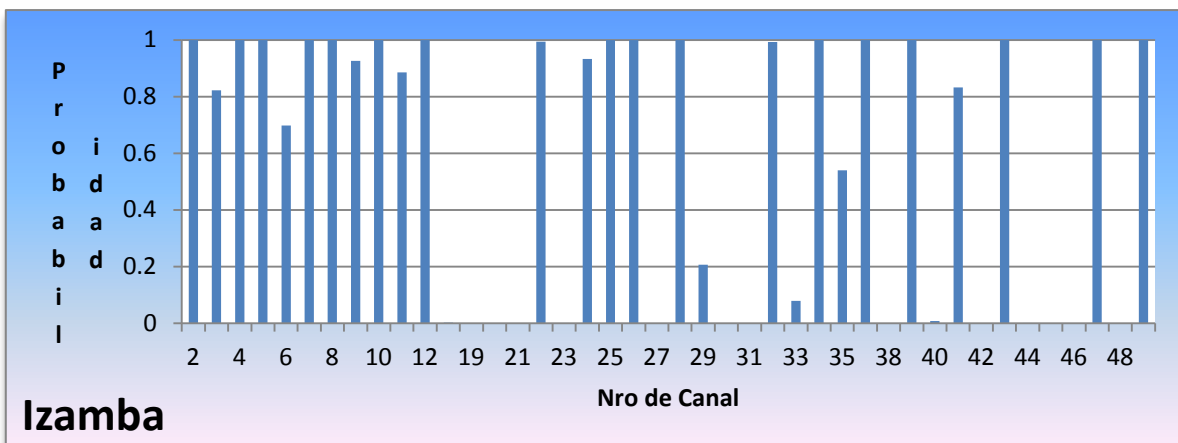


Figura 4.4-11 Probabilidad de ocupación de canales en Izamba.

Fuente: Elaborado por Investigador.

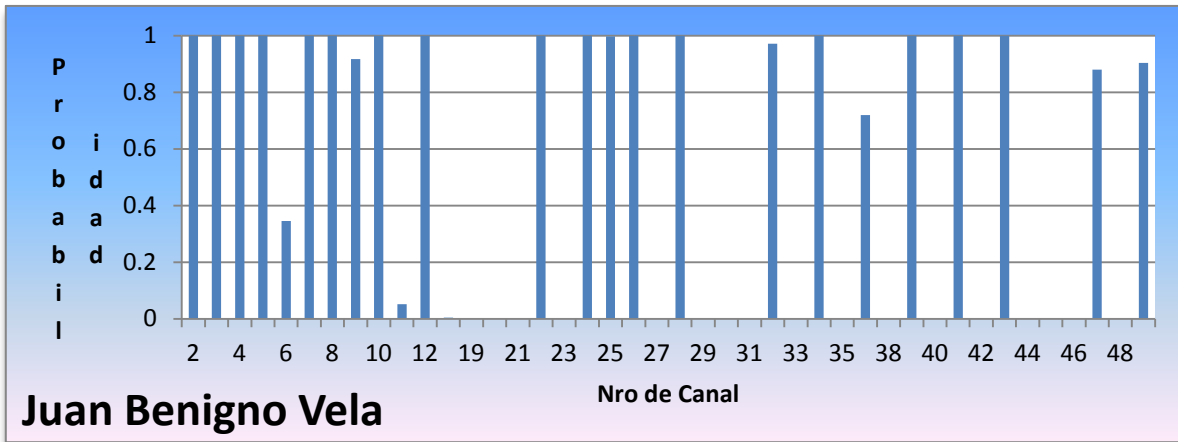


Figura 4.4-12 Probabilidad de ocupación de canales en Juan Benigno Vela.

Fuente: Elaborado por Investigador.

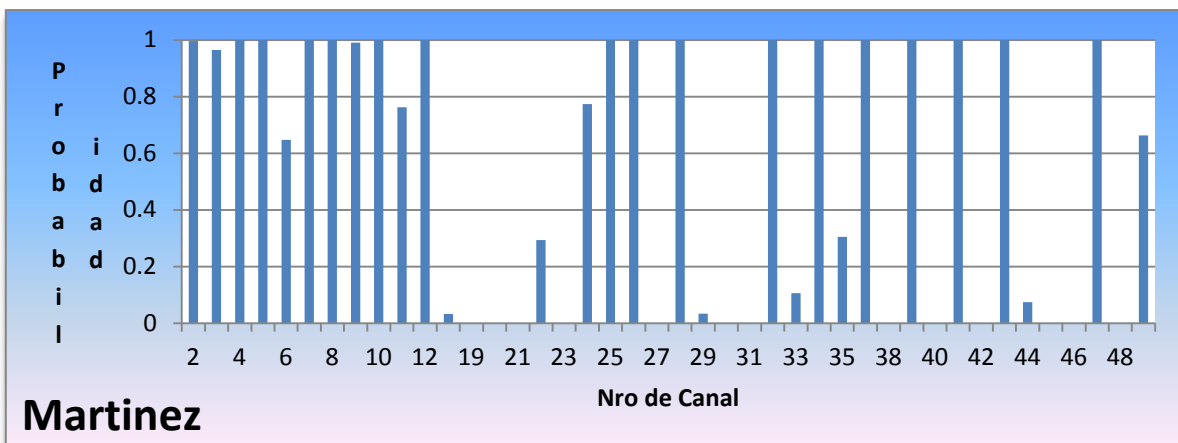


Figura 4.4-13 Probabilidad de ocupación de canales en Martinez.

Fuente: Elaborado por Investigador.

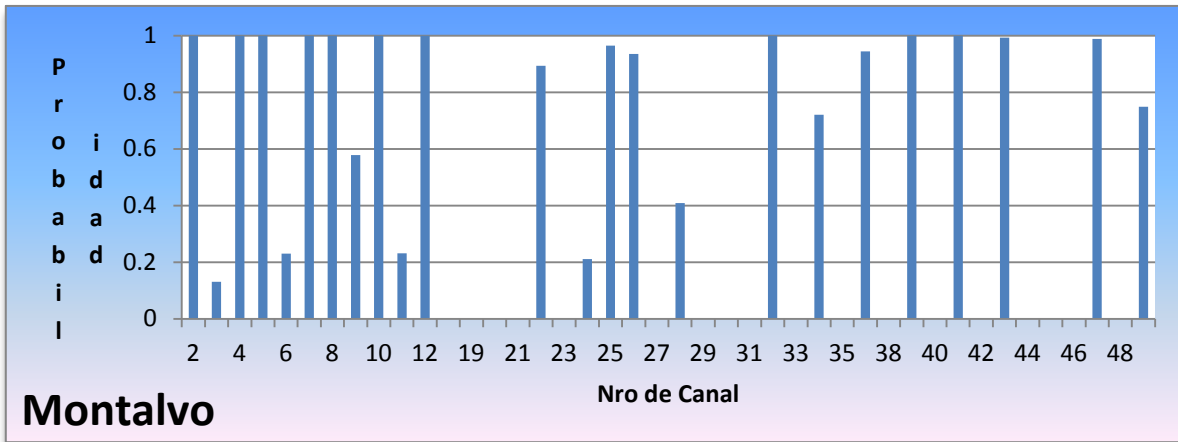


Figura 4.4-14 Probabilidad de ocupación de canales en Montalvo.

Fuente: Elaborado por Investigador.

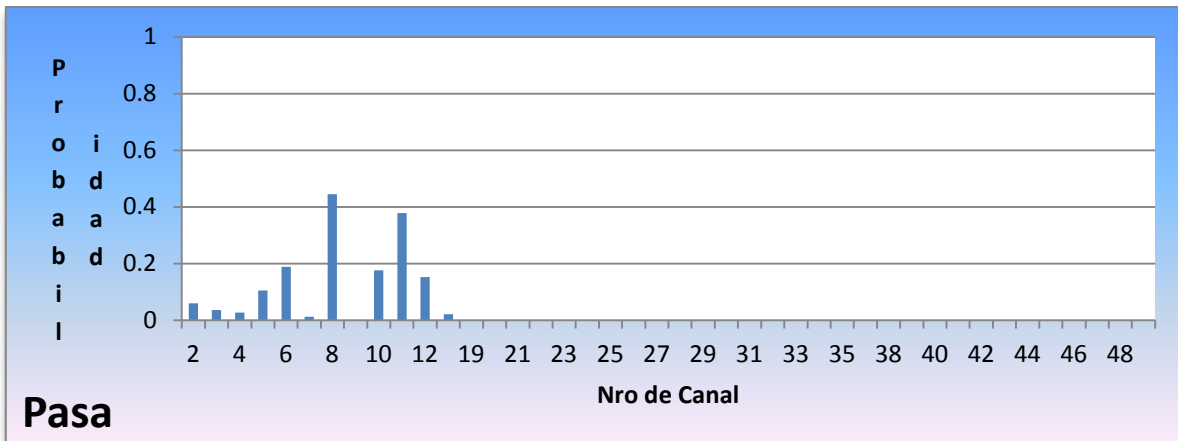


Figura 4.4-15 Probabilidad de ocupación de canales en Pasa.

Fuente: Elaborado por Investigador.

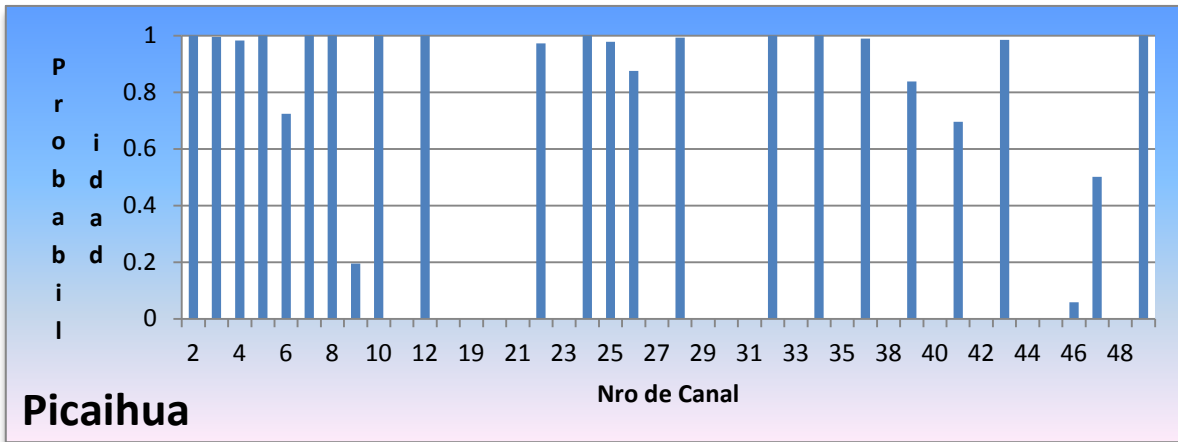


Figura 4.4-16 Probabilidad de ocupación de canales en Picaihua.

Fuente: Elaborado por Investigador.

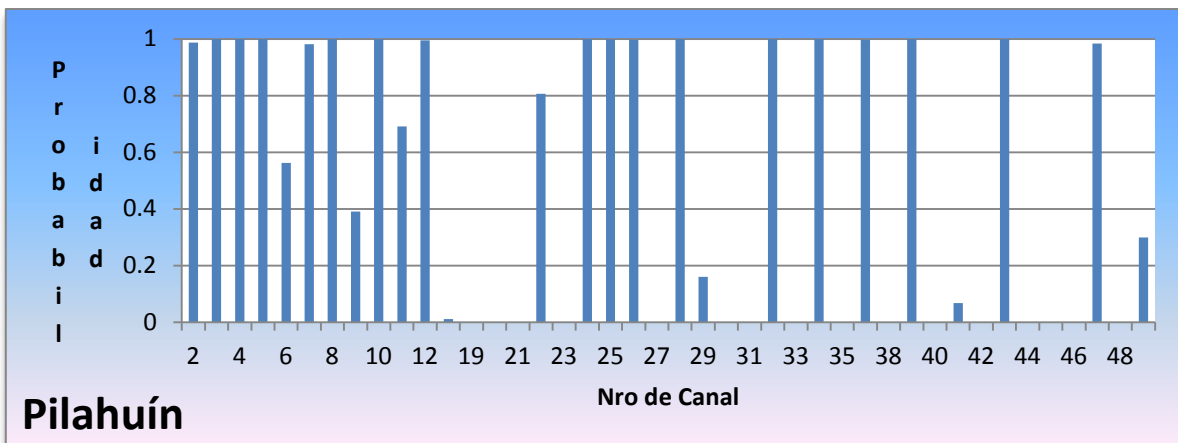


Figura 4.4-17 Probabilidad de ocupación de canales en Pilahuín.

Fuente: Elaborado por Investigador.

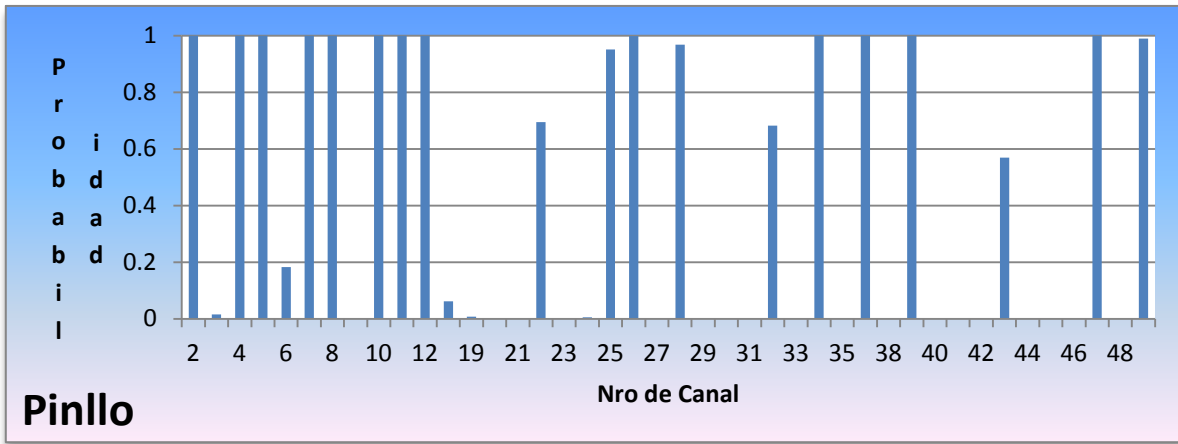


Figura 4.4-18 Probabilidad de ocupación de canales en Pinllo.

Fuente: Elaborado por Investigador.

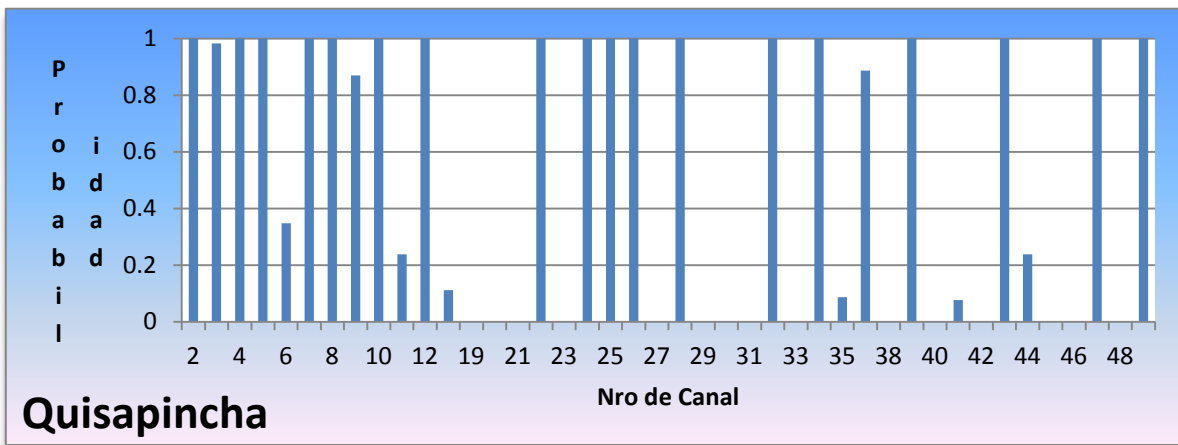


Figura 4.4-19 Probabilidad de ocupación de canales en Quisapincha.

Fuente: Elaborado por Investigador.

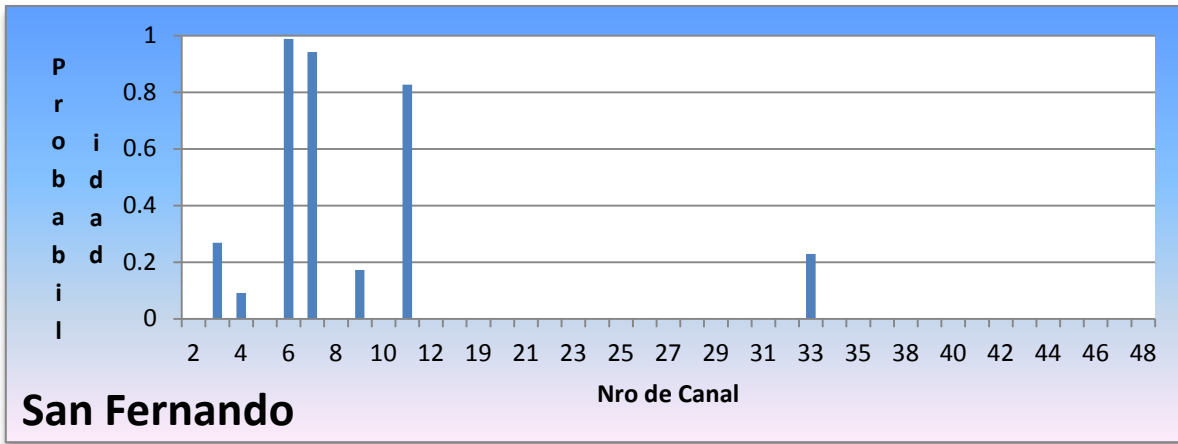


Figura 4.4-20 Probabilidad de ocupación de canales en San Fernando.

Fuente: Elaborado por Investigador.

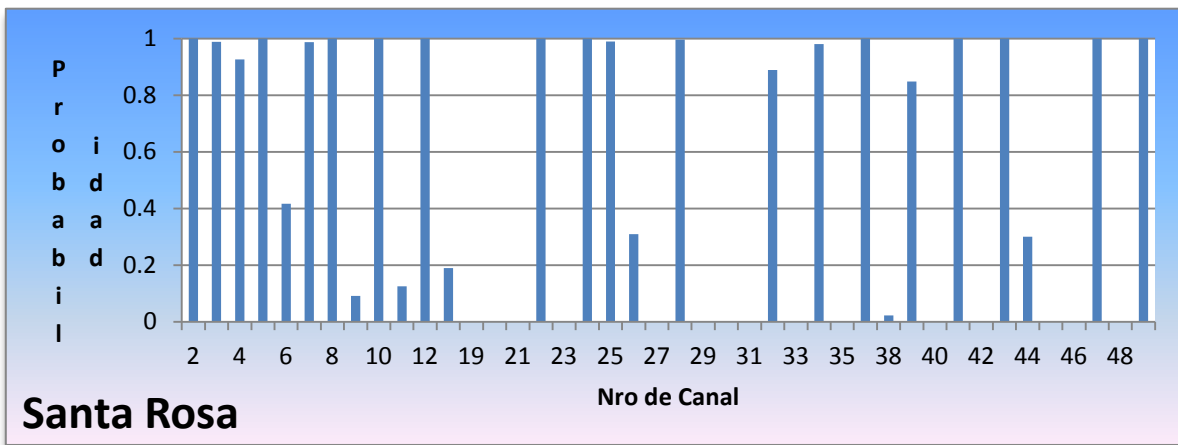


Figura 4.4-21 Probabilidad de ocupación de canales en Santa Rosa.

Fuente: Elaborado por Investigador.

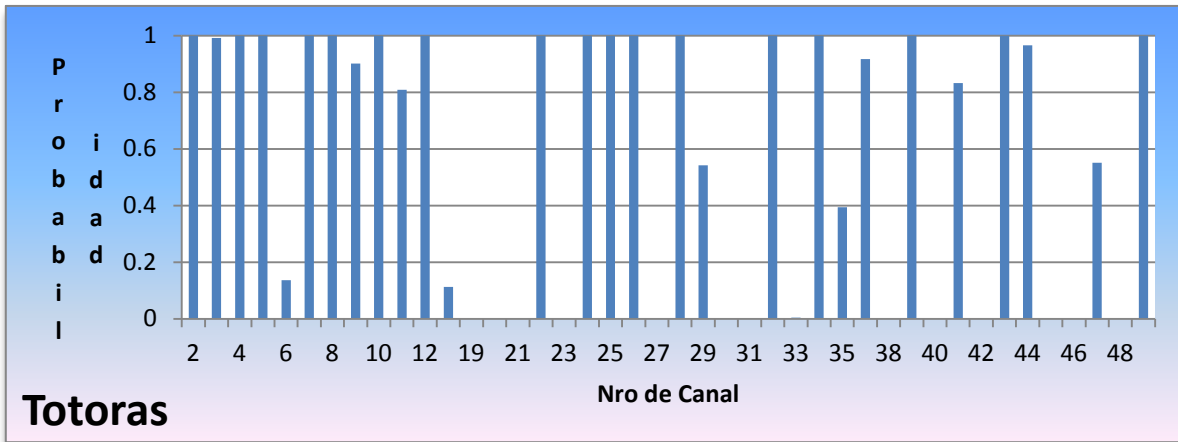


Figura 4.4-22 Probabilidad de ocupación de canales en Totoras.

Fuente: Elaborado por Investigador.

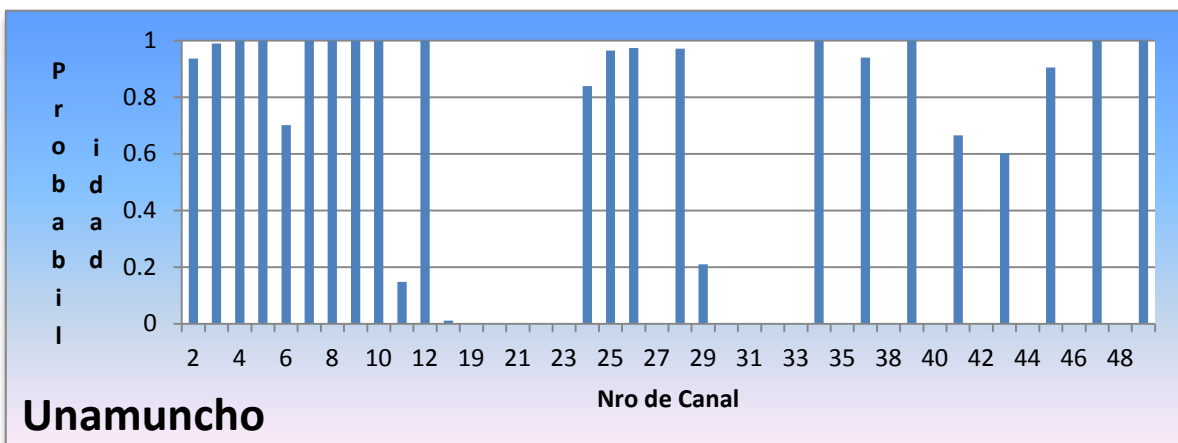


Figura 4.4-23 Probabilidad de ocupación de canales en Unamuncho.

Fuente: Elaborado por Investigador.

En base a todas las mediciones realizadas en las parroquias se estableció la siguiente tabla consolidada ANEXO 4 con respecto a la probabilidad de falsa alarma lo que nos da como resultado la cantidad de canales utilizados y los posibles canales para ser utilizados en el estándar 802.22 en las siguientes figuras:

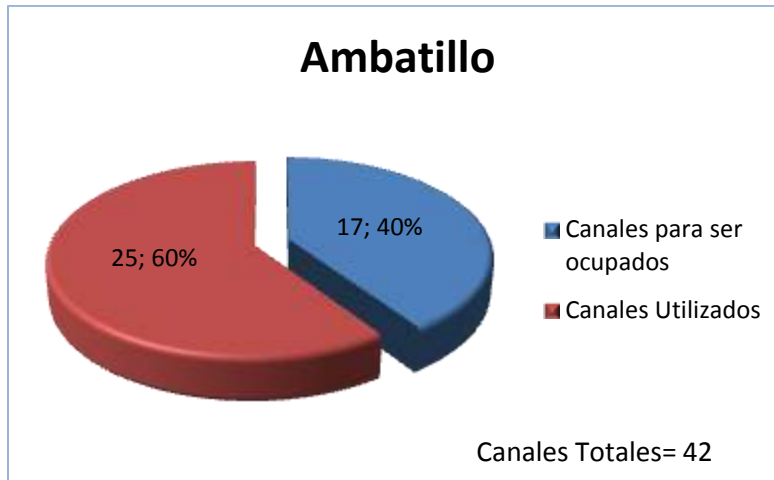


Figura 4.4-24 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Ambatillo.

Fuente: Elaborado por Investigador.

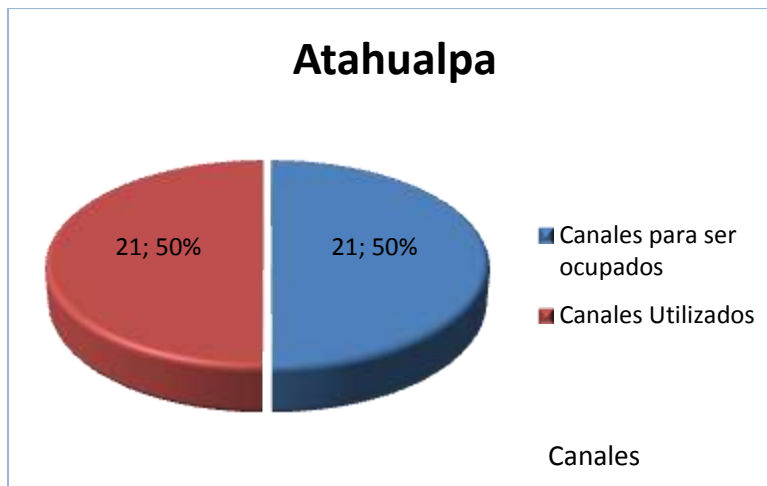


Figura 4.4-25 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Atahualpa.

Fuente: Elaborado por Investigador.

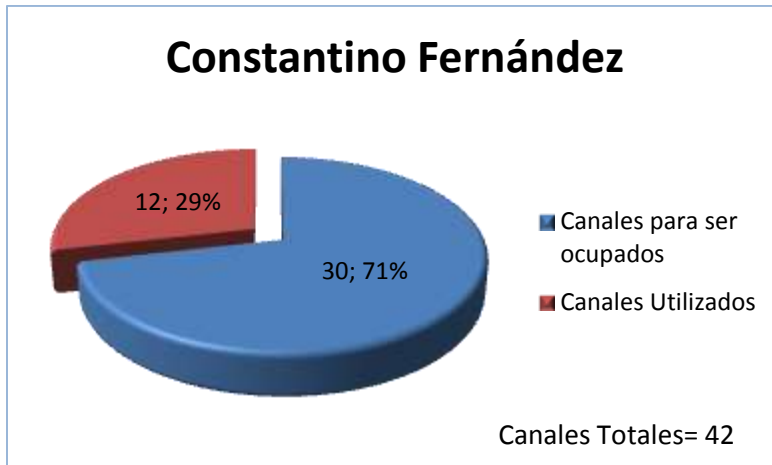


Figura 4.4-26 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Constantino Fernandez.

Fuente: Elaborado por Investigador.

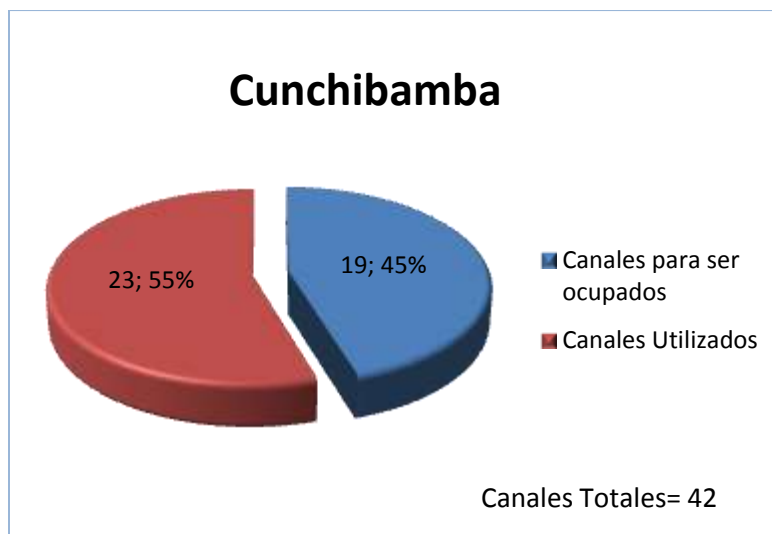


Figura 4.4-27 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Cunchibamba.

Fuente: Elaborado por Investigador.

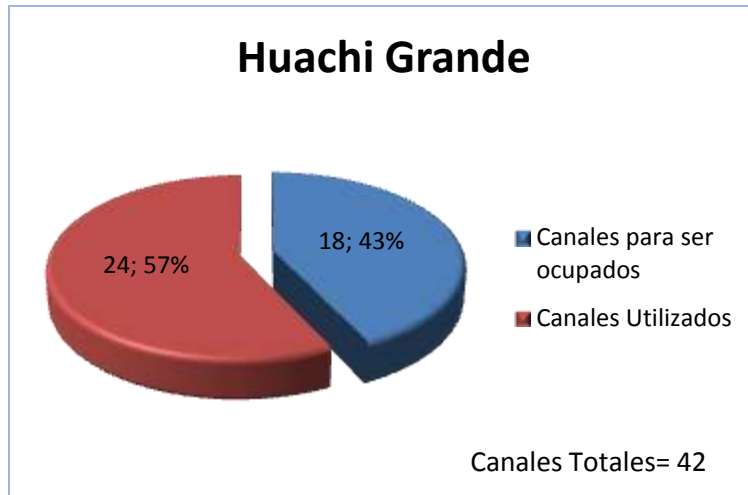


Figura 4.4-28 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Huachi Grande.

Fuente: Elaborado por Investigador.

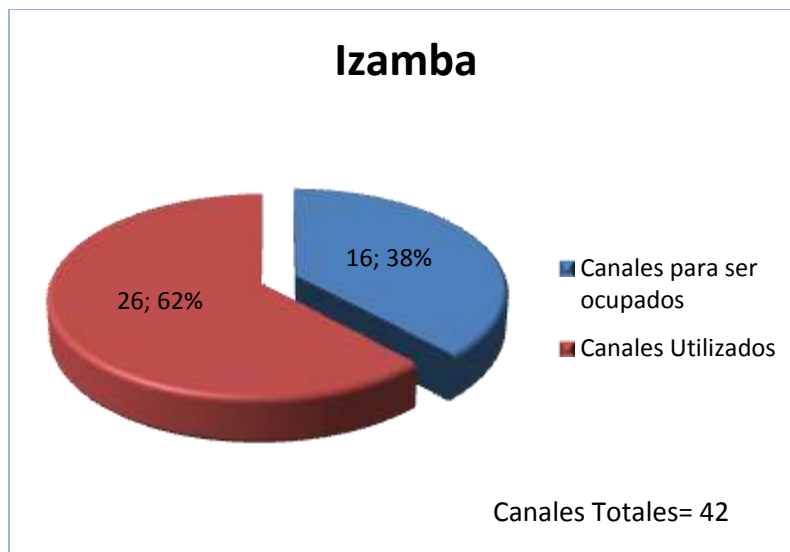


Figura 4.4-29 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Izamba.

Fuente: Elaborado por Investigador.

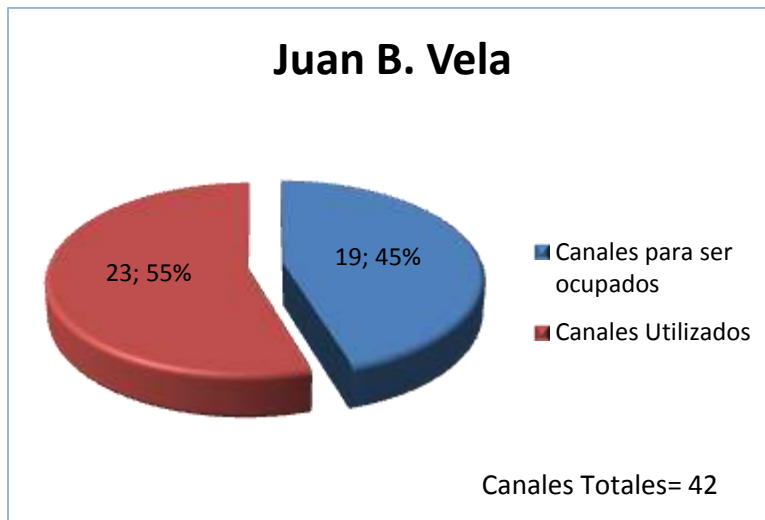


Figura 4.4-30 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Juan Benigno Vela.

Fuente: Elaborado por Investigador.

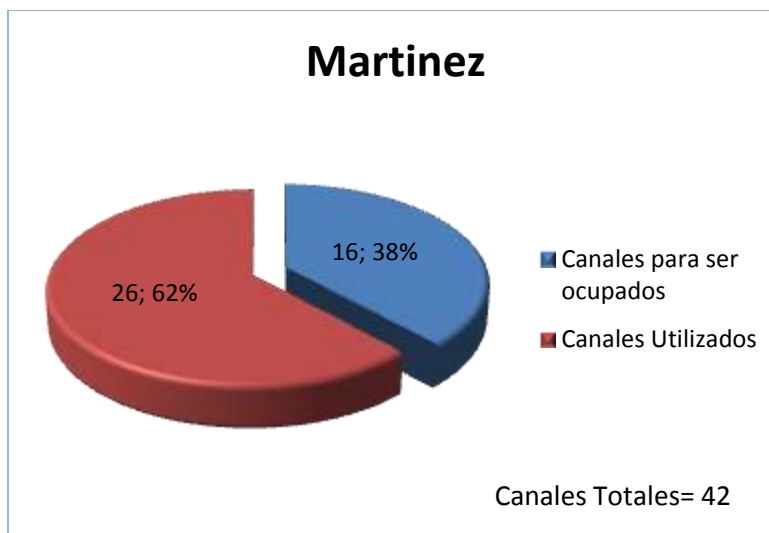


Figura 4.4-31 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Martinez.

Fuente: Elaborado por Investigador.

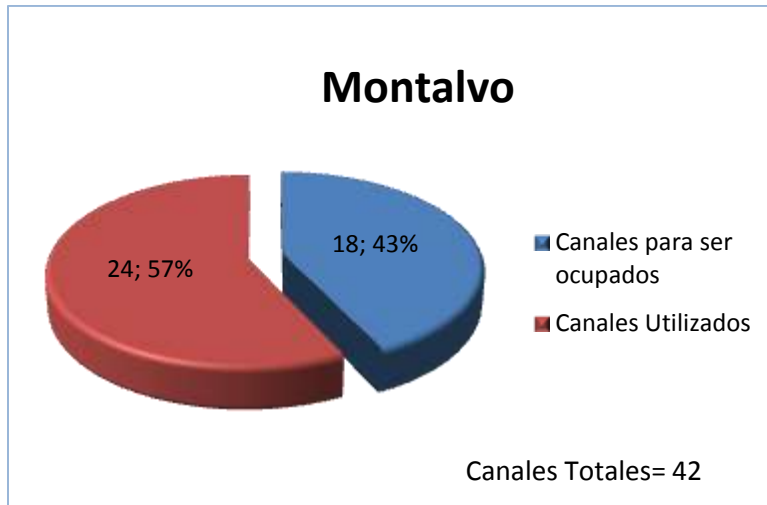


Figura 4.4-32 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Montalvo.

Fuente: Elaborado por Investigador.

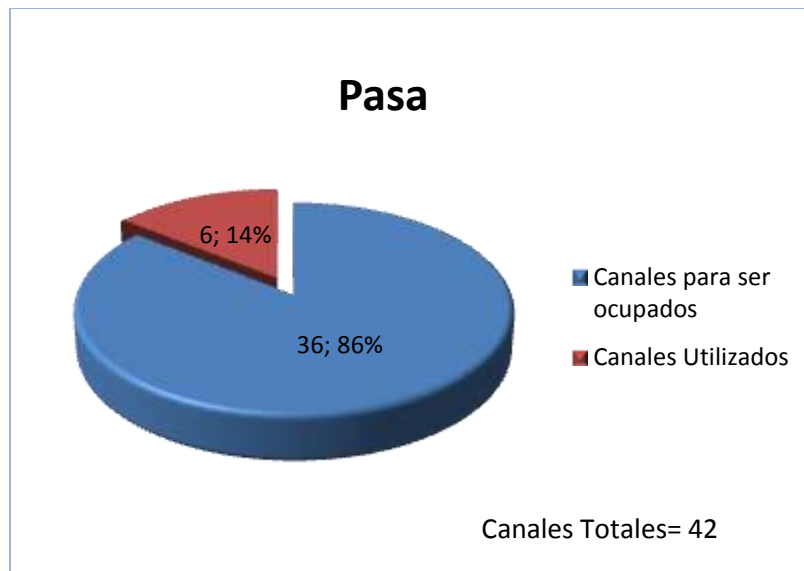


Figura 4.4-33 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Pasa.

Fuente: Elaborado por Investigador.

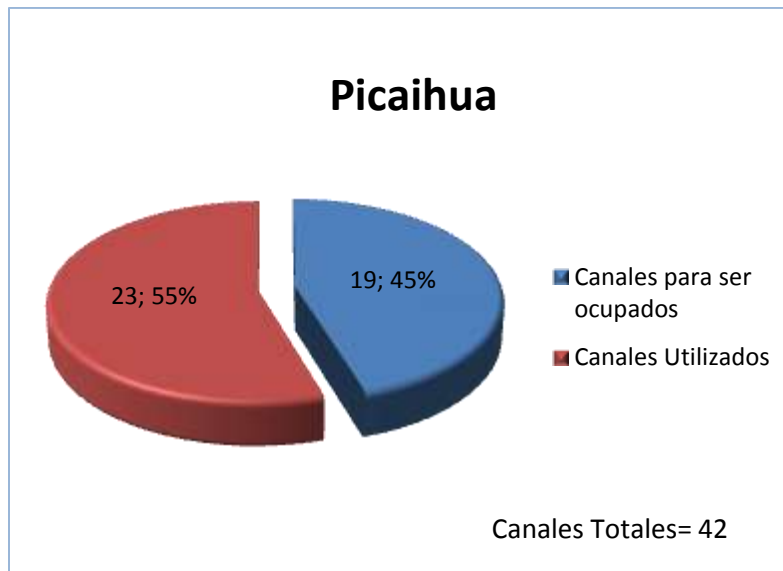


Figura 4.4-34 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Picaihua.

Fuente: Elaborado por Investigador.

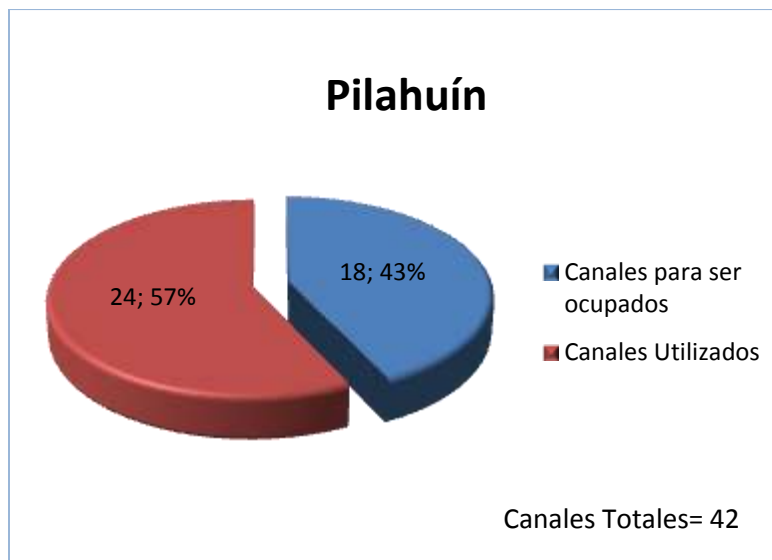


Figura 4.4-35 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Pilahuín.

Fuente: Elaborado por Investigador.

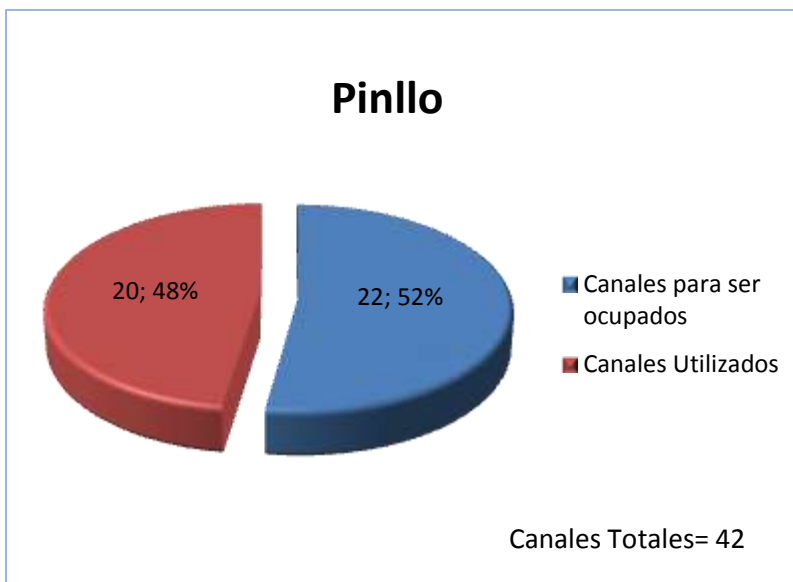


Figura 4.4-36 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Pinllo.

Fuente: Elaborado por Investigador.

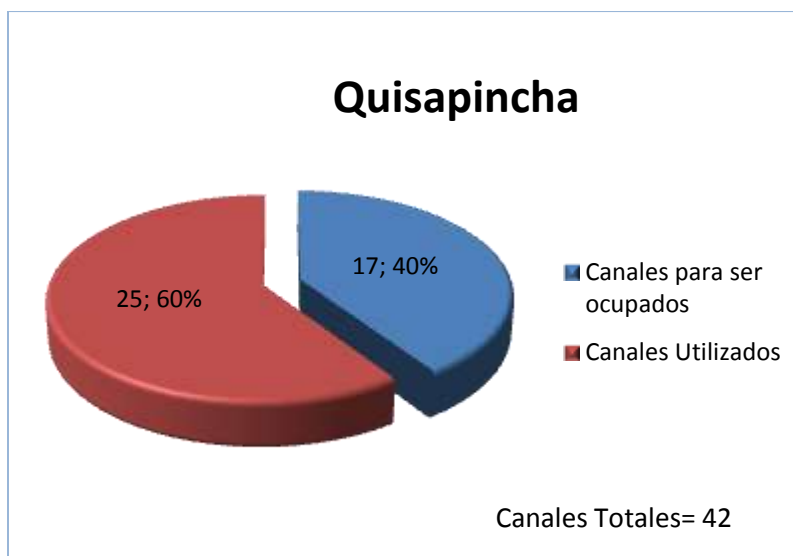


Figura 4.4-37 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Quisapincha.

Fuente: Elaborado por Investigador.

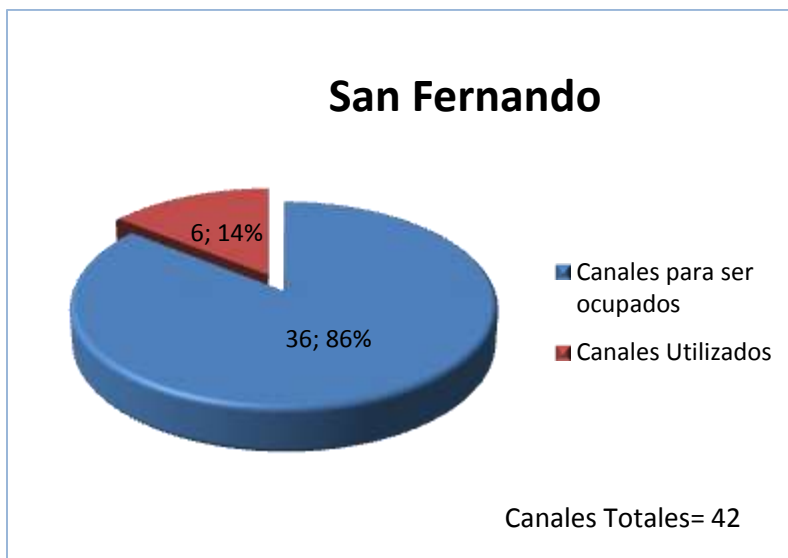


Figura 4.4-38 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en San Fernando.

Fuente: Elaborado por Investigador.

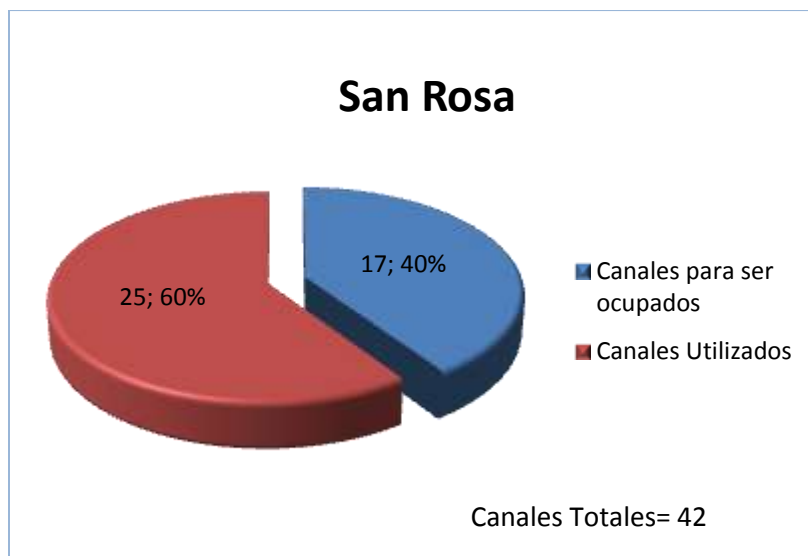


Figura 4.4-39 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Santa Rosa.

Fuente: Elaborado por Investigador.

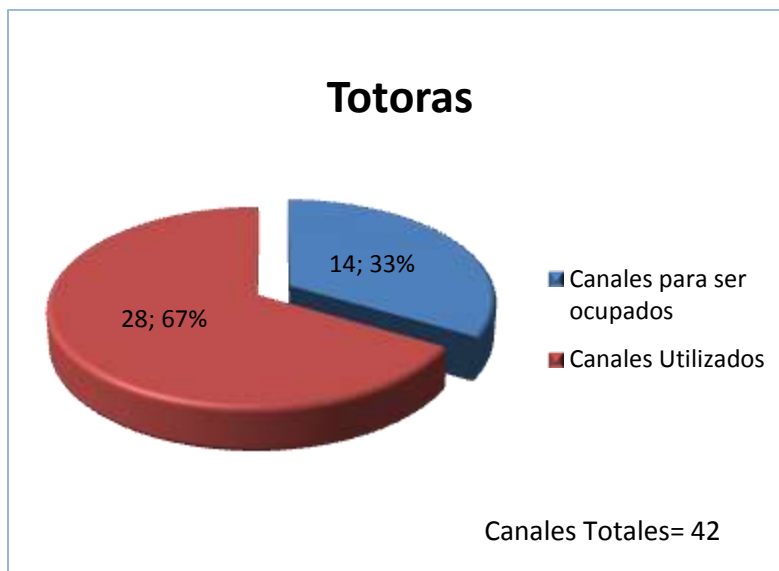


Figura 4.4-40 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Totoras.

Fuente: Elaborado por Investigador.

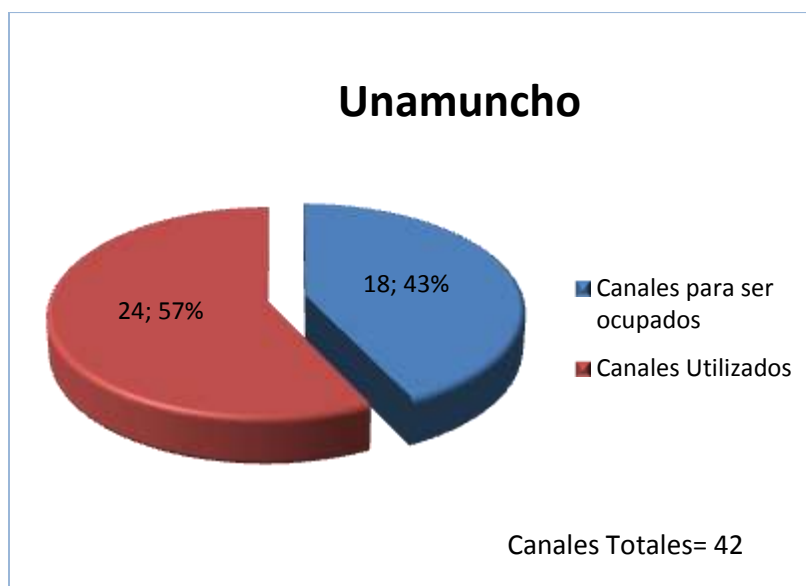


Figura 4.4-41 Canales utilizados y no utilizados para 802.22 en Unamuncho.

Fuente: Elaborado por Investigador.

Si bien es cierto para la provincia de Tungurahua están concesionados 18 canales, existen en las mediciones la incidencia de canales por ejemplo los asignados a la provincia

de Cotopaxi, esto hace que no sea suficiente escanear solo los asignados sino todo el rango de la banda de TV como está realizado en este estudio, asegurando así la protección el titular de cada canal asignado.

CAPITULO V- Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones.

Por los resultados obtenidos del porcentaje alto de oportunidades de canales disponibles para la utilización del estándar en las zonas rurales de Ambato, garantiza que en un futuro se pueda implementar como alternativa de acceso a la información en zonas rurales, reduciendo la brecha digital que existe entre zonas alejadas y zonas urbanas, logrando satisfacer servicios de audio, voz y video.

De los resultados obtenidos se puede determinar el gran porcentaje de canales disponibles para la utilización del Estandar 802.22, en la mayoría de parroquias rurales se dispone de aproximadamente el 50% de canales e inclusive en ciertos lugares llega al 86 % de espacios espectrales para las bandas de TV.

La reconfigurabilidad del Hardware de la USRP permite realizar un barrido adecuado de los todos los canales que contempla la banda de VHF y UHF de Televisión, aprovechando la portabilidad, dimensiones pequeñas y bajo consumo, con las propiedades propias e idóneas para estudios de estándares basados en Radio Cognitiva.

El método de sensado por detección de energía fue determinante en esta investigación por su eficiente acoplamiento a las especificaciones espectrales del canal de la banda de TV, del cual al tomar como centro de medida a la potencia de la portadora de video y su posterior análisis probabilístico garantizo la correcta estimación de la existencia de un canal propietario .

Si bien es cierto el Estándar 802.22 permite la utilización de frecuencias de canales propietarios o también llamados canales con licencia, en 2 parroquias en particular se encuentra con el 14 % de utilización, ya sean estas por causas geográficas principalmente, se convierte en potenciales lugares en donde la implementación del estándar es totalmente factible.

5.2. Recomendaciones.

Durante la experimentación en campo se observó que con el método implementado es posible determinar la existencia de un canal digital, aunque este método no proporciona información suficiente sobre DTV como para aplicarlo eficientemente al estándar ISDVT o a otro de canal digital.

En la etapa de experimentación en campo se determinó que el tiempo óptimo de detección es de 4 segundos para cada canal, utilizando la USRP 2920 y el código presentado en este trabajo.

Es importante destacar que la antena seleccionada debe ser adecuada para trabajar tanto en UHF como en VHF y mantener aproximadamente el mismo nivel de ganancia en todo el rango de frecuencias.

La información disponible por la ARCOTEL sobre la asignación de las frecuencias a los titulares proporciona información valiosa para esta clase de estudios, pero en este caso tomamos en cuenta los canales asignados a la provincia de Tungurahua, encontrando en las pruebas de campo la incidencia de otros canales asignados a provincias vecinas, lo cual con

permitió encontrar más canales con licencia aparte de los oficialmente asignados a la provincia, cuidando aún más interferir a los canales propietarios para una futura implementación del Estándar.

BIBLIOGRAFIA:

Chen, D., Yang, J., Wu, J., Tang, H., & Huang, M. (2012). Spectrum occupancy analysis based on radio monitoring network. *In 2012 1st IEEE International Conference on Communications in China (ICCC)*, 739–744.

CIP 2008. (2008). “Spectrum Sensing in IEEE 802.22. *First Workshop on Cognitive Info.*

Commission, F. C. (2004). *Unlicensed operation in the TV broadcast bands. ET Docket.*

Deshmukh, M., Patif, K., Frederiksen, F., Skouby, K., & Prasad, R. (2013). Wireless broadband network on TVWS for rural areas: An Indian perspective. *16th International Symposium on*, 1–5.

FC Commission. (2006). (n.d.). IEEE 802.22 working group on wireless regional area networks. Retrieved March 12, 2016, from <http://www.ieee802.org/22/>

FCC 04-113. (2004). In the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands. *04/186.*

Haykin, S. (2005). Cognitive radio: brain-empowered wireless communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(2), 201–220.

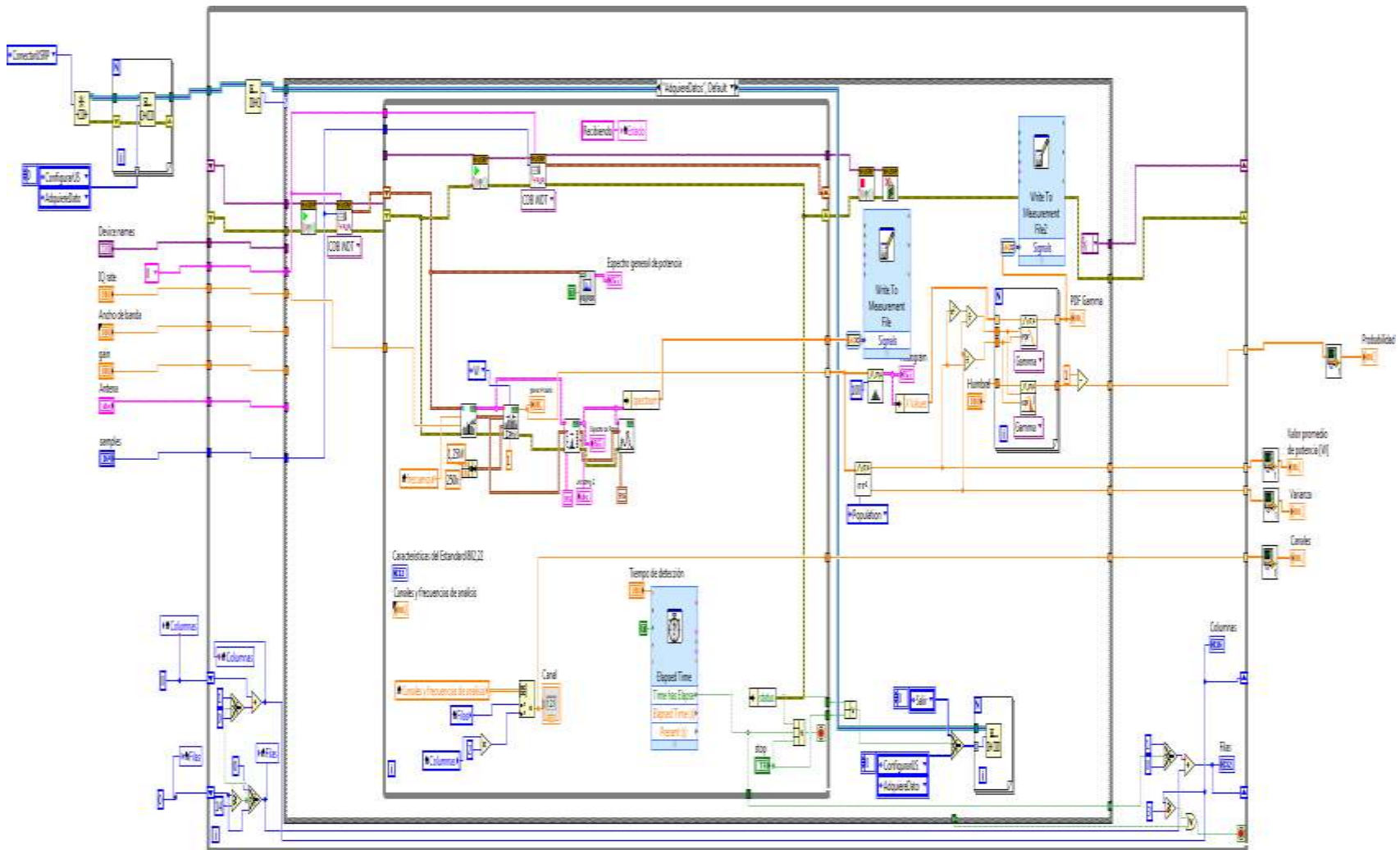
- IEEE Standards, A. (2011). ISO Approves the Award-Winning IEEE 802.22TM-2011. Retrieved from http://standards.ieee.org/news/2015/ieee_802.22.html
- IEEE Std. (2011). IEEE standard for information technology-telecommunications and information exchange between systems wireless regional area networks(wran)-specific requirements part 22: Cognitive wireless ran medium access control (mac) and physical layer (phy) specifica. *IEEE Std 802.22-2011*, (22), 1–680.
- Instrument, N. (n.d.). Sistemas de Comunicaciones de LabVIEW. Retrieved June 20, 2016, from <http://www.ni.com/labview-communications/learn/esa/>
- Magazine, R. (2008). FCC Adopts Rules for Unlicensed Use of Television White Spaces. Retrieved At, 4.
- Maldonado, D., Le, B., Hugine, A., Rondeau, T. W., & Bostian, C. W. (2005). Cognitive radio applications to dynamic spectrum allocation: a discussion and an illustrative example. In *First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005*, 597–600.
- Marcus, M. J. (2005). Unlicensed cognitive sharing of TV spectrum: The controversy at the federal communications commission. *IEEE Communications Magazine*, 43(5), 24–25.
- Mishra, A. K., & Johnson, D. L. (2015). *White Space Communication*. (Springer, Ed.).
- Mitola III, J., Maguire Jr, G. Q. (1999). *Cognitive radio: making software radios more personal*.
- Patidar, M., Dubey, R., Jain, N. K., & Kulpariya, S. (2012). Performance analysis of WiMAX 802.16 e physical layer model. In *2012 Ninth International Conference on*

Wireless and Optical Communications Networks (WOCN) IEEE, 1–4.

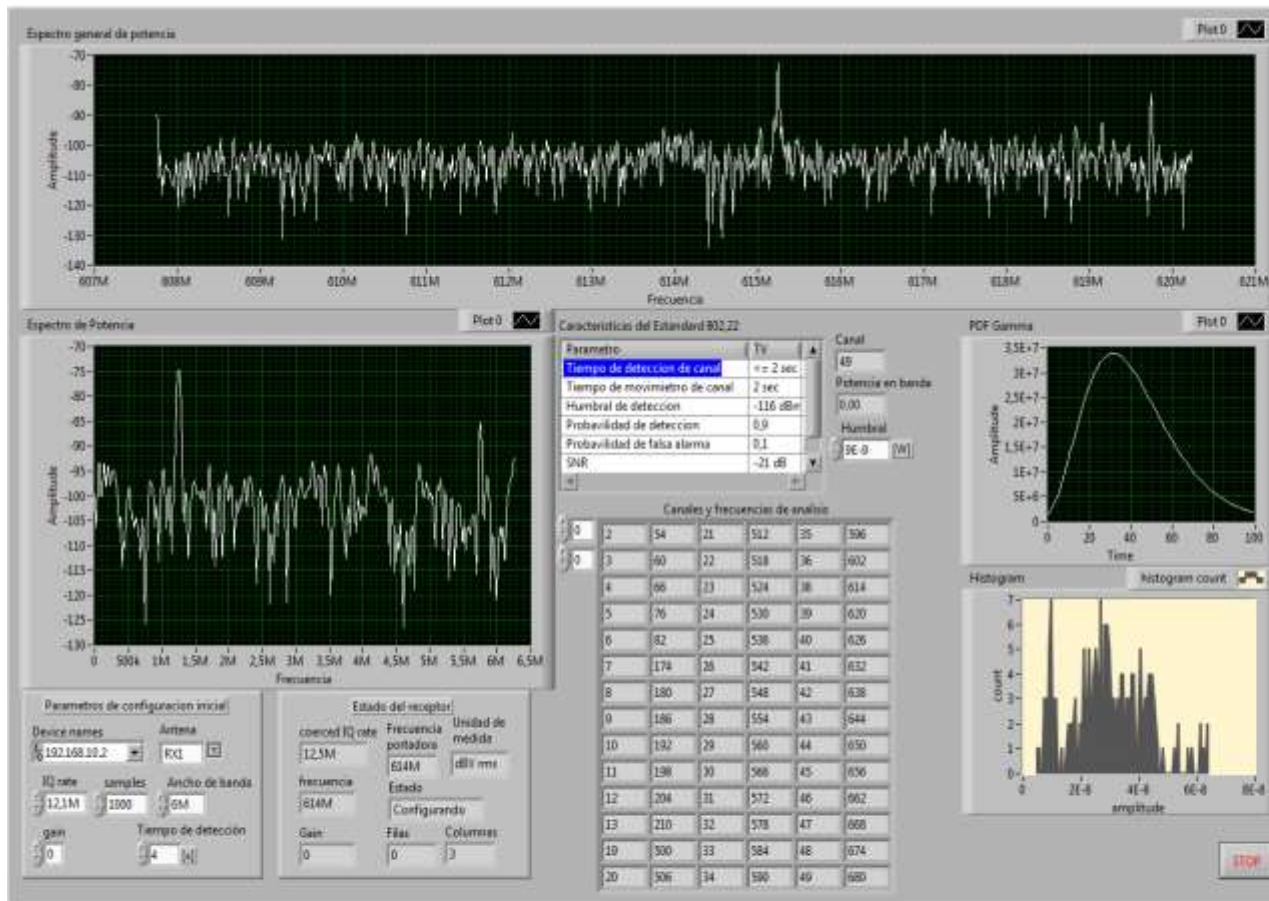
- Qaraqe, K. A., Celebi, H., Gorcin, A., El-Saigh, A., Arslan, H., & Alouini, M. S. (2009). Empirical results for wideband multidimensional spectrum usage. *In 2009 IEEE 20th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 1262–1266.
- Saeed, R. A., & Shellhammer, S. J. (2011). *TV White Space Spectrum Technologies*.
- Wygłinski, A. M., Nekovee, M., & Hou, T. (2009). *Cognitive Radio Communications and Networks Principles and Practice* (Academic P).
- Zhao, Y., Morales, L., Gaeddert, J., Bae, K. K., Um, J. S., & Reed, J. H. (2007). *Applying radio environment maps to cognitive wireless regional area networks*. *In 2007 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*.

ANEXOS:

Anexo 1 Bloque de programación en LabView



Anexo 2 Panel frontal de adquisición de datos en LAbView.



| Valor promedio de potencia [W] | Varianza | Probabilidad | Canales |
|--------------------------------|-------------|--------------|---------|
| 2.82632E-6 | 1.1294E-12 | 1 | 2 |
| 2.58453E-8 | 1.38305E-10 | 0.964872 | 3 |
| 8.06474E-8 | 1.38350E-15 | 0.009559 | 4 |
| 1.17372E-6 | 2.8432E-13 | 1 | 5 |
| 1.37928E-8 | 4.74813E-17 | 0.794029 | 6 |
| 2.26832E-6 | 1.02354E-12 | 1 | 7 |
| 2.30074E-6 | 8.39386E-13 | 1 | 8 |
| 4.01659E-0 | 3.91489E-18 | 0.0204803 | 9 |
| 2.66489E-6 | 2.28327E-13 | 1 | 10 |
| 1.08835E-9 | 6.67484E-10 | 2.84815E-7 | 11 |
| 5.76987E-7 | 1.15584E-13 | 0.000075 | 12 |
| 2.97728E-9 | 2.28214E-18 | 0.00239948 | 13 |
| 7.03088E-10 | 9.90086E-20 | 0 | 14 |
| 7.23255E-10 | 1.30959E-19 | 0 | 15 |
| 6.0787E-10 | 9.30277E-20 | 0 | 16 |
| 5.01862E-8 | 5.37739E-16 | 0.995783 | 17 |
| 7.50888E-10 | 1.27526E-19 | 0 | 18 |
| 3.8258E-7 | 1.93236E-14 | 1 | 19 |
| 8.201E-8 | 1.10451E-15 | 0.984452 | 20 |
| 5.66607E-8 | 6.33069E-16 | 0.988734 | 21 |
| 7.88034E-10 | 1.17259E-19 | 0 | 22 |
| 2.28664E-8 | 1.93994E-18 | 0.805675 | 23 |
| 7.751E-10 | 1.38445E-18 | 0 | 24 |
| 7.12078E-10 | 1.05843E-19 | 0 | 25 |
| 6.97723E-10 | 1.10851E-19 | 0 | 26 |
| 8.50381E-8 | 7.45179E-16 | 1 | 27 |
| 1.42033E-9 | 1.92586E-18 | 0.00148029 | 28 |
| 1.62496E-7 | 9.20993E-15 | 0.990106 | 29 |
| 9.00943E-10 | 1.87319E-19 | 2.34257E-14 | 30 |
| 2.1867E-7 | 1.64631E-14 | 0.00064 | 31 |
| 7.48882E-10 | 1.84344E-19 | 0 | 32 |
| 1.36906E-7 | 3.61233E-15 | 0.999983 | 33 |
| 8.64885E-10 | 1.5887E-19 | 0 | 34 |
| 1.04388E-7 | 4.89997E-17 | 1 | 35 |
| 7.18364E-10 | 9.58831E-20 | 0 | 36 |
| 2.51488E-7 | 1.01038E-14 | 1 | 37 |
| 7.87648E-10 | 1.53329E-19 | 1.11022E-16 | 38 |
| 1.48488E-8 | 6.10673E-19 | 2.96873E-7 | 39 |
| 8.53827E-10 | 1.6055E-19 | 1.11022E-16 | 40 |
| 1.13841E-8 | 2.70881E-17 | 0.633629 | 41 |
| 7.08448E-10 | 1.87371E-19 | 0 | 42 |
| 2.92786E-8 | 1.66528E-16 | 0.981277 | 43 |

Anexo 3 Tabla de resultados generales del cálculo de probabilidad.

| CANALES | Ambatillo | Atahualpa | Constantino Fernandez | Cunchibamba | Huachi Grande | Izamba | Juan B. Vela | Martinez | Montalvo | Pasa | Picaltúa | Pilahuín | Pinillo | Quispinchá | San Fernando | Santa Rosa | Totoras | Unamunec |
|---------|-----------|-----------|--------------------------|-------------|---------------|--------|--------------|----------|----------|-------|----------|----------|---------|------------|--------------|------------|---------|----------|
| 2 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,996 | 0,999 | 1,000 | 1,000 | 0,996 | 1,000 | 0,060 | 1,000 | 0,988 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,999 | 0,937 |
| 3 | 0,829 | 0,418 | 0,491 | 0,998 | 1,000 | 0,822 | 0,999 | 0,964 | 0,131 | 0,036 | 0,995 | 1,000 | 0,016 | 0,982 | 0,003 | 0,988 | 0,991 | 0,990 |
| 4 | 1,000 | 1,000 | 0,998 | 0,864 | 0,896 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,027 | 0,982 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,268 | 0,926 | 1,000 | 1,000 |
| 5 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,105 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,092 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 6 | 0,747 | 0,702 | 0,055 | 0,091 | 0,929 | 0,698 | 0,346 | 0,647 | 0,231 | 0,188 | 0,724 | 0,563 | 0,183 | 0,348 | 0,002 | 0,417 | 0,137 | 0,702 |
| 7 | 1,000 | 0,996 | 0,997 | 1,000 | 0,996 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,012 | 1,000 | 0,981 | 1,000 | 1,000 | 0,988 | 0,987 | 0,999 | 1,000 |
| 8 | 0,999 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,444 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,942 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 9 | 0,341 | 0,070 | 0,000 | 0,874 | 0,040 | 0,927 | 0,917 | 0,990 | 0,578 | 0,000 | 0,196 | 0,391 | 0,000 | 0,869 | 0,000 | 0,091 | 0,901 | 1,000 |
| 10 | 0,850 | 0,991 | 0,998 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,999 | 0,176 | 0,999 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,172 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 11 | 1,000 | 0,000 | 0,002 | 0,978 | 0,116 | 0,885 | 0,051 | 0,763 | 0,232 | 0,378 | 0,000 | 0,691 | 1,000 | 0,239 | 0,000 | 0,126 | 0,809 | 0,148 |
| 12 | 0,996 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,945 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,152 | 1,000 | 0,995 | 1,000 | 1,000 | 0,826 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| 13 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,639 | 0,044 | 0,003 | 0,004 | 0,033 | 0,000 | 0,021 | 0,001 | 0,011 | 0,062 | 0,111 | 0,001 | 0,189 | 0,112 | 0,011 |
| 19 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 20 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 21 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 22 | 0,969 | 0,000 | 0,000 | 0,918 | 0,847 | 0,993 | 1,000 | 0,293 | 0,893 | 0,000 | 0,973 | 0,806 | 0,694 | 1,000 | 0,000 | 0,999 | 1,000 | 0,000 |
| 23 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 24 | 0,999 | 0,000 | 0,001 | 0,947 | 0,986 | 0,933 | 0,999 | 0,773 | 0,211 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 0,006 | 0,998 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 0,839 |
| 25 | 0,999 | 0,721 | 0,031 | 1,000 | 0,270 | 1,000 | 0,997 | 1,000 | 0,964 | 0,000 | 0,978 | 0,998 | 0,950 | 1,000 | 0,000 | 0,989 | 1,000 | 0,964 |
| 26 | 0,999 | 0,936 | 0,000 | 1,000 | 0,903 | 0,999 | 1,000 | 1,000 | 0,935 | 0,000 | 0,875 | 0,998 | 0,998 | 1,000 | 0,000 | 0,310 | 1,000 | 0,973 |
| 27 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 28 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 0,971 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,409 | 0,000 | 0,993 | 1,000 | 0,968 | 1,000 | 0,000 | 0,996 | 1,000 | 0,971 |
| 29 | 0,136 | 0,077 | 0,000 | 0,101 | 0,005 | 0,206 | 0,000 | 0,033 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,161 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,542 | 0,210 |
| 30 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 31 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 32 | 0,977 | 1,000 | 0,014 | 0,000 | 0,980 | 0,993 | 0,971 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 0,682 | 1,000 | 0,000 | 0,889 | 1,000 | 0,001 |
| 33 | 0,000 | 0,028 | 0,000 | 0,000 | 0,015 | 0,079 | 0,000 | 0,106 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,000 |
| 34 | 1,000 | 0,999 | 0,653 | 1,000 | 0,976 | 0,999 | 1,000 | 1,000 | 0,721 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,229 | 0,981 | 1,000 | 1,000 |
| 35 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,044 | 0,539 | 0,001 | 0,305 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,086 | 0,000 | 0,000 | 0,394 | 0,000 |
| 36 | 1,000 | 1,000 | 0,159 | 1,000 | 0,998 | 1,000 | 0,720 | 1,000 | 0,944 | 0,000 | 0,989 | 0,997 | 1,000 | 0,886 | 0,000 | 1,000 | 0,917 | 0,940 |
| 38 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,022 | 0,000 | 0,000 |
| 39 | 1,000 | 1,000 | 0,999 | 1,000 | 0,982 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,837 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,848 | 1,000 | 1,000 |
| 40 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,026 | 0,008 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 41 | 0,997 | 0,095 | 0,000 | 0,000 | 0,664 | 0,832 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,696 | 0,067 | 0,000 | 0,077 | 0,000 | 1,000 | 0,833 | 0,665 |
| 42 | 0,000 | 0,039 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 43 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,997 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,993 | 0,000 | 0,985 | 1,000 | 0,569 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 0,602 |
| 44 | 0,001 | 0,742 | 0,000 | 0,000 | 0,058 | 0,000 | 0,000 | 0,074 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,238 | 0,000 | 0,300 | 0,966 | 0,000 |
| 45 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 1,000 | 0,986 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,905 |
| 46 | 0,000 | 0,466 | 0,000 | 0,032 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,059 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 47 | 1,000 | 1,000 | 0,106 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,880 | 1,000 | 0,989 | 0,000 | 0,502 | 0,983 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,999 | 0,551 | 1,000 |
| 48 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 49 | 1,000 | 1,000 | 0,000 | 0,877 | 0,991 | 0,999 | 0,904 | 0,663 | 0,749 | 0,000 | 1,000 | 0,299 | 0,990 | 1,000 | 0,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |

Anexo 4 Tabla consolidada de canales utilizados en función de probabilidad de falsa alarma.

| CANALES | Ambaitillo | Atahualpa | Constituyente Fernandez | Curchibamba | Huachi Grande | Izamba | Juan B. Vela | Martinez | Montalvo | Pasa | Picahua | Pilahuán | Pinillo | Quispacocha | San Fernando | Santa Rosa | Totoras | Unanunc |
|----------------------------------|------------|-----------|----------------------------|-------------|---------------|--------|--------------|----------|----------|------|---------|----------|---------|-------------|--------------|------------|---------|---------|
| 2 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 3 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | SI | NO | SI | NO | NO | NO |
| 4 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 5 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 6 | NO | NO | SI | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 7 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 8 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 9 | NO | SI | SI | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | SI | NO | SI | SI | NO | NO |
| 10 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 11 | NO | SI | SI | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 12 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 13 | SI | SI | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI | NO | NO | SI |
| 19 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 20 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 21 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 22 | NO | SI | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | SI |
| 23 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 24 | NO | SI | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | SI | NO | SI | NO | NO | NO |
| 25 | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 26 | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 27 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 28 | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 29 | NO | SI | SI | NO | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI | SI | SI | SI | NO | NO |
| 30 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 31 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 32 | NO | NO | SI | SI | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | SI |
| 33 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 34 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO |
| 35 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI |
| 36 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 38 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 39 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 40 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 41 | NO | SI | SI | SI | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | SI | SI | SI | SI | NO | NO | NO |
| 42 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 43 | NO | NO | SI | SI | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 44 | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO | SI | NO | NO | SI |
| 45 | SI | SI | SI | NO | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO |
| 46 | SI | NO | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 47 | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| 48 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 49 | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO | NO | SI | NO | NO | NO |
| Canales para ser ocupados | 17 | 21 | 30 | 19 | 18 | 16 | 19 | 16 | 18 | 36 | 19 | 18 | 22 | 17 | 36 | 17 | 14 | 18 |
| Canales Utilizados | 25 | 21 | 12 | 23 | 24 | 26 | 23 | 26 | 24 | 6 | 23 | 24 | 20 | 25 | 6 | 25 | 28 | 24 |

Anexo 6 Fotografías





