



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

EVALUACIÓN DE OCUPACIÓN DE LA BANDA UHF (450 – 512 MHZ) EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, PARA SU OPTIMIZACIÓN POR MEDIO DE RADIO COGNITIVA

JACQUELINE ELIZABETH PONCE PINOS

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

RIOBAMBA – ECUADOR

Enero - 2019

©, **Jacqueline Elizabeth Ponce Pinos.**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE: El Trabajo de Titulación Modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: EVALUACIÓN DE OCUPACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE USO DE RADIO COGNITIVA EN LA BANDA UHF (450 – 512 MHZ) PARA SU OPTIMIZACIÓN EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, de responsabilidad de la señora Jacqueline Elizabeth Ponce Pinos, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

JUAN MARIO VARGAS GUAMBO, DR.

PRESIDENTE

WILLIAM LEOPOLDO CALVOPÍÑA HINOJOSA, MsC.

DIRECTOR DE TESIS

HUGO OSWALDO MORENO AVILES, PhD.

MIEMBRO DE TESIS

MARCO VINICIO LOZANO RODRIGUEZ, MsC.

MIEMBRO DE TESIS

Riobamba, Enero 2019

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Jacqueline Elizabeth Ponce Pinos, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jacqueline Elizabeth Ponce Pinos

CI. 0604115790

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación primero a Dios, porque sin él no hubiera alcanzado este objetivo; a mis padres y hermanas por ser el pilar fundamental en mi formación profesional, por brindarme su confianza, amor, apoyo, comprensión y guiarme para ser perseverante y cumplir con mis ideales; a mi amado esposo por su amor incondicional, paciencia, comprensión y por creer en mí; por último, a mis compañeros y amigos por los momentos compartidos.

Jacqueline Elizabeth Ponce Pinos

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va dirigido primero a Dios, a mis padres, hermanas y esposo por su apoyo y comprensión en este proceso, y de manera especial a mi tutor Ing. William Calvopiña por su constante guía y apoyo en este trabajo.

Jacqueline Elizabeth Ponce Pinos

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xii
SUMMARY	xiii
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.1.1. Situación Problemática.....	1
1.1.2. Formulación del problema	3
1.2. Preguntas directrices o específicas de la investigación	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivo General.....	5
1.5. Objetivos Específicos	5
1.6. Hipótesis.....	5
CAPITULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes del Problema	6
2.2. Bases Teóricas	6
2.2.1. Radio definida por software	6
2.2.2. Radio Cognitiva	8
2.2.2.1. Características de Radio Cognitiva.....	9
2.2.2.2. Arquitectura de radio cognitiva.....	13
2.2.2.3. Escenarios y usos en radio cognitiva.....	14
2.2.3. Espectro Radioeléctrico.....	20
2.2.4. Asignación de bandas de frecuencias.....	20
2.2.5. Administración del espectro	22
2.2.5.1 Monitoreo para detección de espectro.....	22
2.2.5.2 Políticas de Decisión de espectro	23
2.2.5.3 Acceso al espectro.....	23
2.2.5.4 Movilidad de usuario secundario.....	23
2.2.6. Sistema Automático para detección del Espectro Radioeléctrico	23
2.2.7. Normalización Internacional de Radio Cognitiva	24

CAPITULO III.....	27
3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	27
3.1. Tipo de Investigación.....	27
3.2. Diseño de la Investigación	27
3.3. Métodos de Investigación	27
3.4. Enfoque de la Investigación	28
3.5. Alcance Investigativo	28
3.6. Población de Estudio.....	28
3.7. Unidad de Análisis	28
3.8. Selección de la Muestra	29
3.9. Tamaño de la Muestra.....	29
3.10.Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios.....	30
3.10.1. Fuentes primarias	30
3.10.2. Fuentes secundarias.....	30
3.11.Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios.....	31
3.11.1. Observación directa.....	31
3.11.2. Medidas de campo	31
3.12.Instrumentos para procesar datos recopilados	36
CAPITULO IV	37
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
CAPITULO V.....	47
5. PROPUESTA.....	47
CONCLUSIONES:	54
RECOMENDACIONES:	55
BIBLIOGRAFÍA	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1-2 Atribución de Bandas de Frecuencias (450 MHz – 512MHz).....	21
Tabla 1-3 Opciones disponibles para el proceso de selección	33
Tabla 2-3 Frecuencias concesionadas banda 450 MHz a 512MHz.....	35
Tabla 1-4 Porcentaje de ocupación de 450 MHz a 512 MHz	44
Tabla 2-4 Resultados mediciones banda 450 - 512 MHz.....	45
Tabla 1-5 Portadoras de frecuencia para optimización	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-2 Diagrama de Bloques de una Radio Digital	7
Figura 2-2 Concepto hueco espectral	9
Figura 3-2 Ciclo cognitivo básico	10
Figura 4-2 Concepto de radio cognitiva.....	12
Figura 5-2 Optimización de uso de recursos de radio.....	15
Figura 6-2 Izquierda: red de puntos de acceso; derecha: red P2P, junto con la mejora asociada a la utilización del espectro.....	16
Figura 7-2 Ilustración conceptual de la coexistencia de una red cognitiva (secundaria) y una red licenciada (primaria).	17
Figura 8-2 Transmisión cooperativa	20
Figura 1-5 Red Cognitiva Wireless	65
Figura 2-5 Red Cognitiva Mesh.....	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3 Selección de tamaño de muestra.....	30
Gráfico 2-3 Configuración del esquema de medición SACER.....	31
Gráfico 3-3 Localización de puntos de medición en la ciudad de Riobamba	32
Gráfico 1-4 Medición de frecuencias de 450MHz a 512MHz el 30/10/2017 a las 18:45:06.....	37
Gráfico 2-4 Medición de frecuencias de 450MHz a 512MHz el 30/10/2017 a las 20:00:06.....	38
Gráfico 3-4 Medición de frecuencias de 450MHz a 512MHz el 30/10/2017 desde las 20:00:06 hasta las 20:10:07.....	38
Gráfico 4-4 Medición de banda de 450 MHz a 460 MHz.....	39
Gráfico 5-4 Configuración estación SACER para medir la banda 450.86 MHz	39
Gráfico 6-4 Resultado medición banda 450.86 MHz.....	40
Gráfico 7-4 Resultado medición banda 460 MHz a 470 MHz.....	40
Gráfico 8-4 Resultado medición banda 470 MHz a 480 MHz.....	41
Gráfico 9-4 Resultado medición banda 480 MHz a 490 MHz.....	41
Gráfico 10-4 Resultado medición banda 480 MHz a 490 MHz.....	42
Gráfico 11-4 Resultado medición banda 490 MHz a 500 MHz.....	42
Gráfico 12-4 Resultado medición banda 500 MHz a 510 MHz.....	43
Gráfico 13-4 Resultado medición banda 510 MHz a 520 MHz.....	43
Gráfico 14-4 Porcentajes de utilización en banda de 450 a 512 MhZ	45

RESUMEN

Se evaluó el porcentaje de ocupación del espacio radioeléctrico en la banda UHF (450 – 512 MHz) en la ciudad de Riobamba. El estudio permitió identificar porcentajes de ocupación de frecuencias licenciadas y espacios en blanco para analizar la factibilidad de uso de Radio Cognitiva y un plan de reutilización de frecuencias para la optimización del espectro. Las mediciones al espectro se realizaron en dos puntos de la ciudad de Riobamba; uno en la unidad Regional Sierra Centro Riobamba de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) y otro en el hospital del IESS con el sistema SACER de la ARCOTEL. A nivel mundial se conoce que existe un incremento en las comunicaciones y que la asignación del espacio radioeléctrico es estática, lo que imposibilita la asignación de frecuencias para nuevos usos tecnológicos, con esta problemática se analizó la banda de 450– 512 MHz que tiene espaciamiento de 12.5Khz, por lo cual en el rango indicado existen 4960 portadoras de frecuencia; de las cuales se tomó una muestra de 621 portadoras que fueron analizadas durante 12 días. Como resultados se obtuvo que el 93.24% de las bandas de frecuencias medidas no están siendo ocupadas; y que apenas el 6.77% de las 621 bandas medidas presentan algún porcentaje de utilización. Estos datos permiten concluir que el porcentaje de utilización de usuarios primarios es de 11.25%; sustentando así, la necesidad de implementación de radio cognitiva para la optimizando del espectro. De esta investigación se puede derivar diversos estudios, tales como nuevos escenarios de uso de radio cognitiva y su aplicación de acuerdo con las infraestructuras de red cognitiva.

Palabras Clave: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <TELECOMUNICACIONES>, <ESPECTRO RADIOELÉCTRICO>, <RADIO COGNITIVA>, <OPTIMIZACIÓN DE BANDAS>, <FRECUENCIAS RADIOLÉCRICAS>, <SISTEMA AUTOMÁTICO PARA DETECCIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO (SACER)>

SUMMARY

The percentage of occupation of the radioelectric space in the UHF band (450-512 MHz) in the city of Riobamba was evaluated. The study allowed to identify percentages of the occupation of licensed frequencies and blank spaces to analyze the feasibility of using Cognitive Radio and a frequency reuse plan for spectrum optimization. The spectrum measurements were made in two points of the city of Riobamba; one in the Sierra Centro Regional Riobamba unit of the Telecommunications Regulation and Control Agency (ARCOTEL) and another in the IESS hospital with the SACER system of the ARCOTEL. At a global level it is known that there is an increase in communications and that the allocation of the radioelectric space is static, which makes it impossible to assign frequencies for new technological uses, with this problem the 450 - 512 MHz band was analyzed. 12.5 kHz, for which in the indicated range there are 4960 carriers of frequency; of which a sample of 621 was taken and analyzed for 12 days. As a result, it was obtained that 93.24% of the measured frequency bands are not being occupied; and that only 6.77% of the 621 measured bands present some utilization percentage. These data allow us to conclude that the percentage of use of primary users is 11.25%; thus sustaining the need for cognitive radio implementation for spectrum optimization. From this research we can derive various studies, such as new scenarios of cognitive radio use and their application according to the cognitive network infrastructure.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TELECOMMUNICATIONS>, <RADIOELECTRIC SPECTRUM>, <COGNITIVE RADIO>, <BAND OPTIMIZATION>, <RADIOELECTRIC FREQUENCIES>, <AUTOMATIC SYSTEM FOR DETECTION OF THE RADIOELECTRIC SPECTRUM> (SACER)

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

1.1.1. Situación Problemática

Actualmente a nivel mundial existe un crecimiento en la utilización de redes inalámbricas. El tráfico de estas redes está creciendo extraordinariamente con dispositivos Wireless, aplicaciones de ancho de banda bajo demanda, clientes de internet que desean conectarse en cualquier lugar o momento del día y poder acceder con calidad a todos los servicios. Se prevé que para el 2018 el volumen de tráfico de estas redes tenga aún un mayor incremento.

Este gran crecimiento de las comunicaciones inalámbricas conlleva a una mayor demanda de uso de espectro radioeléctrico; el mismo que actualmente tiene una distribución de frecuencias estáticas que no permite acomodar un incremento de servicios de telecomunicaciones limitando así, el despliegue de nuevas tecnologías y el acceso igualitario a estos servicios.

En el artículo 47 de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada del Ecuador, indica que “(...) *el espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado perteneciente al dominio público del Estado (...)*”.

Dentro del marco legal del Ecuador, el Art. 48 (decreto no. 1790), indica que “El Estado debe fomentar el uso y explotación del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicación, de una manera racional y eficiente a fin de obtener el máximo provecho”. Las telecomunicaciones, las tecnologías de la información y comunicación y la informática, son considerados ejes medulares dentro de nuestra constitución para lograr el avance efectivo del país hacia la Sociedad de la Información y del Conocimiento.

Según el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador del año 2012, en el rango UHF (450 MHz – 512 MHz), existen 62 MHz distribuidos para los siguientes servicios de telecomunicaciones con un espaciamiento por canal de 12.5 KHz (CONATEL & SENATEL, 2012):

- Fijo y Móvil
- Radiodifusión
- Radio de dos vías
- Fijo FWA
- Busca Personas Unidireccional

En el rango de frecuencias mencionado; en el mismo año 2012 se realizó una modificación al Cuadro Nacional de Bandas de Frecuencias del Plan Nacional de Frecuencias, asignando 12 de los 62MHz para canales de televisión digital 14 y 15, restando únicamente 50MHz para los otros servicios atribuidos a este rango de frecuencias (TEL-553-19-CONATEL-2012, 2012).

Mediante resolución 005-002-CONATEL-2008, resolvió liberar parte de la sub-banda A de CDMA 450, comprendida en los rangos 454, 400 - 457, 475 MHz y 464,400 – 467, 475 MHz para servicio de telefonía fija inalámbrica; servicio que actualmente está siendo ofertado por CNT E.P.

Estudios realizados a nivel mundial por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, Federal Communications Commission) revela que el espectro distribuido legalmente de bandas licenciadas en algunas posiciones o en algunos momentos del día pueden estar inactivos o con rangos de utilización que van desde el 15% al 85% (Rentería & Cadavid, 2011).

Otro estudio realizado en Doha (Qatar) durante tres días en el rango de 700 a 3000 MHz determinó un porcentaje de utilización del espectro del 14.6% al 15.7%; así también, en Yunnan-China se determinó en la banda comprendida entre 20 a 3000 MHz apenas un 13.7% de ocupación del espectro. Estos resultados demuestran que una gran parte del espectro está siendo infrautilizado (Chen, Jingjing, Jida, Hao, & Ming, 2012).

En el Ecuador un estudio realizado en la provincia de Pichincha en el año 2010¹ demostró que la banda UHF (de 450 MHz hasta 512MHz) no está siendo utilizada al 100% (Briones, 2010) . La siguiente tabla muestra el porcentaje de ocupación de la banda UHF en la provincia de Pichincha.

Tabla 1-1: Ocupación de bandas en la provincia de Pichincha

Banda (MHz)	Ocupación de la Banda (MHz)	Ocupación de la banda (%)
450 – 470	16.91	84.55
470 – 472	0.93	46.25
472 – 482	6.10	61
482 – 488	0.63	10.42
488 - 512	10.44	43.49

Fuente: García Carla, 2016 p.15

Todo esto á conllevado a que no solo en el Ecuador, sino en el mundo entero se investiguen nuevas formas de optimización del espacio radioeléctrico que permita aprovechar eficientemente el espectro que es un recurso escaso y no renovable.

Varias de estas investigaciones presentan a radio cognitiva como una alternativa a este gran problema de saturación e infrautilización del espectro radioeléctrico; permitiendo el acceso oportunista a bandas de frecuencias licenciadas que en ciertos períodos de tiempo no están siendo utilizadas, para ofrecer servicios de telecomunicaciones diferentes al que ofrece la banda licenciada.

1.1.2. Formulación del problema

¿Se puede determinar mediante la evaluación de la banda UHF (450 – 512 MHz) los porcentajes de ocupación del espacio radioeléctrico en la ciudad de Riobamba y sustentar el uso de Radio Cognitiva en la optimización de la banda de estudio?

1.2. Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿El diagnóstico de uso del espectro radioeléctrico permitirá identificar bandas de frecuencias licenciadas y espacios en blanco en la banda UHF?

¿El uso de procesadores de datos permitirá analizar los datos obtenidos de la evaluación a la banda UHF?

¿La revisión de la normativa vigente de telecomunicaciones permitirá conocer la distribución de espectro para la banda en estudio y factibilidad de aplicación de nuevas tecnologías?

¿El desarrollo del estado del arte de Radio Cognitiva sustentará su utilización en la optimización del espectro radioeléctrico?

¿Un plan de reutilización de frecuencias permitirá la optimización de la banda UHF (450 – 512 MHz)?

1.3. Justificación

Varias investigaciones mencionan un incremento sustancial en los servicios de telecomunicaciones a nivel mundial; en el Ecuador estadísticas presentadas por el Arcotel corroboran esta tendencia de crecimiento.

Para el rango de frecuencias UHF (450 MHz – 512 MHz) en el cual funcionan los servicios fijos y móviles, el servicio móvil avanzado en enero del 2016, registró 13.833.961 líneas activas y para octubre del mismo año evidenció 14.874.375 de líneas activas; demostrando un incremento de 1.040.414 líneas en apenas 9 meses. La densidad de estas líneas activas fue de 84.87% en enero 2016 y de 90.22% en octubre del mismo año. (ARCOTEL, 2016).

En cuanto a la telefonía fija para enero del 2016 contaba con 2.513.561 líneas y para octubre del mismo año con 2.452.084 líneas. A diferencia de la telefonía móvil, la telefonía fija demostró un decremento mínimo de 61.477 líneas. (ARCOTEL, 2016).

En cambio, en las cuentas de Internet Fijo para marzo del 2016 se registraron 5.991.107 y para septiembre del 2016 esta cifra se incrementa a 6.791.922. (ARCOTEL, 2016).

En las cuentas de Internet Móvil el incremento fue significativo; en marzo del 2016 existían 5.991.107 cuentas y para septiembre del mismo año ya se registraron 6.791.922 cuentas, incrementando 800.815 cuentas en solo 6 meses. Sin duda el Internet móvil fue el servicio con mayor demanda en el 2016.

Las cifras citadas evidencian un gran incremento de usuarios en servicios de telecomunicaciones; lo que hace suponer que existe saturación en el espectro radioeléctrico, por lo cual se requiere un estudio que permita conocer si este incremento de usuarios provoca o no una mayor saturación en el espectro radioeléctrico, y si éste está siendo utilizado de una manera eficiente para brindar los servicios a los cuales está destinado.

Sin embargo, en el Ecuador y especialmente en Riobamba existen muy pocos estudios orientados a conocer esta problemática; es por ello que el presente trabajo de investigación busca realizar esta evaluación al espectro radioeléctrico, para obtener datos que permitan conocer si el espectro se encuentra o no saturado y si las bandas licenciadas están siendo utilizadas eficientemente.

1.4. Objetivo General

Evaluar el porcentaje de ocupación del espacio radioeléctrico en la banda UHF (450 – 512 MHz) en la ciudad de Riobamba, mediante la utilización de equipos especializados para analizar la factibilidad de uso de Radio Cognitiva en la optimización del espectro.

1.5. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el uso del espectro radioeléctrico, por medio de la identificación de porcentajes de utilización de frecuencias licenciadas y espacios en blanco de la banda especificada.
- Utilizar procesadores de datos para el análisis de la información obtenida.
- Revisar la normativa de telecomunicaciones que rige la distribución de espectro para la banda en estudio.
- Desarrollar el estado del arte de Radio Cognitiva para sustentar su utilización en la optimización del espectro radioeléctrico.
- Realizar un plan de reutilización de frecuencias para la optimización de la banda UHF (450 – 512 MHz) en la ciudad de Riobamba.

1.6. Hipótesis

La evaluación de la banda UHF (450 – 512 MHz) en la ciudad de Riobamba, permite la optimización de la banda por medio de radio cognitiva.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

Debido al acelerado crecimiento de nuevos servicios de telecomunicaciones inalámbricas en bandas licenciadas y sin licencia para diferentes aplicaciones como 3G, GPRS, UMTS, HSPA, IEEE 802.16, etc., se requiere una mejor asignación del espacio radioeléctrico con la finalidad de garantizar el ingreso y operación de millones de dispositivos dentro de los próximos años, conllevando así a nuevos retos para avances tecnológicos en esta área.

En el Ecuador los organismos normativos y reguladores de telecomunicaciones son los encargados de administrar el espectro radioeléctrico y debido a que la asignación de bandas y sub bandas de frecuencias para servicios y aplicaciones de sistemas o redes de telecomunicaciones están siendo ocupadas parcialmente o en otros casos todo el tiempo no son ocupadas se requiere de una adecuada optimización de este recurso considerado escaso y limitado.

Un acceso dinámico en bandas de frecuencia concesionadas a determinados usuarios permitiría la posibilidad de que nuevos servicios de telecomunicaciones estén disponibles para los usuarios y, además se contribuiría eficientemente a una optimización del espectro.

Este acceso dinámico es posible con el uso de Radio Cognitiva; una tecnología que permite una utilización eficiente tanto del espectro como del ancho de banda disponible para frecuencias accediendo de manera oportunista a bandas de frecuencias licencias en períodos de tiempo en los cuales la frecuencia no está siendo utilizada.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. *Radio definida por software*

En el diagrama de bloques de una radio digital genérica Gráfico 2-1, se distingue 5 secciones:

- La sección Antena; la cual se encarga de recibir o transmitir información codificada en ondas de radio.
- La sección frontal de Radio Frecuencia (RF); encargada de la transmisión/ recepción de las señales de radiofrecuencia de la antena y convertirlas en frecuencia intermedia (IF).
- La sección de ADC/ DAC, realiza la conversión de analógico-a-digital/ digital-a-analógico.
- La sección DUC (Digital up-conversion) y DDC (Digital down-conversion), realiza la modulación de la señal en el camino de transmisión y la demodulación en el camino de recepción.
- La sección de Banda Base, realiza operaciones de configuración de conexión, ecualización, salto de frecuencia, codificación/ decodificación, correlación y la implementación del protocolo de capa de enlace.

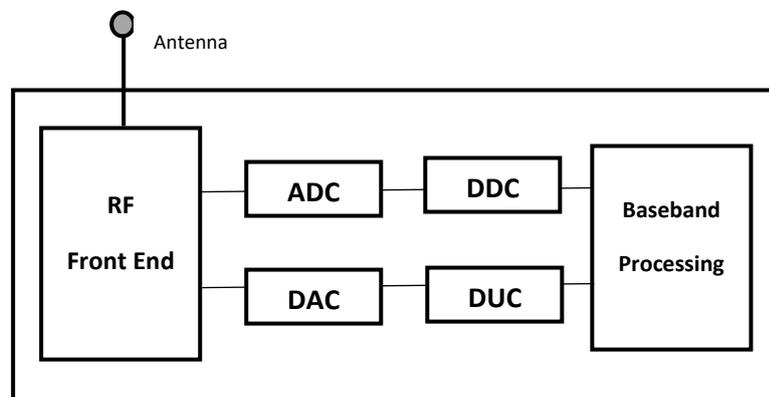


Figura 1-2 Diagrama de Bloques de una Radio Digital
Fuente: Galeano Katherine, 2015 p.17

Radio Definida por Software (SDR Software Define Radio) se refiere a tecnologías donde todas estas funcionalidades son realizadas por módulos de software que se ejecutan en arreglos de compuestas programables en campo (FPGAs), procesadores de señal digital (DSP), procesadores de propósito general (GPP), o una combinación de los mismos. Por lo tanto, características de operación de la radio, tales como codificación, tipo de modulación y banda de frecuencia, pueden ser cambiadas a voluntad simplemente cargando un nuevo software. (Wyglinski, Nekovee, & Hou, Cognitive radio communications and networks: principles and practice, 2010).

SDR se utiliza para construir radios que soportan interfaces de múltiples tecnologías como por ejemplo CDMA, GSM y WIFI con un solo modem, reconfigurándolo en software. Sin embargo, los módems de SDR resultan costosos ya que deben trabajar en un gran ancho de banda o sobre una amplia gama de escenarios de señales de RF (Radio Frecuencia). (Wyglinski, Nekovee, & Hou, Cognitive radio communications and networks: principles and practice, 2010).

2.2.2. Radio Cognitiva

La radio cognitiva (RC) es una tecnología que promete solucionar problemas de la próxima generación de las comunicaciones inalámbricas; como lo es la saturación del espectro y la subutilización del mismo. RC detecta el espectro que lo rodea para obtener el conocimiento necesario con lo cual, determina la existencia o no de señales en una frecuencia y toma decisiones sobre el próximo paso en la comunicación. (Hernández , Muro , & Lorenzo, 2015)

Este estándar de comunicación permite a usuarios secundarios (US) también conocidos como usuarios sin licencia o usuarios de radio cognitiva, utilizar las bandas desocupadas asignadas a usuarios primarios (UP) o usuario con licencia. Esto conocido como un acceso oportunista al espectro; en el cual no se debe interrumpir ningún proceso del UP de la banda. (Pedraza Martínez, Hernández Suárez, Galeano Romero, Rodríguez de la Colina, & Páez, 2015)

Lo que hace radio cognitiva es mantener informado al US de la actividad del UP de la banda de interés; así cuando el UP inicie su actividad el US evacua la banda lo más pronto posible. Esto se logra mediante la interacción dinámica con el entorno y la alteración de los parámetros de funcionamiento (Pedraza et al., 2015).

Así también, organismos internacionales tales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), definen su concepto para RC “Se trata de un sistema radioeléctrico que utiliza una tecnología que permite al sistema extraer información de su entorno operativo y geográfico, las políticas establecidas y su situación interna; y adaptar de manera dinámica y autónoma sus parámetros y protocolos o posibles racionales en función de la información obtenida a fin de cumplir unos objetivos predeterminados, así como extraer enseñanzas de los resultados obtenidos” (UIT, 2009).

Radio cognitiva provee ancho de banda a usuarios móviles, por medio de arquitecturas inalámbricas heterogéneas, aumentando así la eficiencia espectral; ya que permite al US compartir el espectro de manera oportunista con el UP; con la utilización de los huecos espectrales que en ese momento no están siendo utilizados. (Cabric et al, 2004).

Pedraza (2015) indica que a los huecos espectrales también se los conoce como oportunidades espectrales, porciones de espectro o espacios en blanco, su concepto se muestra en la Figura 2-2.

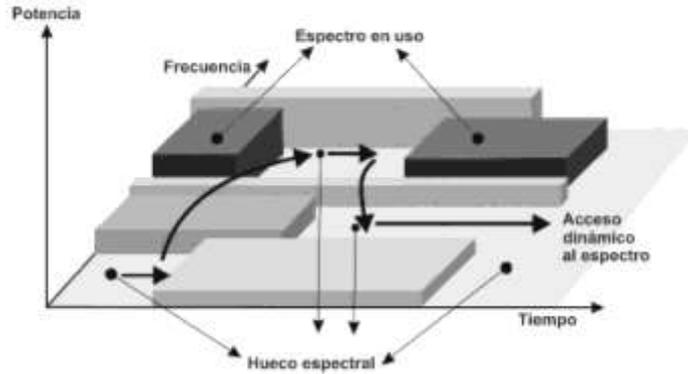


Figura 2-2 Concepto hueco espectral

Fuente: Pedraza, et al., 2015

2.2.2.1. Características de Radio Cognitiva

Las características de radio cognitiva son:

- **Capacidad Cognitiva:** Es la habilidad de capturar la información de su entorno de radiofrecuencia (RF) para identificar espacios del espectro que en un determinado tiempo y ubicación no están siendo utilizados, seleccionar el mejor espectro posible y definir los parámetros de operación más adecuados para evitar la interferencia con otros usuarios. Los pasos del ciclo cognitivo son los siguientes, como se muestra en la Figura 3-2 (Akyildiz, Lee, Vuran, & Mohanty, 2006).

Detección de espectro: Radio cognitiva monitorea las bandas de espectro disponibles, captura su información y detecta los huecos espectrales (Akyildiz et al., 2006).

Análisis de espectro: Se estima las características de los huecos espectrales que son detectados a través de la detección de espectro (Akyildiz et al., 2006).

Decisión del espectro: Radio cognitiva determina la velocidad de datos, el modo y ancho de banda de transmisión. Luego, elige la banda de espectro apropiada de acuerdo con las características y requerimientos del usuario (Akyildiz et al., 2006).

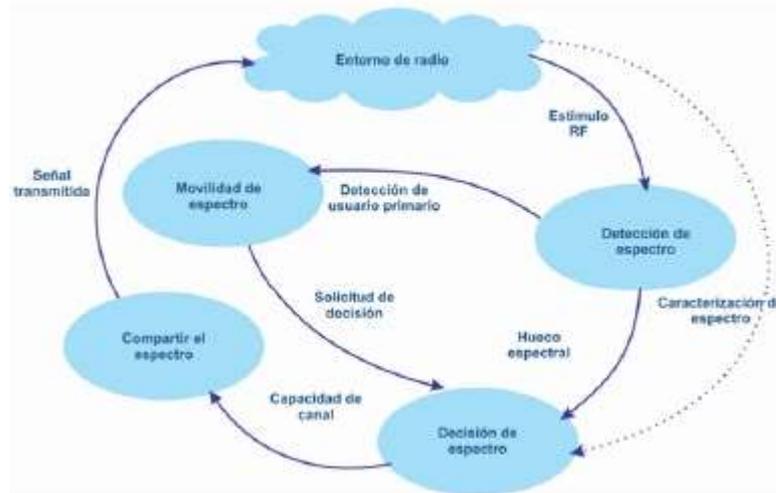


Figura 3-2 Ciclo cognitivo básico
Fuente: Adaptado de (Borgers y Dustmann 2003).

- **Reconfigurabilidad:** es aquella que permite que la radio se programe dinámicamente de acuerdo con el entorno de radio; específicamente, la radio cognitiva puede programarse para transmitir y recibir en una variedad de frecuencias y para utilizar diferentes tecnologías de acceso a la transmisión soportadas por su diseño de hardware. Los parámetros de operación para la transmisión radio cognitiva los realiza sobre la marcha en software, y no en los componentes hardware (Akyildiz et al., 2006).

Hay varios parámetros reconfigurados que pueden ser incorporados en radio cognitiva, tales como:

Frecuencia de Operación: RC es capaz de cambiar la frecuencia de operación en base a la información obtenida del ambiente de radio; puede determinar la frecuencia de operación más adecuada y realizar dinámicamente la comunicación en la frecuencia de operación adecuada (Akyildiz et al., 2006).

Modulación: radio cognitiva reconfigura el esquema de comunicación adaptado tanto a los requerimientos de usuarios como a las condiciones de canal. Por ejemplo, en el caso de aplicaciones sensibles al retardo, la velocidad de datos es más importante (hasta cierto punto) que la tasa de error. Por lo tanto, se debe seleccionar un esquema de modulación que permita una capacidad de caudal superior. Por el contrario, las aplicaciones sensibles a las pérdidas se centran en la tasa de error y requieren un esquema de modulación con baja tasa de error de bit. (Akyildiz et al., 2006).

Potencia de transmisión: La potencia de transmisión puede ser reconfigurada dentro de las restricciones de potencia. El control de potencia permite la configuración dinámica de potencia de transmisión dentro del límite de potencia permitido. Si no es necesaria una

operación de mayor potencia, la radio cognitiva reduce la potencia del transmisor a un nivel inferior para permitir a más usuarios compartir el espectro y disminuir la interferencia (Akyildiz et al., 2006).

Tecnología de comunicación: Una radio cognitiva puede también ser usada para proveer interoperabilidad entre diferentes sistemas de comunicación (Akyildiz et al., 2006).

Los parámetros de transmisión de una radio cognitiva pueden ser reconfigurados no solo al inicio de una transmisión sino también durante la misma. Si de acuerdo con las características del espectro, radio cognitiva cambia a una banda de espectro diferente, los parámetros de transmisión y recepción son reconfigurados a apropiados parámetros de protocolos de comunicación y esquemas de modulación (Pedraza et al., 2015).

La Figura 4-2 muestra el concepto de radio cognitiva anteriormente detallado, en él se puede diferenciar sus dos características principales que son la capacidad cognitiva y su capacidad de reconfigurabilidad. Estas a su vez, potencian otras características derivadas, tal como la capacidad de negociación de espectro con otros usuarios para una utilización más eficiente del mismo. Estas características se detallan a continuación: (Pedraza et al., 2015).

- Directa o indirectamente RC es capaz de adquirir información de su entorno de radio frecuencia (RF) y puede seleccionar la frecuencia de operación, el formato de transmisión o actuar como un puente entre dos sistemas mejorando su acceso en zonas rurales (Pedraza et al., 2015).
- RC hace posible la interoperabilidad entre dos sistemas al ser capaz de seleccionar la modulación más apropiada para una transmisión. De esta manera, RC puede comunicarse con sistemas que hacen uso de esquemas de acceso al canal como acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y acceso múltiple por división de código (CDMA), dependiendo del tipo de sistema de la comunicación. Otros usos que se le pueden dar a la modulación adaptativa es la selección del ancho de banda (AB) basado en la disponibilidad del espectro y la tasa de transferencia deseada. También se puede pensar en nuevos tipos de modulación en RC, como la posibilidad de dividir una señal para que ocupe bandas de frecuencias no contiguas simultáneamente (Pedraza et al., 2015).
- La RC puede ser diseñada para arquitecturas de red centralizada, distribuida, ad-hoc o redes mesh y estar en capacidad de ser usada, tanto para aplicaciones licenciadas como no licenciadas. De esta forma, las funcionalidades de la RC pueden ser aprovechadas por una estación base (BS) dentro de una red centralizada o mesh, para coordinar los accesos al medio

de cada uno de los usuarios pertenecientes a la red o puede ser utilizada en redes ad-hoc, las cuales no poseen una topología de red definida, donde se pueden conectar dos dispositivos sin necesidad de un coordinador en la comunicación (Pedraza et al., 2015).

- Para evitar posibles interferencias con otros usuarios RC utiliza una base de datos que permite conocer su ubicación con otros usuarios y seleccionar en base a ello parámetros adecuados para la transmisión; como la potencia de operación, frecuencias permitidas y localización geográfica del dispositivo por medio de GPS (Pedraza et al., 2015).
- Algunos mecanismos de compartición de espectro con US están sujetos al cobro de un costo adicional, en lo cual RC propende un menor costo automatizando todos o parte de los procesos requeridos para negociar los términos de arrendamiento del espectro (Pedraza et al., 2015).

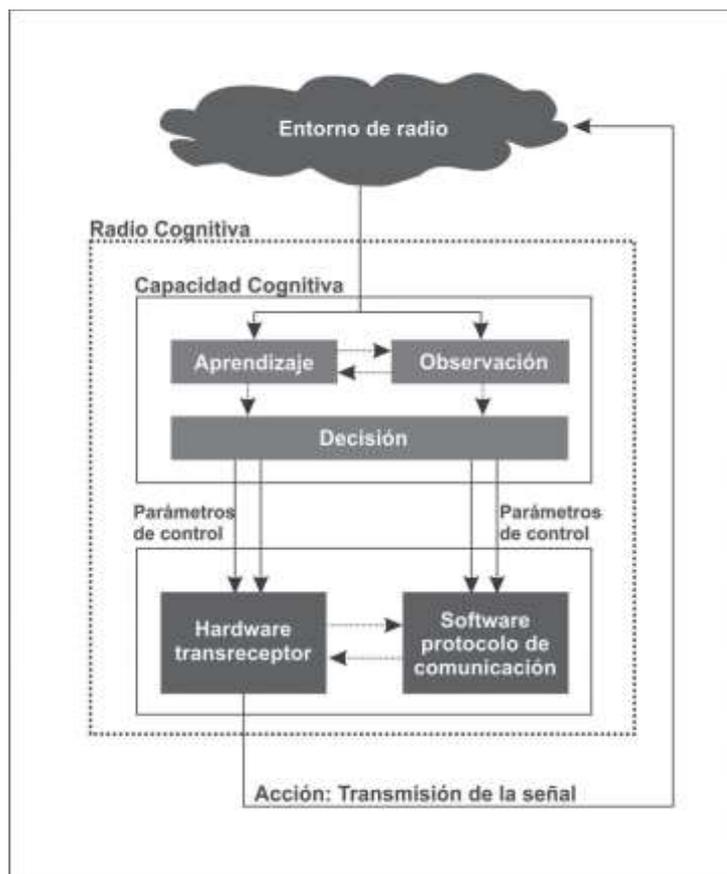


Figura 4-2 Concepto de radio cognitiva
Fuente: Pedraza, et al., 2015

2.2.2.2. Arquitectura de radio cognitiva

Los componentes de la arquitectura de una CRN (Red de radio cognitiva), se pueden clasificar en dos grupos: red primaria y CRN los cuales se detallan a continuación (Galeano, 2015):

Red Primaria: La infraestructura de red existente se conoce generalmente como red primaria, la cual tiene derecho exclusivo a una determinada banda del espectro. Algunos ejemplos incluyen las redes de difusión de televisión y las redes de telefonía celular convencionales. Los componentes de la red primaria son los siguientes (Galeano, 2015):

Usuario primario: un UP tiene una licencia para operar en una determinada banda del espectro. Este acceso sólo puede ser controlado por la BS (Estación base) primaria y no debe ser afectado por las operaciones de ningún US. Los UP no necesitan ninguna modificación o funciones adicionales para la coexistencia con las BS de la CRN y/o US (Galeano, 2015).

Estación base primaria: la BS primaria es un componente de red de infraestructura fija que tiene licencia para cierta porción del espectro, tal como un sistema transceptor de una BS en un sistema celular. En principio, la BS primaria no tiene ninguna capacidad cognitiva para compartir espectro con los US. Sin embargo, puede requerirse que la BS primaria tenga protocolos cognitivos y protocolos existentes para el acceso de los US a la red primaria (Galeano, 2015).

Red de radio cognitiva: La CRN no tiene licencia para operar en la frecuencia que desee. Por lo tanto, se permite el acceso al espectro sólo de manera oportunista. Las CRN pueden desplegarse tanto como una red de infraestructura como una red ad hoc. Los componentes de una CRN son los siguientes (Galeano, 2015):

Usuario secundario: un US no tiene licencia del espectro. Por lo tanto, necesita funciones adicionales para compartir la banda del espectro con licencia (Galeano, 2015).

Estación base cognitiva: una BS cognitiva (o estación base sin licencia, estación base secundaria) es un componente de infraestructura fija con capacidades cognitivas. Una BS cognitiva ofrece una conexión de un solo salto hacia los US sin licencia. A través de esta conexión, un US puede acceder a otras redes (Galeano, 2015).

Agente del espectro: un agente del espectro es una entidad central de red que juega un papel importante en la compartición de los recursos del espectro entre diferentes CRNs. El agente del espectro puede ser conectado a cada red y puede servir como un gestor de información del espectro para permitir la coexistencia de múltiples CRNs (Galeano, 2015).

2.2.2.3. Escenarios y usos en radio cognitiva

Los distintos escenarios consideran tres áreas básicas de clasificaciones que permiten el uso de acceso dinámico al espectro (DSA) y los sistemas de RC, estas áreas son:

- Cuestiones regulatorias y reglamentación de licencias
- Consideraciones económicas y modelos de negocio
- Posibilidades y oportunidades tecnológicas

Escenarios de espectro dedicado (licenciado): En este tipo de escenario se supone que todo el espectro es licenciado en el cual se ha asignado derechos exclusivos a uno o más operadores para el uso dedicado de ciertas porciones de espectro Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Multirradio definida por software en dispositivos móviles (usuario final): en este escenario radio definida por software realiza la reconfiguración de los equipos de radio del usuario final. La radio reconfigurable realiza un barrido de frecuencias de radio y una selección autónoma de la tecnología de acceso a radio (RAT) en base a las preferencias del usuario Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Selección de tecnología de acceso a radio en redes inalámbricas compuestas: RC permite el acceso a usuarios a distintas RAT de una manera dinámica, mediante el monitoreo de carga de tráfico en las diferentes redes de acceso de radio asignadas a un mismo operador en diferentes bandas de frecuencia que conforman una única red compuesta. Este escenario también es aplicable cuando varias redes inalámbricas no son propiedad de un único operador, y estos desean cooperar con el fin de gestionar sus redes en forma conjunta y eficiente Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Optimización en el uso de recursos de radio en redes inalámbricas compuestas: Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015). En este escenario, uno o más operadores poseen múltiples RAN en diferentes bandas de frecuencia. Se asume que los nodos de radio en el lado de la red y en las terminales tienen la capacidad de reconfiguración por medio de, por ejemplo, la tecnología de radio definida por software (SDR). Estos nodos de radio reconfigurables en el lado de la red ajustan dinámicamente sus parámetros de funcionamiento o recursos de radio, con el fin de cumplir con algunos objetivos predefinidos (por ejemplo, aumentar la capacidad y mejorar la QoS) de acuerdo con las actuales regulaciones de radio. Los mismos principios generales pueden aplicarse también en el caso de las RAN existentes, ya sea en forma centralizada o de manera distribuida, distribuyendo la toma de decisiones sobre la reconfiguración de los terminales con el fin de optimizar el uso de recursos de radio y mejorar la QoS.

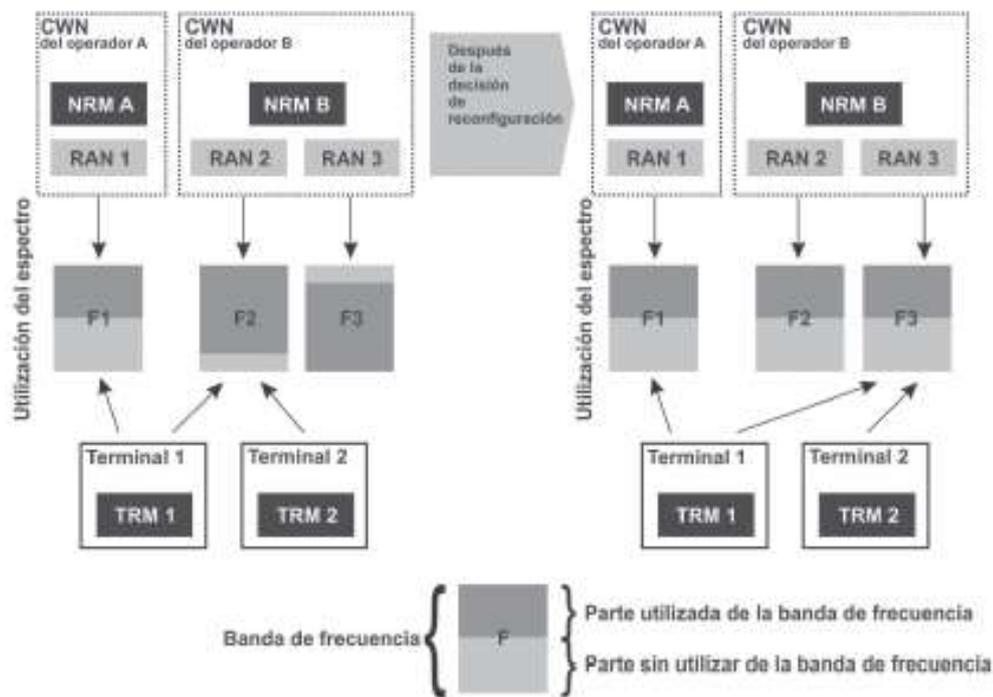


Figura 5-2 Optimización de uso de recursos de radio

Fuente: Pedraza, et al., 2015

Acceso cooperativo al espectro entre operadores: En este escenario, el énfasis no está en la reconfiguración o la gestión de las redes de los operadores individuales, sino en permitir el uso más eficiente de recursos y especialmente, el uso del espectro entre los operadores. Técnicas relacionadas con este escenario incluyen una variedad de esquemas dinámicos de compartición del espectro como mecanismos basados en el mercado, agentes de espectro, entre otros; así lo menciona Akylidiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Escenarios de espectro compartido (no licenciado): Este tipo de escenarios de aplica a espectro no licenciado; es decir espectro libre. En este tipo de escenario los usuarios acceden cuando y donde lo desean, realizan un acceso autónomo al espectro. Un ejemplo es el escenario multirradio doméstico del proyecto Aragorn (citado por Pedraza, 2015), el cual describe una visión futurista para el hogar; los residentes pueden acceder a varios dispositivos (PDA, impresoras inalámbricas, DVDs, cámaras de seguridad, consolas de juego e incluso electrodomésticos de hogar).

La Figura 6-2 describe el escenario de una red doméstica con un punto de acceso (AP) el cual puede provocar algunos problemas, así también, la figura muestra un escenario de una red doméstica con un sistema cognitivo basado en la comunicación entre pares (P2P). La utilización de P2P permite una utilización eficiente de los recursos espectrales, evita la interferencia de manera adaptativa y mejora la calidad de servicio al optimizar la utilización de recursos.

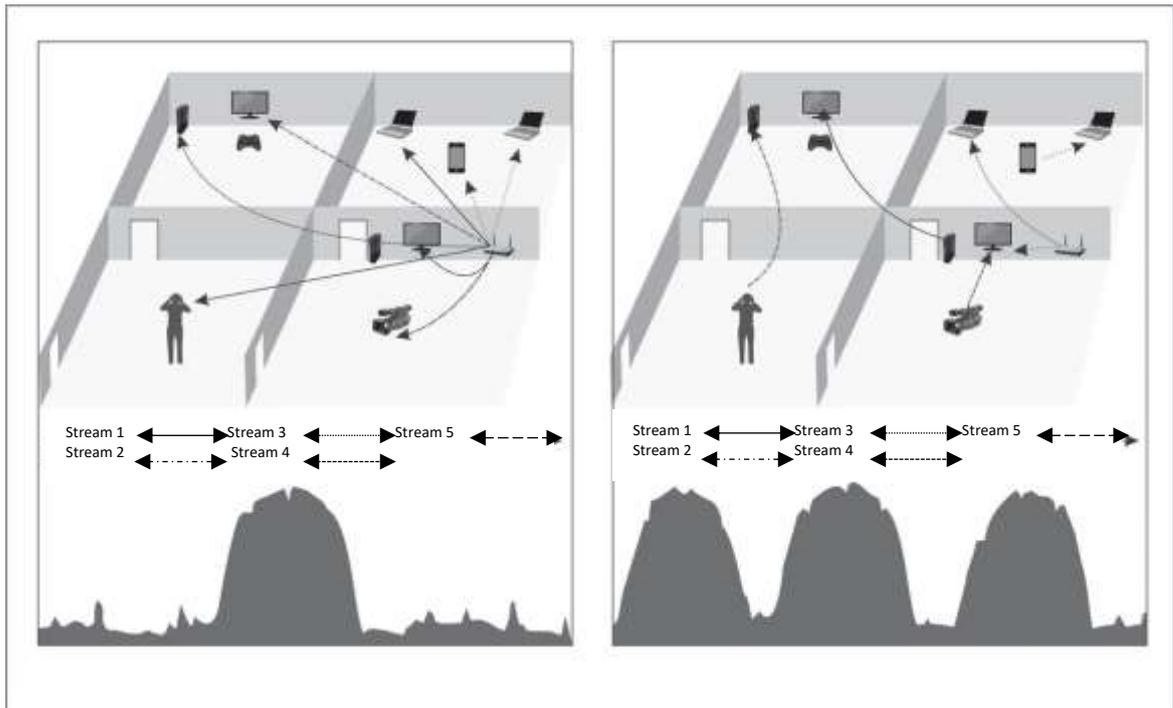


Figura 6-2 Izquierda: red de puntos de acceso; derecha: red P2P, junto con la mejora asociada a la utilización del espectro

Fuente: Pedraza, et al., 2015

Escenarios oportunistas: En este tipo de escenario aparece el UP y US del espectro. Los UP son aquellos que poseen licencia de ciertas partes del espectro y los US son aquellos que, sin tener licencia pueden acceder al espectro licenciado del UP bajo un régimen de regulación distinto. Este régimen de regulación generalmente se basa en la capacidad del sistema secundario de utilizar las bandas de espectro pertinentes sin interferir con los UP Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

En RC los US acceden dinámicamente el espectro por medio de:

- Sistema bajo capa o subyacente (*underlay*)
- Sistema sobrecapa (*overlay*)
- Sistemas entrelazados (*interweave*) citado por algunos autores.

Un sistema subyacente permite al US transmitir con la condición de hacerlo con la limitación de potencia de interferencia total experimentada por el UP. En este contexto, tecnologías como banda ultra ancha (UWB) proponen métodos de comunicación para US. Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Un sistema sobrecapa, permite el uso simultáneo del espectro al UP y US; a este tipo de sistema también se lo conoce como sistema colaborativo. Los escenarios que pertenecen a este grupo se han dado por varias organizaciones y proyectos, tales como ETSI sistema de radio reconfigurable

(RRS), SCC- 41, la ITU, IEEE 802.22, el proyecto SENDORA y el foro SDR. Los escenarios comunes incluyen redes de tipo ad-hoc que operan en bandas licenciadas en forma oportunista y las redes tácticas militares estrechamente relacionadas. Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Las redes de emergencia de uso civil, a menudo, han sido mencionadas como un escenario clave de aplicación, en el que se requiere DSA, optimización de la red y autoorganización, para hacer frente al alto nivel de dinamismo y las condiciones hostiles de propagación en la red. Por último, las redes cognitivas domesticas que operan con DSA forman una importante área de potencial aplicación, en especial, en relación con la reutilización de frecuencias asignadas originalmente a los radiodifusores. Este escenario está significativamente relacionado con el escenario multiradio domestico mencionado anteriormente. Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Un primer ejemplo sólido de un escenario práctico es el estándar IEEE 802.22, que se ilustra en la Figura 7-2. Este estándar tiene por objetivo “la implementación de técnicas de radio cognitiva para permitir el uso compartido de espectro inutilizado geográficamente, asignado al servicio de televisión, bajo un enfoque de no interferencia con el fin de ofrecer acceso de banda ancha a zonas de difícil acceso y de baja densidad de población, típicas de los entornos rurales” (Stevenson, et al., 2009). Una BS, de acuerdo con este estándar de acceso de banda ancha, puede atender hasta 255 unidades fijas (casas) en una zona rural típicamente de 25 km de radio (hasta 100 km). Una vez más, esta será la base para todos los reportes de DSA. Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

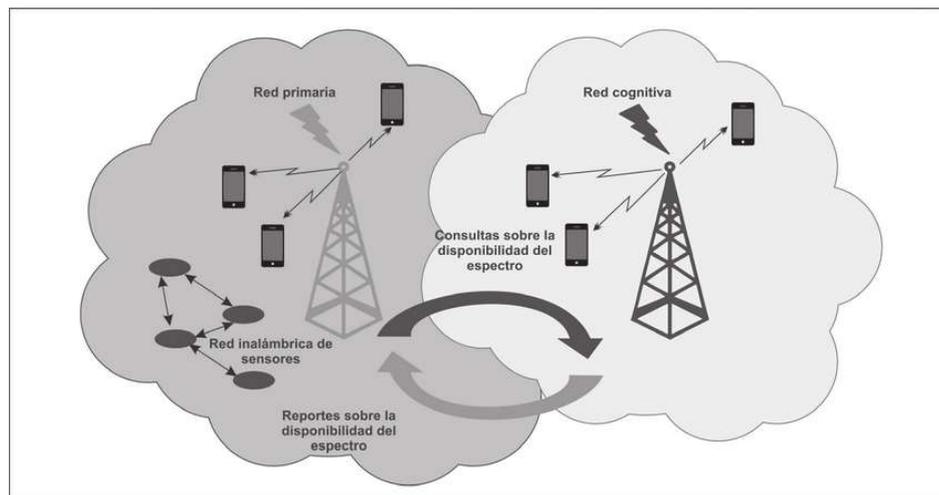


Figura 7-2 Ilustración conceptual de la coexistencia de una red cognitiva (secundaria) y una red licenciada (primaria).

Fuente: Pedraza, at el., 2015

Otros escenarios:

Otros escenarios posibles para uso de radio cognitiva son la femtoceldas cognitivas y las redes vehiculares de radio cognitiva.

Femtoceldas cognitivas:

Estas femtoceldas cognitivas también se las conoce como BS (estaciones base) pequeñas, son AP (puntos de acceso) de corto alcance que presentan bajo consumo de energía; son utilizados para proveer altas velocidades de datos e incrementar la cobertura telefónica móvil en interiores. Las femtoceldas se conectan a la macro-celda por medio de cable o línea de abonado digital (DSL) o a través de un enlace inalámbrico *back haul*. Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

La determinación de una estrategia de compartición del espectro es crucial en las femtoceldas; ya sea, en una base ortogonal (en el que las femtoceldas y macroceldas comparten diferentes secciones del espectro asignado a la macro-celda) o sobre una base no ortogonal (donde la femtocelda reutiliza el espectro asignado a la macrocelda). El equilibrio obvio entre estas dos estrategias es incrementar la capacidad celular versus el aumento de la interferencia entre la macrocelda y las femtoceldas, y entre las distintas femtoceldas. Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Las femtoceldas cognitivas pueden operar de manera oportunista dentro del espectro asignado a la macrocelda. Mediante el empleo de detección de espectro en la banda espectral de la macrocelda, las femtoceldas pueden identificar canales que no están siendo utilizados en el momento por la macrocelda, y utilizar dichos canales para sus propias transmisiones, es decir, funcionan sobre una base espectral no ortogonal con la macrocelda y ahorran valiosos recursos espectrales. Las macroceldas podrían informar a las femtoceldas sobre los canales que se utilizan en su vecindad, pero esa solución introducirá importantes gastos a la macrocelda, especialmente en vista del hecho de que las femtoceldas se instalan normalmente por el consumidor y pueden ser colocadas aleatoriamente, por lo tanto, podría ser necesario que la coordinación de la interferencia se lleve a cabo de forma descentralizada. Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

En este sentido, el despliegue de femtoceldas de RC es una manera espectralmente eficiente de utilizar el espectro asignado a una macrocelda. La cooperación entre las diferentes femtoceldas dentro de una macrocelda es vital para evitar la interferencia y lograr compartir eficientemente el espectro. Dado que el rango de transmisión de las femtoceldas de RC es limitado, se requieren retransmisores cooperativos para la coexistencia de múltiples femtoceldas de RC y para compartir el espectro de forma cooperativa y eficaz. Por ejemplo, dos femtoceldas cercanas pueden observar diferentes disponibilidades de canales en el espectro asignado a la macrocelda. Para que estas dos femtoceldas utilicen de manera óptima estos canales vacantes, necesitan utilizar un esquema de

asignación de recursos consciente de la interferencia con el fin de evitarla. También pueden contar con retransmisores cooperativos para mejorar aún más el uso del espectro con otras femtoceldas fuera de su rango de transmisión. Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Redes de radio cognitiva vehicular

Las redes de comunicación vehicular han recibido gran atención en la última década como una forma de apoyar aplicaciones interesantes, como la seguridad en la conducción, prevención de accidentes e información y entretenimiento en el automóvil, entre otras. Aquí consideramos CRN vehiculares, donde se lleve a cabo la comunicación de vehículo a vehículo (V2V) y vehículo a carretera (V2R) de una manera oportunista sobre algún espectro vacante. La Figura 8-2 muestra una implementación típica de este tipo de redes en un espacio en blanco de una banda de televisión (TV). El espacio en blanco en la banda de frecuencia ultra alta (UHF) se pone a disposición debido a la reciente transición a la televisión digital (DTV), lo cual es de especial importancia para este tipo de aplicación debido a las características favorables de propagación de las frecuencias de UHF, en comparación con la banda de 5.9 GHz asignada actualmente para las comunicaciones vehiculares bajo el marco de la comunicación dedicada de corto alcance (DSRC). El hecho de que la ocupación de esta banda de TV cambia de un punto geográfico a otro tiene un beneficio adicional que garantiza la continua disponibilidad de un espectro vacante, de esta manera se mantiene la conectividad de red, especialmente para los vehículos que se mueven a lo largo de las autopistas. Por otra parte, la interferencia con los UP coexistentes se puede evitar mediante la aplicación de transmisión de baja potencia, que también se ajusta a las restricciones de la FCC en los dispositivos de RC portátiles/personales para limitar su potencia de transmisión a niveles por debajo de 100 mW Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

Debido a la alta movilidad de los vehículos, las CRN vehiculares se enfrentan a más retos en comparación con las redes fijas de RC. Específicamente, se necesitan esquemas cooperativos rápidos de detección del espectro, debido a la movilidad del vehículo y a que la ocupación del espectro cambia rápidamente. Como los vehículos pueden ser bloqueados por edificios o montañas, se requiere que el sistema de detección cooperativo reduzca el retardo en la detección y mejore la detección de los UP. Además de la detección rápida y cooperativa del espectro de banda ancha, se utiliza la técnica de transmisión ágil no ortogonal de frecuencia para satisfacer los requisitos de ancho de banda (AB) y para adaptarse al entorno que cambia rápidamente. Como se muestra en Figura 8-2, los vehículos y la infraestructura de la carretera se utilizan como retransmisores cooperativos para compartir el espectro cuando se observa heterogeneidad. Se necesita un esquema de asignación de recursos para los vehículos con el fin de compartir de manera óptima conmutaciones rápidas de los canales como resultado de una alta movilidad Akyildiz, et al., (citado por Pedraza, 2015).

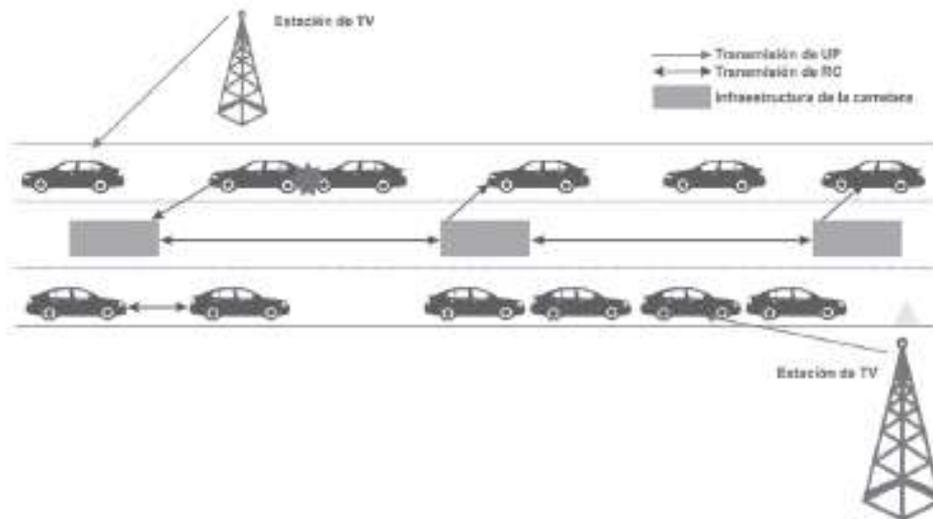


Figura 8-2 Transmisión cooperativa
Fuente: Pedraza, at el., 2015

2.2.3. Espectro Radioeléctrico

La Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT) en su artículo 6 define al espectro radioeléctrico como “un conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin necesidad de guía artificial; utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, así como para un elevado número de aplicaciones industriales científicas y médicas”.

2.2.4. Asignación de bandas de frecuencias

“La UIT desde el punto de vista de la atribución de bandas, ha dividido al mundo en tres Regiones: Región 1, Región 2 y Región 3., Ecuador pertenece a la Región 2” (Plan Nacional de Frecuencias, 2012, p.X).

Uno de los servicios de telecomunicaciones es la Radiodifusión que implica emisiones sonoras de televisión u otro género; sus emisiones son recibidas directamente por el público en general. En el Plan Nacional de frecuencias se destina ciertas bandas de frecuencia para su utilización; la Tabla 1-2 indica la asignación de las bandas de frecuencia de 450 MHz a 512 MHz.

Tabla 1-2 Atribución de Bandas de Frecuencias (450 MHz – 512MHz)

REGIÓN 2	ECUADOR	
Banda MHz	Banda MHz	Rango MHz
450 – 455	450 – 455	450 – 455
FIJO	FIJO	EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías)
MÓVIL ADD 5.286AA	MÓVIL ADD 5.286AA	452,5 – 455
5.209 5.286A 5.286B	5.209 5.286A 5.286B	EQA.60: FIJO (FWA)
5.286C	5.286C	
5.286D		
455 – 456	455 – 456	455 – 456
FIJO	FIJO	EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías)
MÓVIL 5.286AA	MÓVIL 5.286AA	455 – 456
MÓVIL POR		EQA.60: FIJO (FWA)
SATÉLITE (Tierra –		
espacio)		
5.286A 5.286B 5.286C		
5.209		
456 – 459	456 – 459	456 – 459
FIJO	FIJO	EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías)
MÓVIL 5.286AA	MÓVIL ADD 5.286AA	456 – 457, 475
5.287 5.288	5.287	EQA.60: FIJO (FWA)
459 – 460	459 – 460	459 – 460
FIJO	FIJO	EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías)
MÓVIL 5.286AA	MÓVIL 5.286AA	
MÓVIL POR	MÓVIL POR	
SATÉLITE (Tierra –	SATÉLITE (Tierra –	
espacio)	espacio)	
5.286A 5.286B 5.286C	5.286A 5.286B	
5.209	5.286C	
	5.209	

460 – 470 FIJO MÓVIL 5.286AA Meteorología por satélite (espacio – Tierra) 5.287 5.288 5.289	460 – 470 FIJO MÓVIL 5.286AA 5.287	460 – 470 EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías) 462, 5-467.475 EQA.60: FIJO (FWA)
470 – 512 RADIODIFUSIÓN Fijo Móvil 5.292 MOD 5.293	470 – 512 Fijo Móvil MOD 5.293	470 – 512 EQA.55: FIJO y MOVIL (radio de dos vías) 470 – 472; 482 - 488 EQA.55: FIJO y MOVIL (buscapersonas unidireccional) 479-483, 480; 489-492, 975 EQA.60: FIJO (FWA – Cantón Cuenca)

Fuente: Plan Nacional de Frecuencias, 2012, p:67,68

2.2.5. Administración del espectro

Las grandes exigencias de QoS de las aplicaciones y lo variable de espectro disponible hace que la gestión las CRNs imponen retos a la gestión del espectro. En RC los UP comparten canales inalámbricos de una manera oportunista con los US, por este motivo los US requieren monitorear el espectro constantemente para determinar la presencia de un UP y reconfigurar el *front-end* RF de acuerdo a la nueva demanda y necesidad. Para ello, las CRNs implementan cuatro funciones encargadas de realizar la gestión del espectro: detección de espectro, decisión de espectro, compartición de espectro y movilidad de espectro, las cuales conforman el ciclo cognitivo descrito anteriormente (Galeano, 2015).

Las principales características de estas cuatro funciones son:

2.2.5.1 Monitoreo para detección de espectro

En las bandas licenciadas los US, solo pueden ser asignados a huecos espectrales, para que no interfieran con los UP. Por tanto, es necesario que los US estén monitorizando las bandas de espectro disponibles, capturando su información y después detectando dichos huecos

espectrales. Actualmente existen varias técnicas para la detección de espectro, las cuales se clasifican como se muestra en la, siendo la detección de energía la más básica de ellas (Galeano, 2015).

2.2.5.2 Políticas de Decisión de espectro

Luego que los huecos espectrales han sido identificados, los US acuerdan sus requerimientos de QoS, políticas internas y posiblemente externas, seleccionan el hueco espectral más adecuado. Para la toma de esta decisión existen algoritmos que tienen en cuenta las características de canal de radio y el comportamiento estadístico de los UP (Galeano, 2015).

2.2.5.3 Acceso al espectro

La función de compartición de espectro tiene la capacidad que múltiples US accedan al espectro de una forma coordinada para evitar colisiones e interferencias.

2.2.5.4 Movilidad de usuario secundario

Los US son “visitantes” en el espectro radieléctrico. Si los UP necesitan utilizar el espectro o las condiciones del canal se deterioran, los US tienen que dejar el canal de frecuencia que están utilizando y continuar en otro hueco espectral (Galeano, 2015).

2.2.6. Sistema Automático para detección del Espectro Radioeléctrico

Para la detección del espectro se utilizó el Sistema Automático para Control del Espectro Radioeléctrico (SACER), el cual fue adquirido por la Superintendencia de Telecomunicaciones en el año 2008; previo a un estudio efectuado (Filián Narváez, 2013).

El Subsistema de Monitoreo del SACER está formado por estaciones Fijas, estaciones Remotas Transportables y estaciones Móviles distribuidas en todo el territorio Nacional (Filián Narváez, 2013)..

Los equipos que conforman el SACER son (Filián Narváez, 2013):.

- Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255 – Digital Direction Finder
- Conmutador de antenas R&S ZS129A1
- Receptor GPS de referencia GPS 129
- Antenas R&S ADD295 (20–3000 MHz) polarización vertical
- ADC230 (20-3000 MHz) polarización horizontal
- R&S HE500 (20 – 3000 MHz) polarización vertical
- R&S HE010 (9 KHz – 80 MHz) polarización vertical
- Receptor GPS de posicionamiento GPS16LVS
- Brújula GH150
- Software ARGUS
- Software MAPVIEW

La implementación de la herramienta SACER, ha permitido la realización de varias actividades entre las que se destacan (Filián Narváez, 2013).:

- Atender requerimientos de concesionarios, autoridades de control y público en general, de manera inmediata en varios aspectos técnicos relacionados con la operación de sistemas de radiodifusión, televisión y radiocomunicaciones.
- Monitoreo de Estaciones de Radiodifusión y Televisión conforme los convenios fronterizos binacionales (Ecuador – Perú, Ecuador – Colombia).
- Ha permitido realizar la coordinación en operativos de clausura de estaciones no autorizadas, a nivel nacional para verificar el apagado de repetidoras.
- Asesoramiento y apoyo técnico a la DGAC en los sistemas de aproximación VOR, para la verificación de la operatividad de los sistemas de aproximación.
- Identificación y eliminación de interferencias que provocaban el malfuncionamiento de Sistemas de Telecomunicaciones.
- Establecimiento de zonas de sombra y determinación de posibles sitios para la instalación de transmisores secundarios

2.2.7. Normalización Internacional de Radio Cognitiva

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) es el organismo internacional encargado de emitir normas técnicas para el correcto funcionamiento de servicios de telecomunicaciones a continuación, se realiza una breve descripción de los reportes e informes más relevantes.

- ITU-R SM.2152 de septiembre del 2009 emite la definición para sistemas radioeléctricos cognoscitivos (CRS).

- ITU-R M.2225 del año 2011 contiene información general sobre los sistemas de radio cognitiva en el servicio de radio móvil terrestre. Detalla cada una de las capacidades cognitivas de CRS.
- ITU-R M.2330-0 de noviembre del 2014 presenta aplicaciones existentes, emergentes y potenciales empleando sistemas de radio cognitiva; así también, presenta una descripción de tecnologías relacionadas con capacidades cognitivas para obtener información, decisión y ajustes. Adicionalmente detallada el impacto de CRS sobre el uso del espectro desde una perspectiva técnica.

Otro de los organismos internacionales encargado en emitir estándares es el Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE), la cual hasta el momento ha publicado dos estándares relacionados con radio cognitiva.

- IEEE.1900.4 describe el sistema de gestión que permite el uso de recursos de radio en redes Wireless de acceso heterogéneo.
- IEEE 802 LAN / MAN define los CRS y los componentes de CRS dirigido para la optimización de espacios en blanco de la banda de frecuencia de televisión.

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) también ha emitido reportes técnicos que guían el uso de sistemas cognoscitivos en los servicios de telecomunicaciones.

- ETSI TR 102 680 V1.1.1 (2009-03) describe la arquitectura de referencia para dispositivos móviles equipados con SDR, que les permite operar como parte de sistemas de radio reconfigurables y presenta normalización de SDR en otras organizaciones desarrolladoras de estándares.
- ETSI TR 102 802 V1.1.1 (2010-02) proporciona un concepto técnico global y armonizado para los sistemas de radio cognitivos, también hace referencia a las funcionalidades de reconfigurabilidad y cognición que pueden ser introducidas en las futuras redes de radio, tanto en el terminal como en la red.
- ETSI TR 102 733 V1.1.1 (2010-03) brinda pautas para la aplicación de tecnologías de radio reconfigurables en el dominio de Seguridad Pública estableciendo principios generales para su aplicación y aspectos de seguridad en la gestión dinámica del espectro y la radio cognitiva. También ETSI TR 103 064 V1.1.1 (2011-04) evalúa costos, beneficios y desventajas de la aplicación de SDR/CR en el dominio de Seguridad Pública.
- ETSI TR 103 063 V1.1.1 (2011-07) describe cómo se pueden explotar los sistemas de radio reconfigurables en las bandas de IMT y GSM para aumentar la eficiencia de la gestión de recursos de radio en los escenarios intra- operadores para los cuales los recursos de espectro son asignados y gestionados por un solo operador.

- ETSI TR 103 067 V1.1.1 (2013-05) identifica escenarios de radiofrecuencia (RF) para sistemas de radio cognitiva en los espacios en blanco de la banda de TV UHF, considerando técnicas e implementaciones de protección avanzada.
- ETSI TR 103 263 V1.2.1 (2016-02) aborda diferentes escenarios en la banda Ka, información de mercado, información técnica (incluidos los problemas de compatibilidad y uso compartido) y, asuntos reglamentarios.
- ETSI TS 102 968 V1.1.1 (2016-11) define requisitos del sistema para los sistemas de radio reconfigurables que funcionan en las bandas GSM e IMT para escenarios dentro del operador para los cuales los recursos del espectro son asignados y gestionados por un solo operador. Estos requisitos se derivan de los casos de uso descritos en ETSI TR 103 063.
- ETSI TR 103 314 V1.1.1 (2017-05) proporciona información sobre técnicas de mitigación existentes y nuevas para la protección de los servicios incumbentes de la interferencia perjudicial generada por dispositivos que despliegan tecnologías de banda ultra ancha.
- ETSI TR 103 087 V1.2.1 (2017-11) proporciona un análisis del riesgo de ataques de seguridad en el funcionamiento de sistemas de radio reconfigurables (RRS). Identifica qué amenazas de seguridad pueden interrumpir las redes y dispositivos de RRS o puede inducir impactos negativos en otros servicios de radiocomunicación que operan en el mismo espectro de radio.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la presente investigación se realizaron mediciones del espectro en dos puntos de la ciudad de Riobamba, se caracterizaron las bandas detectadas y finalmente se estableció el plan de optimización del espectro, en el presente capítulo se describe estos procesos de forma detallada.

3.1. Tipo de Investigación

El proyecto de investigación es de tipo no experimental porque no se manipula deliberadamente variables, solo se observa fenómenos en su ambiente para después analizarlos.

Se realizaron mediciones al espectro en dos puntos de la ciudad de Riobamba; uno en la unidad Regional Sierra Centro Riobamba de la ARCOTEL y otro en el hospital del IESS con el sistema SACER de la ARCOTEL.

3.2. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es de tipo transversal porque mide características de las variables en un momento dado.

Los datos utilizados de las mediciones realizadas al espectro fueron la potencia de las frecuencias pertenecientes al rango 450 MHz a 512 MHz en un determinado momento.

3.3. Métodos de Investigación

El método deductivo se utilizó en la comprensión de conceptos, principios, definiciones, leyes y estándares generales para la aplicación de radio cognitiva en la optimización del espectro radioeléctrico.

El método inductivo se utilizó para la determinación de la problemática, ya que por medio de estudio de casos, hechos o fenómenos relativos al uso de radio cognitiva se llegó a diagnosticar el porcentaje de saturación del espectro y se formuló la propuesta.

Mediante el método analítico se conoció el porcentaje de utilización del espectro en la ciudad de Riobamba, posibilitando la determinación de causas y efectos de los hechos relativos al objeto indicado.

Mediante el método sistémico se unieron, ciertos elementos circundantes al problema de investigación los cuales facilitaron la comprensión cabal del mismo, posibilitando el establecimiento de una propuesta.

3.4. Enfoque de la Investigación

La presente investigación presenta un enfoque cualitativo, ya que describe cualidades y cita conceptos que sustentan la investigación. Así mismo, tiene un enfoque cuantitativo debido a que se recoge y analiza datos sobre variables planteadas

3.5. Alcance Investigativo

La presente investigación es correlacional porque en ella se mide, analiza y relaciona variables de estudio y también es explicativa porque se explica la relación existente entre las variables de estudio.

3.6. Población de Estudio

La población del proyecto de investigación lo constituye el rango de frecuencias en UHF (450 – 512 MHz).

3.7. Unidad de Análisis

La unidad de análisis lo conforman cada una de las frecuencias en el rango UHF (450 – 512 MHz)

3.8. Selección de la Muestra

La investigación centra su unidad de análisis en las bandas de frecuencias en el rango UHF (450 – 512 MHz) del espectro en la ciudad de Riobamba, porque es un rango de frecuencias representativo para medir porcentajes de utilización y conocer si es factible o no el uso de radio cognitiva para la optimización del espectro.

3.9. Tamaño de la Muestra

El tamaño de la muestra se calculó con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{PQN}{(N - 1) \frac{E^2}{K^2} + PQ}$$

Donde:

N= Población total (4960 bandas)

PQ = Constante de varianza (0.25)

K = Coeficiente de error (2)

E = Error admisible (5%)

$$n = \frac{0.25(4960)}{(4960 - 1) \frac{0.05^2}{2^2} + 0.25}$$

$$n = 370.22 \text{ portadora}$$

La muestra calculada por la fórmula antes indicada proporciona un tamaño de 370 portadoras de frecuencias.

De la banda de estudio se conoce que disponemos de 62MHz y que la canalización regulatoria es de 12.5 KHz, lo cual proporciona un total de 4960 portadoras de frecuencia que deberían ser estudiadas.

$$512 \text{ MHz} - 450 \text{ MHz} = 62 \text{ MHz}$$

$$\frac{62 \text{ MHz}}{12.5 \text{ KHz}} = 4960 \text{ portadoras}$$

Si se realizaba el estudio con la muestra de 370 portadoras; al dividir los 62 MHz disponibles de la banda para la muestra de 370 portadoras se obtiene una canalización de 167.5 KHz, lo cual no

coincide con una portadora de frecuencia de la banda de estudio; sino con un espacio intermedio donde no es posible detectar la señal de frecuencia real.

$$\frac{62 \text{ MHz}}{370 \text{ portadoras}} = 167.5 \text{ KHz}$$

Por tal motivo la investigación se trabajó con una canalización de 100 KHz dando como resultado 621 portadoras de frecuencias que fueron analizadas; esto debido a que al seleccionar una canalización de 100KHz, es posible analizar una señal frecuencia real cada 8 portadoras, tal como lo muestra el Gráfico 1-3.

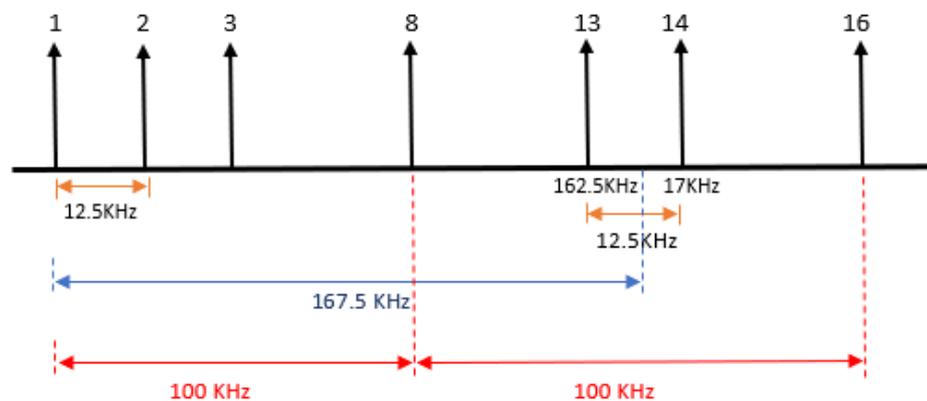


Gráfico 1-3 Selección de tamaño de muestra
Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

3.10. Técnicas de recolección de datos primarios y secundarios

3.10.1. Fuentes primarias

- Libros de Radio Cognitiva
- Tesis relacionadas con Radio Cognitiva y estudio del espectro radioeléctrico
- Artículos científicos relacionados con Radio Cognitiva y estudio del espectro radioeléctrico

3.10.2. Fuentes secundarias

- Información de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones de frecuencias concesionadas en el rango de 450 MHz a 512 MHz

- Publicaciones de la revista CIEPI relacionadas al sistema SACER adquirido por la ARCOTEL.

3.11. Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios

3.11.1. Observación directa

La obtención de cada unidad de estudio que forma parte de la muestra se lo efectuó con el equipo SACER del ARCOTEL; lo cual se realizó en dos puntos de la ciudad de Riobamba, uno en el hospital del IESS y otro en la Coordinación Zonal 3 del ARCOTEL.

3.11.2. Medidas de campo

El esquema de pruebas que se utilizó para las mediciones de frecuencias del espectro se muestra en Gráfico 2-3.

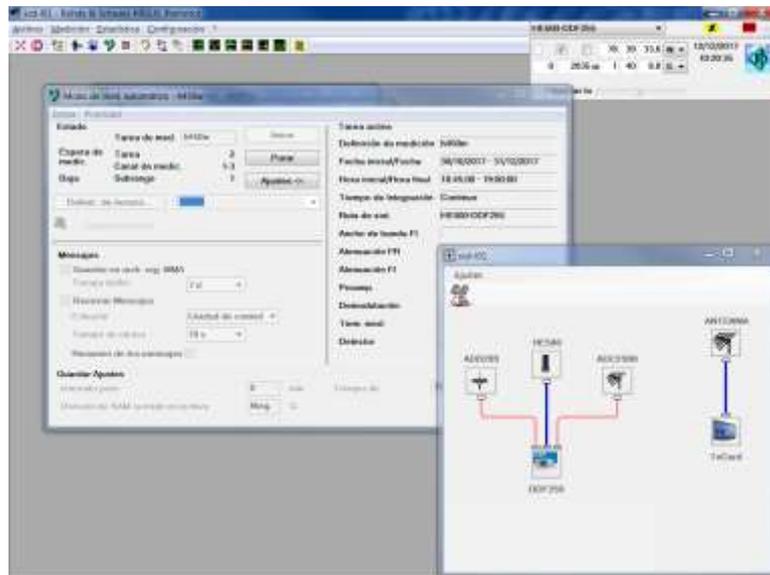


Gráfico 2-3 Configuración del esquema de medición SACER
Fuente: Arcotel, sistema SACER

Las mediciones se realizaron en los puntos especificados en observación directa, durante 12 días, tres veces por día a las 7:45:07 AM, 6:45:07 PM y 8:00:07 PM con una duración de 12.55 minutos y tiempo de barrido aproximado de 2 min, lo que nos lleva a tener 134455.68 mediciones de cada punto de medición.

Frecuencia

El intervalo de medición del espectro fue de 450 MHz a 512 MHz. El span para cada medición fue de 62 MHz, con un espaciamento de 100 KHz y tiempo de barrido aproximado de 2 minutos.

La localización de los puntos de medición se encuentra en las siguientes coordenadas de la ciudad de Riobamba, tal como se muestra en el Gráfico 3-3.

Hospital IESS Riobamba:

- Latitud = -1.66893, longitud = -78.65927 (1°40'08.2''S 78° 39'33.4''W)

Coodinación Zonal 3 Arcotel:

- Latitud = -1.7011, longitud = -78.62295 (1°42'04.0''S 78°37'22.6''W)

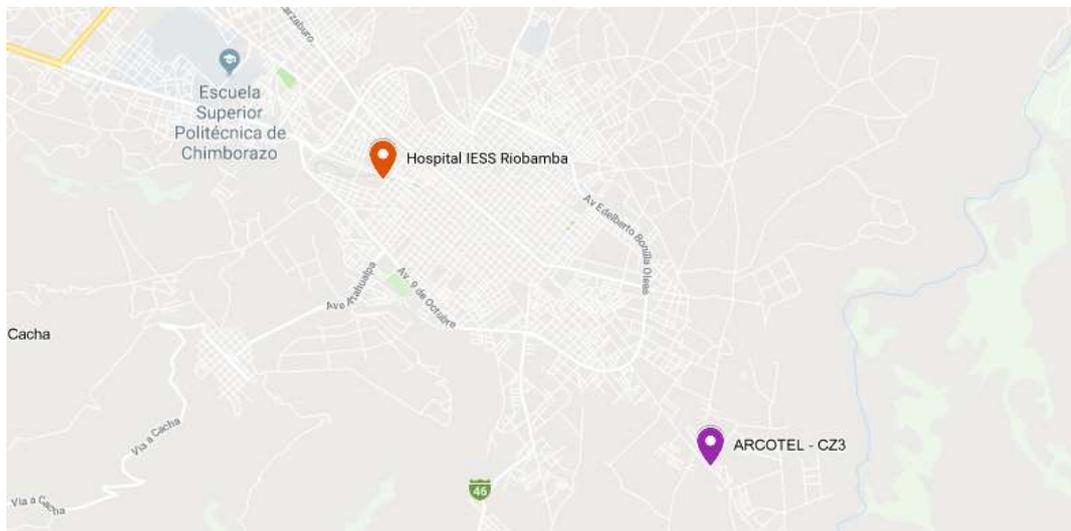


Gráfico 3-3 Localización de puntos de medición en la ciudad de Riobamba
Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

Las opciones de decisión existentes que se evaluaron durante la campaña de medición del espectro fueron los canales del rango de 450 MHz hasta 512 MHz con un ancho de banda de 100 KHz; lo cual produjo 621 opciones de decisión, como se muestra en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3 Opciones disponibles para el proceso de selección

BANDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F(MHz)	450.000	450.100	450.200	450.300	450.400	450.500	450.600	450.700	450.800	450.900
BANDA	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F(MHz)	451.000	451.100	451.200	451.300	451.400	451.500	451.600	451.700	451.800	451.900
BANDA	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
F(MHz)	452.000	452.100	452.200	452.300	452.400	452.500	452.600	452.700	452.800	452.900
BANDA	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
F(MHz)	453.000	453.100	453.200	453.300	453.400	453.500	453.600	453.700	453.800	453.900
BANDA	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
F(MHz)	454.000	454.100	454.200	454.300	454.400	454.500	454.600	454.700	454.800	454.900
BANDA	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
F(MHz)	455.000	455.100	455.200	455.300	455.400	455.500	455.600	455.700	455.800	455.900
BANDA	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
F(MHz)	456.000	456.100	456.200	456.300	456.400	456.500	456.600	456.700	456.800	456.900
BANDA	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
F(MHz)	457.000	457.100	457.200	457.300	457.400	457.500	457.600	457.700	457.800	457.900
BANDA	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
F(MHz)	458.000	458.100	458.200	458.300	458.400	458.500	458.600	458.700	458.800	458.900
BANDA	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
F(MHz)	459.000	459.100	459.200	459.300	459.400	459.500	459.600	459.700	459.800	459.900
BANDA	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
F(MHz)	460.000	460.100	460.200	460.300	460.400	460.500	460.600	460.700	460.800	460.900
BANDA	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
F(MHz)	461.000	461.100	461.200	461.300	461.400	461.500	461.600	461.700	461.800	461.900
BANDA	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
F(MHz)	462.000	462.100	462.200	462.300	462.400	462.500	462.600	462.700	462.800	462.900
BANDA	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
F(MHz)	463.000	463.100	463.200	463.300	463.400	463.500	463.600	463.700	463.800	463.900
BANDA	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
F(MHz)	464.000	464.100	464.200	464.300	464.400	464.500	464.600	464.700	464.800	464.900
BANDA	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
F(MHz)	465.000	465.100	465.200	465.300	465.400	465.500	465.600	465.700	465.800	465.900
BANDA	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
F(MHz)	466.000	466.100	466.200	466.300	466.400	466.500	466.600	466.700	466.800	466.900
BANDA	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
F(MHz)	467.000	467.100	467.200	467.300	467.400	467.500	467.600	467.700	467.800	467.900
BANDA	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
F(MHz)	468.000	468.100	468.200	468.300	468.400	468.500	468.600	468.700	468.800	468.900
BANDA	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
F(MHz)	469.000	469.100	469.200	469.300	469.400	469.500	469.600	469.700	469.800	469.900
BANDA	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
F(MHz)	470.000	470.100	470.200	470.300	470.400	470.500	470.600	470.700	470.800	470.900
BANDA	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
F(MHz)	471.000	471.100	471.200	471.300	471.400	471.500	471.600	471.700	471.800	471.900
BANDA	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
F(MHz)	472.000	472.100	472.200	472.300	472.400	472.500	472.600	472.700	472.800	472.900

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

Tabla 1-1-3: Opciones disponibles para el proceso de selección

BANDA	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
F(MHz)	473.000	473.100	473.200	473.300	473.400	473.500	473.600	473.700	473.800	473.900
BANDA	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
F(MHz)	474.000	474.100	474.200	474.300	474.400	474.500	474.600	474.700	474.800	474.900
BANDA	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260
F(MHz)	475.000	475.100	475.200	475.300	475.400	475.500	475.600	475.700	475.800	475.900
BANDA	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
F(MHz)	476.000	476.100	476.200	476.300	476.400	476.500	476.600	476.700	476.800	476.900
BANDA	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280
F(MHz)	477.000	477.100	477.200	477.300	477.400	477.500	477.600	477.700	477.800	477.900
BANDA	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290
F(MHz)	478.000	478.100	478.200	478.300	478.400	478.500	478.600	478.700	478.800	478.900
BANDA	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
F(MHz)	479.000	479.100	479.200	479.300	479.400	479.500	479.600	479.700	479.800	479.900
BANDA	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310
F(MHz)	480.000	480.100	480.200	480.300	480.400	480.500	480.600	480.700	480.800	480.900
BANDA	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320
F(MHz)	481.000	481.100	481.200	481.300	481.400	481.500	481.600	481.700	481.800	481.900
BANDA	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
F(MHz)	482.000	482.100	482.200	482.300	482.400	482.500	482.600	482.700	482.800	482.900
BANDA	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340
F(MHz)	483.000	483.100	483.200	483.300	483.400	483.500	483.600	483.700	483.800	483.900
BANDA	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350
F(MHz)	484.000	484.100	484.200	484.300	484.400	484.500	484.600	484.700	484.800	484.900
BANDA	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
F(MHz)	485.000	485.100	485.200	485.300	485.400	485.500	485.600	485.700	485.800	485.900
BANDA	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370
F(MHz)	486.000	486.100	486.200	486.300	486.400	486.500	486.600	486.700	486.800	486.900
BANDA	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380
F(MHz)	487.000	487.100	487.200	487.300	487.400	487.500	487.600	487.700	487.800	487.900
BANDA	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390
F(MHz)	488.000	488.100	488.200	488.300	488.400	488.500	488.600	488.700	488.800	488.900
BANDA	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400
F(MHz)	489.000	489.100	489.200	489.300	489.400	489.500	489.600	489.700	489.800	489.900
BANDA	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
F(MHz)	490.000	490.100	490.200	490.300	490.400	490.500	490.600	490.700	490.800	490.900
BANDA	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
F(MHz)	491.000	491.100	491.200	491.300	491.400	491.500	491.600	491.700	491.800	491.900
BANDA	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430
F(MHz)	492.000	492.100	492.200	492.300	492.400	492.500	492.600	492.700	492.800	492.900
BANDA	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440
F(MHz)	493.000	493.100	493.200	493.300	493.400	493.500	493.600	493.700	493.800	493.900
BANDA	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
F(MHz)	494.000	494.100	494.200	494.300	494.400	494.500	494.600	494.700	494.800	494.900
BANDA	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460
F(MHz)	495.000	495.100	495.200	495.300	495.400	495.500	495.600	495.700	495.800	495.900

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

Tabla 1-2-3 Opciones disponibles para el proceso de selección

BANDA	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470
F(MHz)	496.000	496.100	496.200	496.300	496.400	496.500	496.600	496.700	496.800	496.900
BANDA	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
F(MHz)	497.000	497.100	497.200	497.300	497.400	497.500	497.600	497.700	497.800	497.900
BANDA	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490
F(MHz)	498.000	498.100	498.200	498.300	498.400	498.500	498.600	498.700	498.800	498.900
BANDA	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500
F(MHz)	499.000	499.100	499.200	499.300	499.400	499.500	499.600	499.700	499.800	499.900
BANDA	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
F(MHz)	500.000	500.100	500.200	500.300	500.400	500.500	500.600	500.700	500.800	500.900
BANDA	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520
F(MHz)	501.000	501.100	501.200	501.300	501.400	501.500	501.600	501.700	501.800	501.900
BANDA	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530
F(MHz)	502.000	502.100	502.200	502.300	502.400	502.500	502.600	502.700	502.800	502.900
BANDA	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540
F(MHz)	503.000	503.100	503.200	503.300	503.400	503.500	503.600	503.700	503.800	503.900
BANDA	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
F(MHz)	504.000	504.100	504.200	504.300	504.400	504.500	504.600	504.700	504.800	504.900
BANDA	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560
F(MHz)	505.000	505.100	505.200	505.300	505.400	505.500	505.600	505.700	505.800	505.900
BANDA	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570
F(MHz)	506.000	506.100	506.200	506.300	506.400	506.500	506.600	506.700	506.800	506.900
BANDA	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580
F(MHz)	507.000	507.100	507.200	507.300	507.400	507.500	507.600	507.700	507.800	507.900
BANDA	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590
F(MHz)	508.000	508.100	508.200	508.300	508.400	508.500	508.600	508.700	508.800	508.900
BANDA	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600
F(MHz)	509.000	509.100	509.200	509.300	509.400	509.500	509.600	509.700	509.800	509.900
BANDA	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610
F(MHz)	510.000	510.100	510.200	510.300	510.400	510.500	510.600	510.700	510.800	510.900
BANDA	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620
F(MHz)	511.000	511.100	511.200	511.300	511.400	511.500	511.600	511.700	511.800	511.900
BANDA	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630
F(MHz)	512.000	512.100	512.200	512.300	512.400	512.500	512.600	512.700	512.800	512.900

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

La Tabla 2-3 indica las bandas de frecuencias concesionadas en el rango de 450 MHz a 512 MHz.

Tabla 2-3. Frecuencias concesionadas banda 450 MHz a 512MHz

NOMBRE	NOMBRE SERVICIO	AREA DE OPERACIÓN	FRECUENCIA Tx (MHz)	FRECUENCIA Rx (MHz)
COMPAÑIA DE TRANSPORTES CONDORAZO CIA. LTDA.	VHF, UHF (Radios de dos vías)	COTOPAXI-CHIMBORAZO-TUNGUR	450.1	460.1
TECNOLOGÍA CDMA 450	Telefonía fija y móvil	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	425.5 - 457.475	462.5 - 457.475
TECNOLOGÍA CDMA 450	Telefonía fija y móvil	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	452 - 456.475	462 - 466.475
TECNOLOGÍA CDMA 450	Telefonía fija y móvil	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	450 - 454.8	460 - 464.8
TECNOLOGÍA CDMA 450	Telefonía fija y móvil	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	411.675 - 415.850	421.675 - 425.850
TECNOLOGÍA CDMA 450	Telefonía fija y móvil	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	415.5 - 419.975	425.5 - 429.975
TECNOLOGÍA CDMA 450	Telefonía fija y móvil	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	479 - 483.48	489 - 493.48
TECNOLOGÍA CDMA 450	Telefonía fija y móvil	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	455.23 - 459.99	465.230 - 469.99
TECNOLOGÍA CDMA 450	Telefonía fija y móvil	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	451.310 - 455.730	461.31 - 465.730
COOPERATIVA DE TRANSPORTES DE PASAJEROS EN TAXIS ARCO DE BELLAVISTA	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	482.025	482.025
VELASCO TAMAYO GERMAN GILBERTO	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	482.05	482.05
UNICEPRI UNICOS ESPECIALIZADOS EN GUARDIANIA PRIVADA CIA.LTDA.	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	482.075	482.075
COMPAÑIA DE TAXIS EJECUTIVOS PEDRETAXI S.A.	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	482.2	482.2
COOPERATIVA DE TAXIS MACAJI	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	482.25	482.25
SERVI TRANS NEVADO EMPRES NEVAEMPRES S.A	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	482.3	482.3
L&M DE SEGURIDAD PRIVADA CIA. LTDA.	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	488.175	494.175
MENDOZA LLERENA ANA PATRICIA	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	488.3	494.3
ANDESEG ANDES SEGURIDAD CIA. LTDA.	VHF, UHF (Radios de dos vías)	RIOBAMBA Y ALREDEDORES	488.7625	494.7625

Fuente: ARCOTEL.

3.12. Instrumentos para procesar datos recopilados

Para el procesamiento de los datos recopilados se trabajó con hojas procesadoras de datos.

De las mediciones obtenidas se definió SNR de 39 dB μ V (-68 dBm), y a partir de este dato se define el criterio de evaluación, discriminando entre un canal ocupado y uno libre, tal como lo muestra la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Codificación de la ocupación del canal

Ocupación del canal	Valor
Ocupado	1
Libre	0

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

Adicionalmente, es de importancia recalcar que si este criterio arroja un resultado de canal ocupado; este es descartado de forma inmediata.

Con el criterio descrito se tiene un total de 120180 bandas de frecuencias disponibles para su optimización.

Para el cálculo del porcentaje de ocupación de cada canal durante un tiempo de observación se realizó con la siguiente ecuación:

$$\%_{ocupación\ por\ canal} = \frac{N_1}{N_T} * 100$$

Donde N_T es el número total de muestras en un canal específico y N_1 es el número de muestras con ocupación espectral en un canal específico.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Gráfico 1-4 muestra la intensidad de campo de las frecuencias del rango de 450MHz a 512MHz, en el cual se puede identificar que intensidades por debajo de 39 dB μ V/m son ruido y que para la medición que se realiza a las 18:45:06 solo existen 3 bandas de frecuencia que están siendo utilizadas.

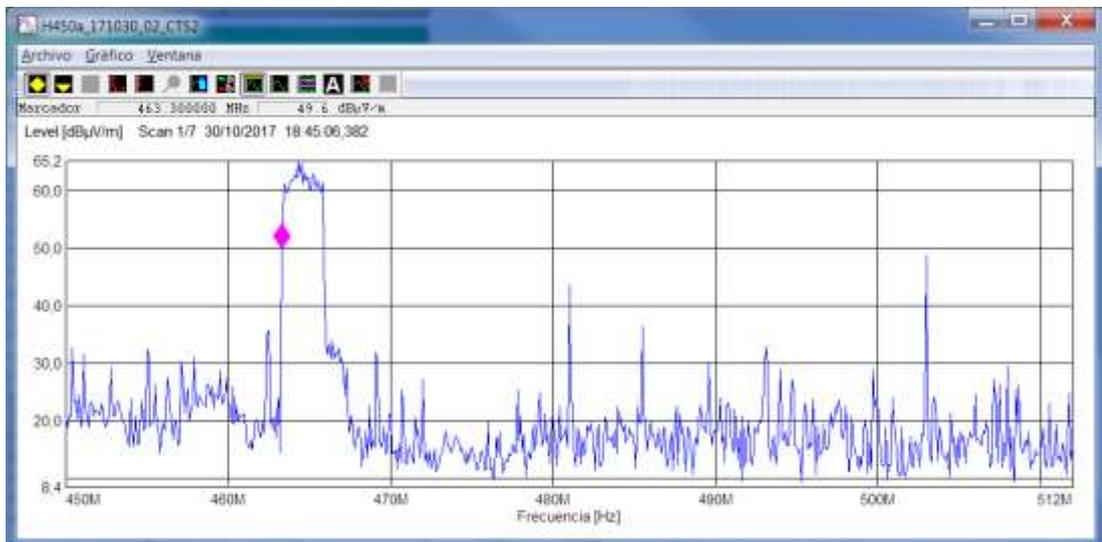


Gráfico 1-4 Medición de frecuencias de 450MHz a 512MHz el 30/10/2017 a las 18:45:06
Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

El Gráfico 2-4 muestra también la intensidad de campo de las frecuencias del rango de 450 MHz a 512MHz; y, de igual forma se identifica que intensidades por debajo de 39 dB μ V/m son ruido. Esta medición se realizó el mismo 30 de octubre del 2017 a las a las 20:00:06 y asimismo solo existen 3 bandas de frecuencia que están siendo utilizadas.

Sí se realiza la comparación entre el Gráfico 1-4 y el Gráfico 2-4 se observa el mismo comportamiento de las frecuencias.

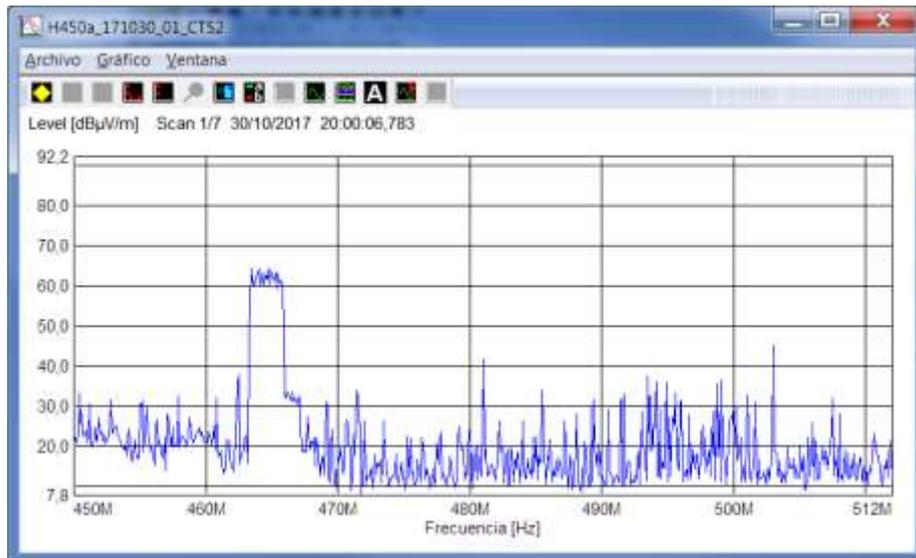


Gráfico 2-4 Medición de frecuencias de 450MHz a 512MHz el 30/10/2017 a las 20:00:06

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

En el Gráfico 3-4 se puede observar que en la medición realizada el 30/10/2017 desde las 20:00:06 hasta las 20:10:07, solo la banda de 465 MHz presenta una intensidad de campo superior a 39 dBµV/m; indicando que de todo el rango de 450 MHz a 512 MHz solo una banda de frecuencia se encuentra constantemente ocupada.

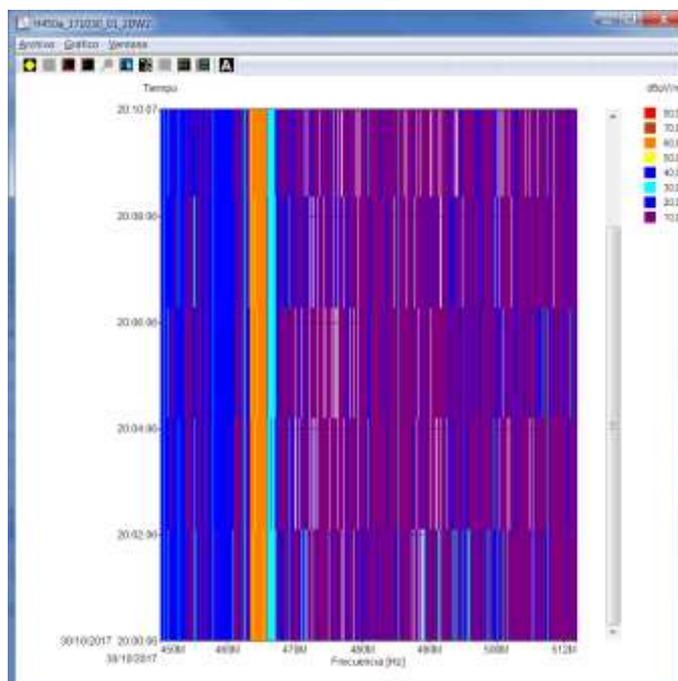


Gráfico 3-4 Medición de frecuencias de 450MHz a 512MHz el 30/10/2017 desde las 20:00:06 hasta las 20:10:07

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

En el rango de 450 MHz a 460 MHz, se pudo observar que en 450.86 MHz la frecuencia estuvo ocupada con una intensidad de campo de 81.9 dB μ V/m, tal como lo muestra el Gráfico 4-4.

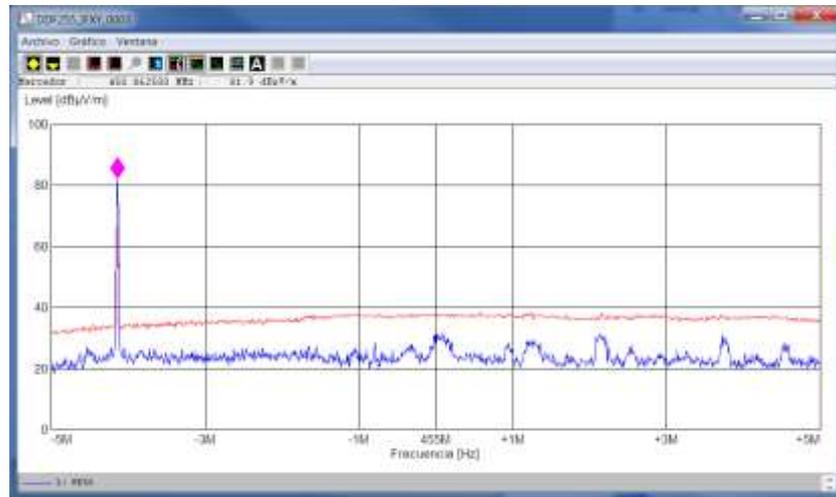


Gráfico 4-4 Medición de banda de 450 MHz a 460 MHz
Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

De esta observación se realizó una medición más específica para identificar si pertenece o no a una banda licenciada para lo cual se volvió a configurar los parámetros de medición tal como lo muestra el Gráfico 5-4, y su resultado se observa en el Gráfico 6-4 en el cual se observa que la frecuencia 450.86 MHz se encuentra ocupada constantemente con una intensidad de campo de 75.8 dB μ V/m y que no pertenece al grupo de frecuencias licenciadas que fueron descritas en la Tabla 2-3.



Gráfico 5-4 Configuración estación SACER para medir la banda 450.86 MHz
Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

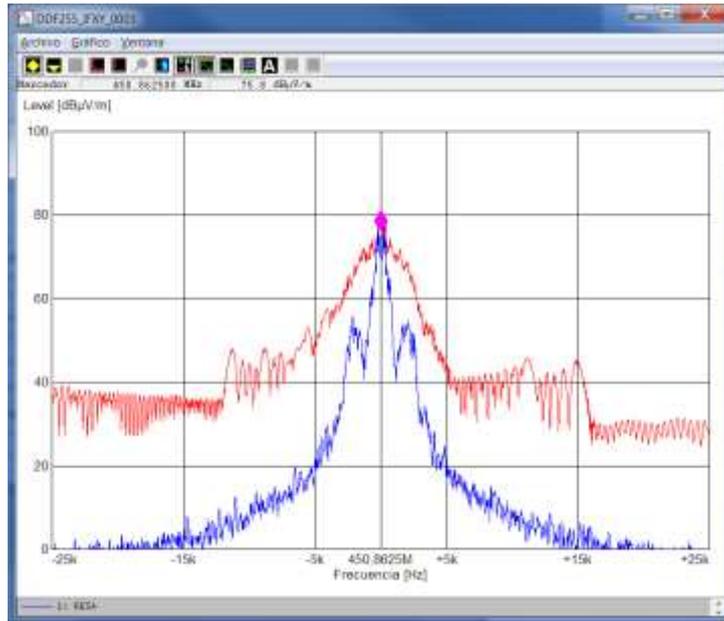


Gráfico 6-4 Resultado medición banda 450.86 MHz
 Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

El Gráfico 7-4 muestra el resultado de medición de la banda 460 MHz a 470 MHz en la cual se observa que a partir de la banda 463 MHz hasta 465.5 MHz (2.5 MHz de ancho de banda) las frecuencias se encuentran constantemente ocupadas; esto debido a que pertenecen al canal downlink de la tecnología CDMA 450.

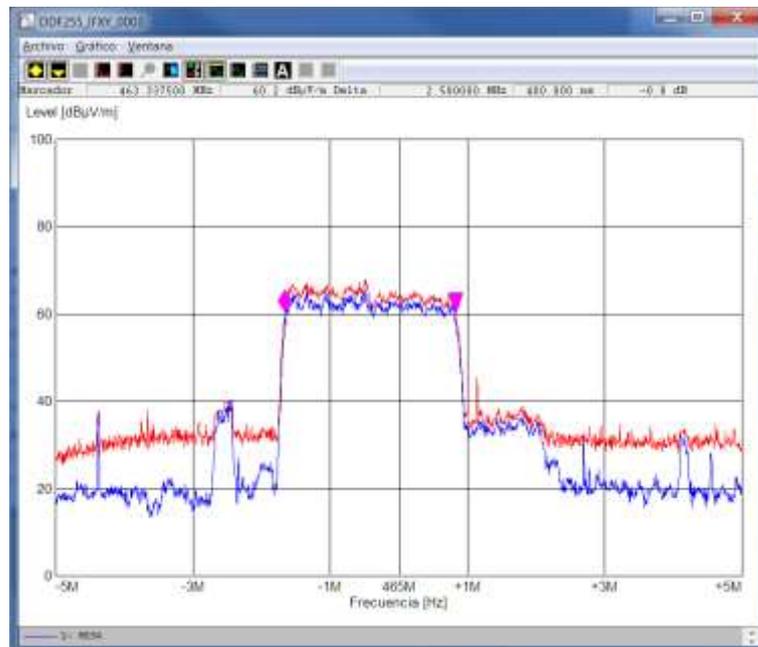


Gráfico 7-4 Resultado medición banda 460 MHz a 470 MHz
 Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

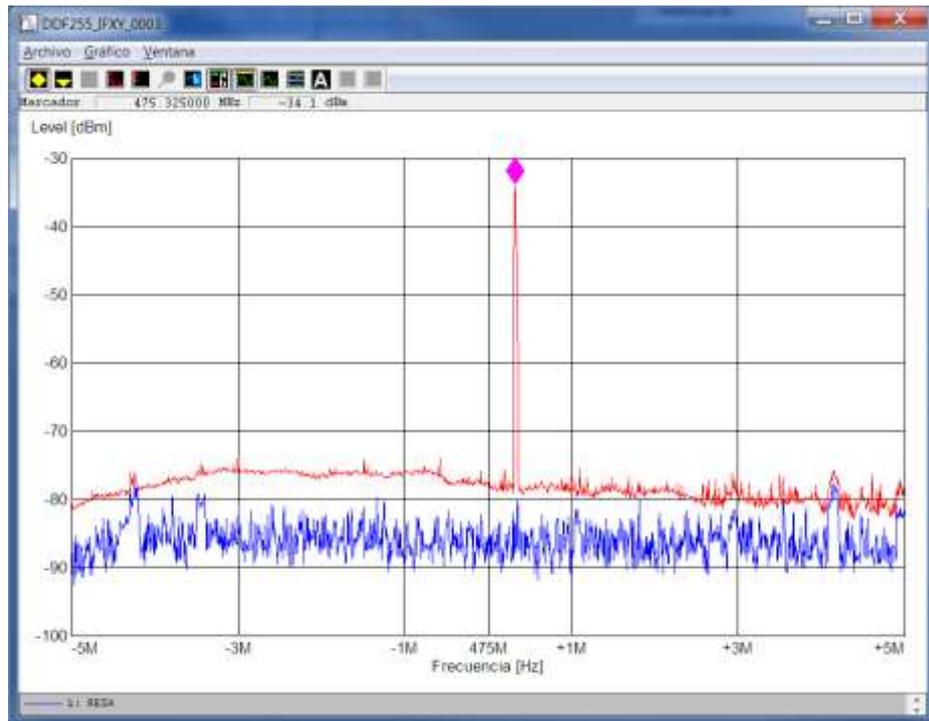


Gráfico 8-4 Resultado medición banda 470 MHz a 480 MHz
 Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

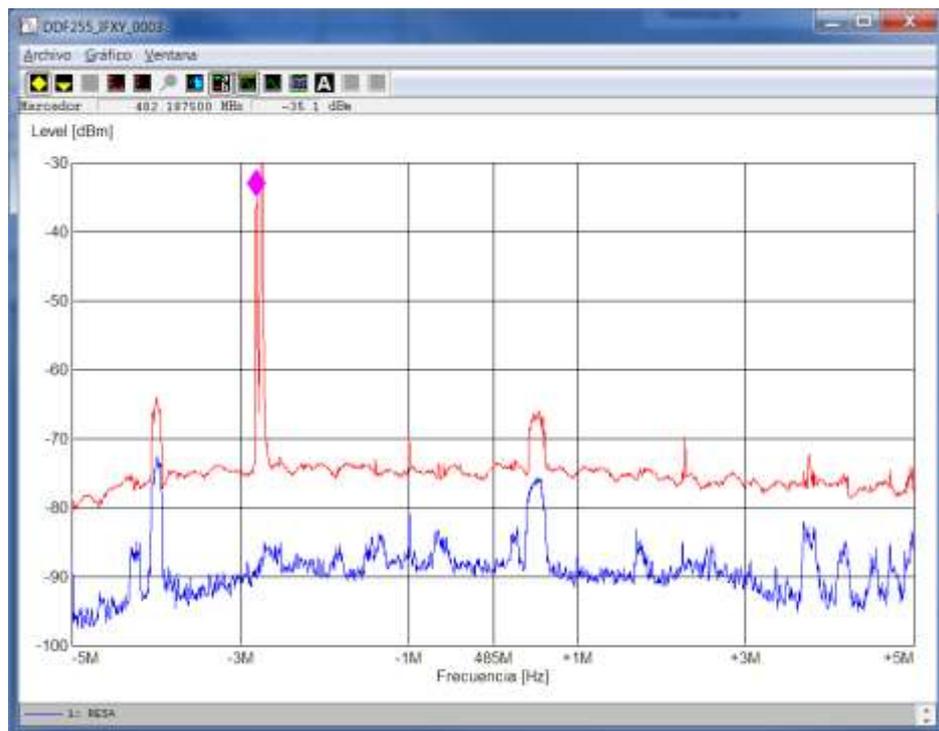


Gráfico 9-4 Resultado medición banda 480 MHz a 490 MHz
 Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

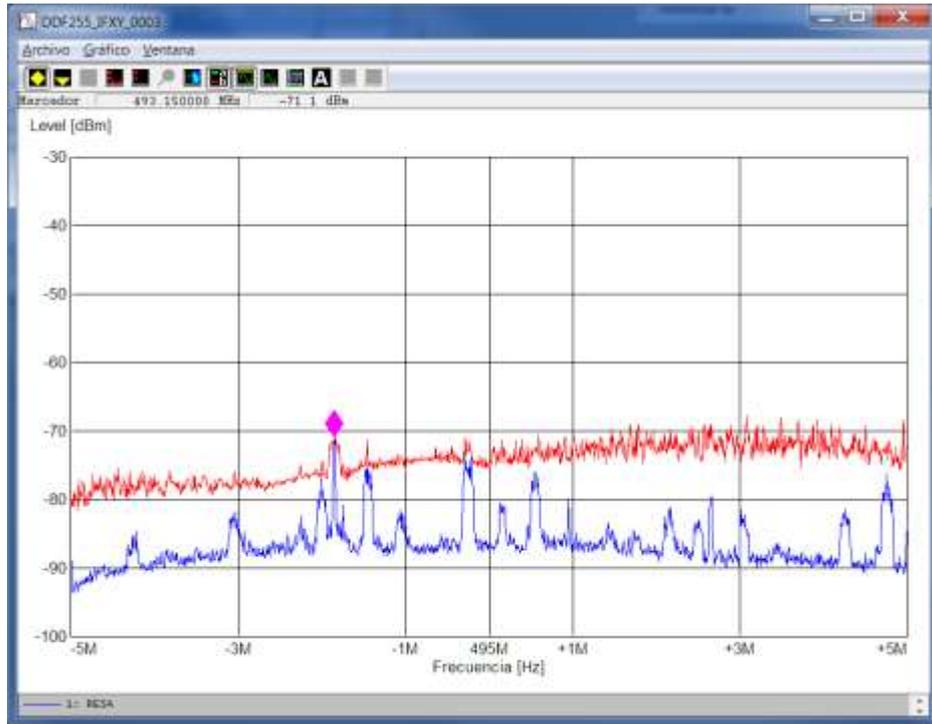


Gráfico 10-4 Resultado medición banda 480 MHz a 490 MHz
 Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

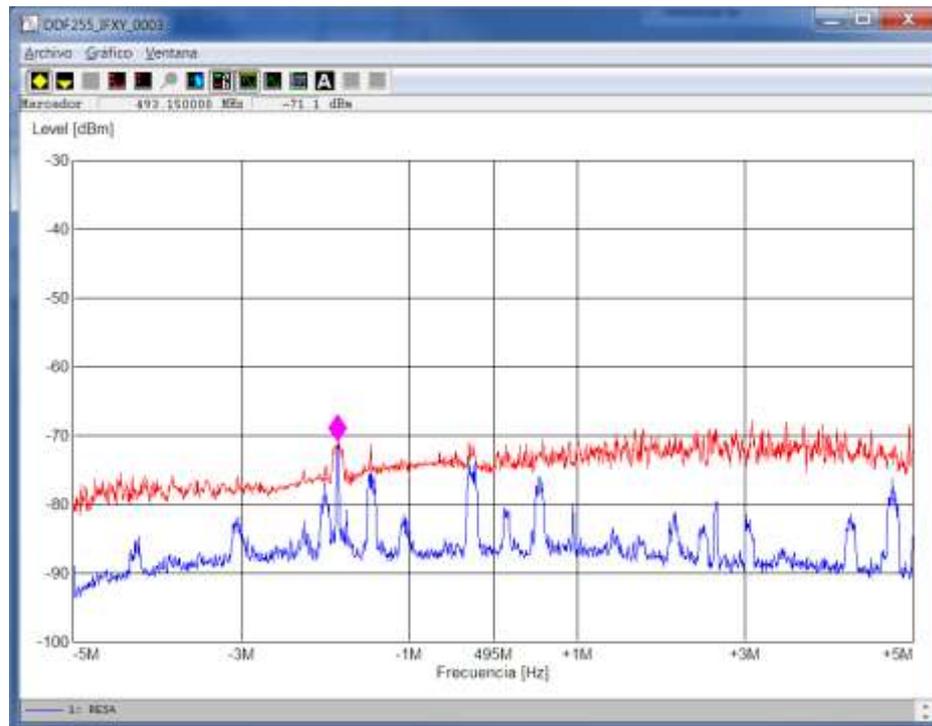


Gráfico 11-4 Resultado medición banda 490 MHz a 500 MHz
 Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

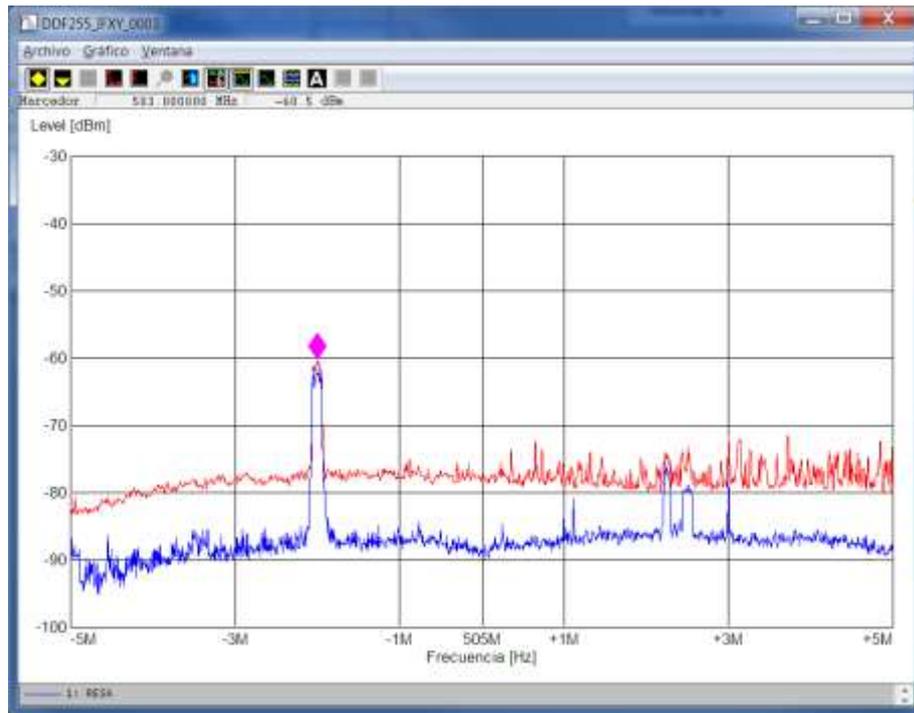


Gráfico 12-4 Resultado medición banda 500 MHz a 510 MHz
 Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

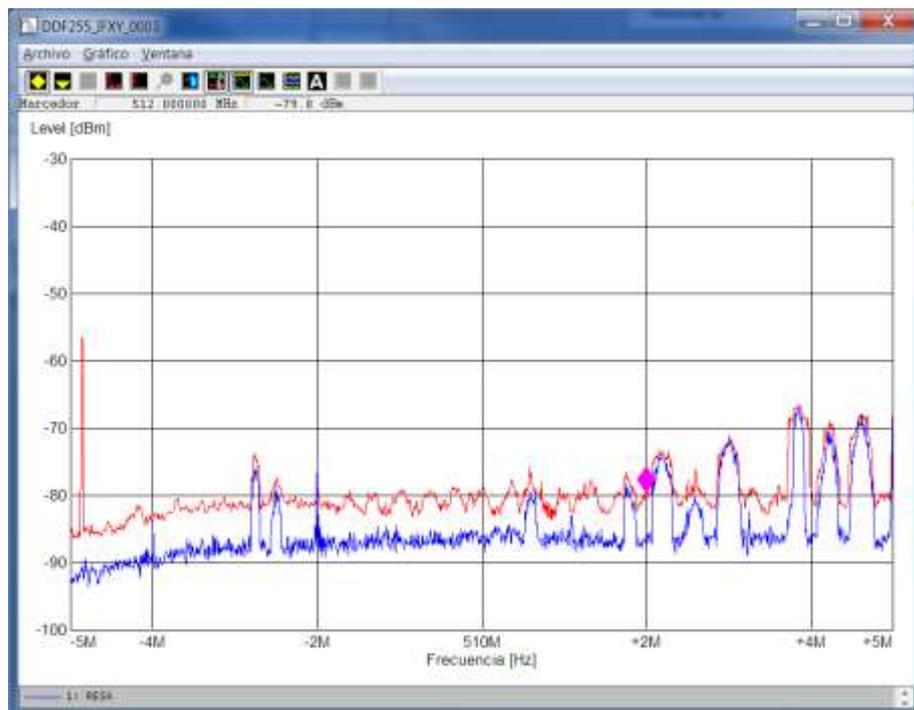


Gráfico 13-4 Resultado medición banda 510 MHz a 520 MHz
 Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

La Tabla 1-4 y el Gráfico 14-4 muestra el porcentaje de ocupación de las 621 bandas de frecuencia del rango de 450 MHz a 512 MHz.

Tabla 1-4 Porcentaje de ocupación de 450 MHz a 512 MHz

NUMERO	BANDA	% OCUP	LICENCIADA
1	450	0	NO
1	450.1	0.48	TRANSPORTES CONDORAZO Tx
23	450.2 - 452.1	0	NO
29	452.5 - 455.3	0	CDMA UPLINK
1	455.4	0.48	CDMA UPLINK
1	455.5	0.95	CDMA UPLINK
5	455.6 - 456	0	CDMA UPLINK
1	456.1	0.48	CDMA UPLINK
14	456.2 - 457.1	0	CDMA UPLINK
25	457.6 - 460	0	NO
1	460.1	0	TRANSPORTES CONDORAZO Rx
23	460.2 - 462.4	0	NO
1	462.5	100	CDMA DOWNLINK
1	462.6	100	CDMA DOWNLINK
6	462.7-463.2	100	CDMA DOWNLINK
27	463.3 - 465.9	100	CDMA DOWNLINK
16	466 - 467.5	100	CDMA DOWNLINK
46	467.6 - 472.1	0	NO
1	472.2	0.48	NO
49	472.3 - 477.1	0	NO
1	477.2	0.48	NO
37	477.3 - 480.9	0	NO
1	481	54.29	NO
9	481.1 - 481.9	0	NO
1	482	0	TAXIS BELLAVISTA, VELASCO TAMAYO, UNICEPRI
1	482.1	0	NO
2	482.2 - 482.3	11.67	PEDRETAXI, TAXI MACAJI , NEVAEMPRES
57	482.4 - 488	0	NO
1	488.1	0.48	L&M
1	488.2	0	NO
1	488.3	0	ANA MENDOZA
3	488.4 - 488.6	0	NO
1	488.7	0	ANDESEG
43	488.8 - 493	0	NO
2	493.1 - 493.2	0.48	NO
8	493.3 - 494	0	NO
1	494.1	0	L&M
1	44.2	0	NO
1	494.3	0	ANA MENDOZA
3	494.4 - 494.6	0	NO
1	494.7	0	ANDESEG
33	494.8 - 498	0	NO
1	498.1	2.38	NO
10	498.2 - 499.1	0	NO
1	499.2	0.71	NO
37	499.3 - 502.9	0	NO
1	503	99.52	NO
12	503.1 - 504.2	0	NO
1	504.3	0.48	NO
77	504.4 - 512	0	NO

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

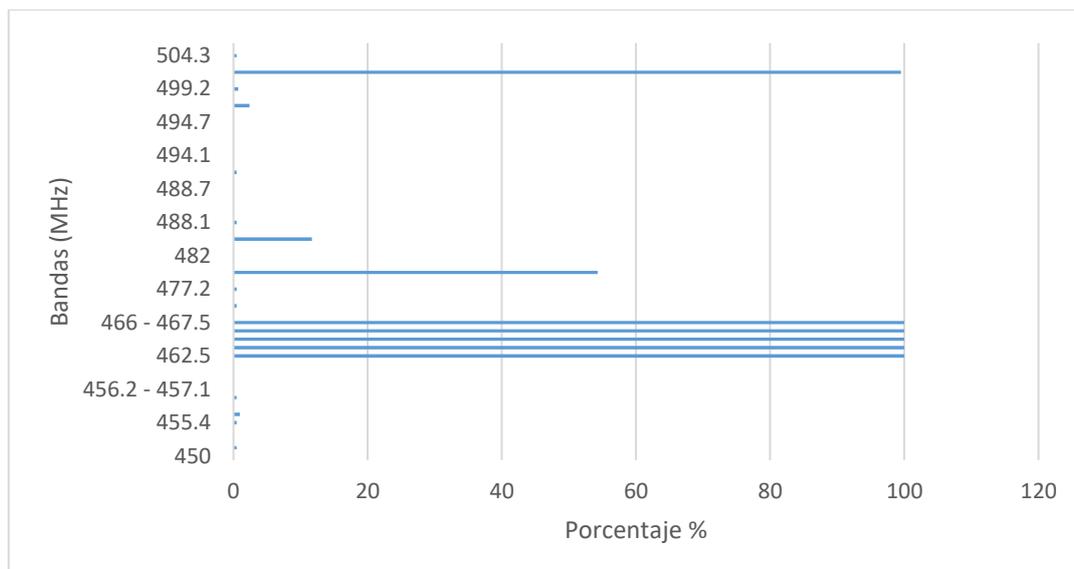


Gráfico 14-4 Porcentajes de utilización en banda de 450 a 512 MHz
Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

En el Gráfico 14-4 es posible observar que muy pocas portadoras están ocupadas al 100% y que la mayoría de ellas no llega a tener un porcentaje de ocupación mayor del 20% evidenciando así la subutilización de estas portadoras donde algunas de ellas están concesionadas.

Del resultado de cálculo de porcentaje de ocupación indicado en la Tabla 1-4, se tiene la siguiente información.

Tabla 2-4 Resultados mediciones banda 450 - 512 MHz

Nº BANDAS	RESULTADOS
621	FRECUENCIAS MEDIDAS
554	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 0%
9	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 0.48%
1	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 0.71%
1	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 0.95%
1	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 2.38%
0	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 5.24%
2	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 11.67%
1	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 54.29%
1	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 99.52%
51	FRECUENCIAS OCUPACIÓN 100%
508	BANDAS DE FRECUENCIAS NO CONCESIONADAS
113	BANDAS DE FRECUENCIAS CONCESIONADAS

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

De la Tabla 2-4 se obtiene que el 89.2% de las portadoras de frecuencias medidas no están siendo ocupadas; y que apenas el 10.8% de las 621 portadoras medidas presentan algún porcentaje de utilización. Así también se conoce que en el rango de 450 – 512 MHz existen 508 portadoras de frecuencias que no están concesionadas correspondiendo al 81.8%, y 113 portadoras de frecuencia legalmente concesionadas correspondientes al 18.2%.

Walpole (1999) en su libro de Probabilidad y Estadística para Ingenieros proporciona la fórmula para determinar el intervalo de confianza de una muestra determinada.

$$\hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}} < p < \hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}}$$

Donde \hat{p} es la proporción de bandas desocupadas, \hat{q} es el complemento de \hat{p} ; o lo que es lo mismo la proporción de bandas ocupadas, α es el nivel de significancia, $(1 - \alpha) * 100$ es el porcentaje de confianza, y n es la muestra.

Para este estudio $\hat{p} = 0.892$, $\hat{q} = 0.108$, $n = 621$ portadoras de frecuencias evaluadas, $\alpha = 0.05$ que indica una confianza del $(1 - \alpha) * 100 = 95\%$.

$$\begin{aligned} & \hat{p} \pm Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}\hat{q}}{n}} \\ & 0.892 \pm Z_{0.025} \sqrt{\frac{0.892 (0.108)}{621}} \\ & 0.892 \pm 1.96 \sqrt{\frac{0.892 (0.108)}{621}} \\ & 0.892 \pm 1.96(0.012) \\ & 0.892 \pm 0.024 \\ & 0.868 < p < 0.916 \end{aligned}$$

Al realizar los cálculos correspondientes se obtiene que con una confiabilidad del 95% la proporción de bandas de frecuencias desocupadas está entre el 87% y 92%; con lo cual se demuestra la hipótesis que en la banda UHF (450 – 512 MHz) en la ciudad de Riobamba es factible la optimización de la banda en mención por medio de radio cognitiva, ya que existe un alto porcentaje de bandas de frecuencias desocupadas con una asignación de frecuencias de forma estática.

CAPITULO V

5. PROPUESTA

En la banda UHF de 450 a 512 MHz la asignación de uso de espectro es de forma estática y fueron atribuidos a servicios fijo, fijo móvil, comunicaciones satelitales y radio de dos vías.

En la realización de este estudio se determinó un bajo porcentaje de ocupación del espectro actualmente asignado a estos servicios lo cual sustenta la necesidad de optimizar el uso de espectro temporalmente inutilizado, abriendo la posibilidad de reutilización de espectro para varias aplicaciones de telecomunicaciones no solo en la ciudad de Riobamba, sino también en sus cantones.

A continuación, se detalla el plan de reutilización de frecuencias que permite la factibilidad de uso de radio cognitiva en la optimización de la banda en estudio.

1. Analizar la ocupación del espectro para determinar portadoras de frecuencia subutilizadas.

En el capítulo 4 se determinó que entre el 90% y 95% de las portadoras de la banda de 450 a 512 MHz se encuentran desocupadas. La Tabla 5-1 contiene las 569 portadoras de frecuencias que pueden ser reutilizadas por medio de esta tecnología en la banda de frecuencias en estudio.

Tabla 1-5 Portadoras de frecuencia para optimización

N° Portadora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F(MHz)	450.0	450.1	450.2	450.3	450.4	450.5	450.6	450.7	450.8	450.9
N° Portadora	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F(MHz)	451.0	451.1	451.2	451.3	451.4	451.5	451.6	451.7	451.8	451.9
N° Portadora	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
F(MHz)	452.0	452.1	452.2	452.3	452.4	452.5	452.6	452.7	452.8	452.9
N° Portadora	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
F(MHz)	453.0	453.1	453.2	453.3	453.4	453.5	453.6	453.7	453.8	453.9
N° Portadora	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
F(MHz)	454.0	454.1	454.2	454.3	454.4	454.5	454.6	454.7	454.8	454.9
N° Portadora	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
F(MHz)	455.0	455.1	455.2	455.3	455.4	455.5	455.6	455.7	455.8	455.9
N° Portadora	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
F(MHz)	456.0	456.1	456.2	456.3	456.4	456.5	456.6	456.7	456.8	456.9

N° Portadora	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
F(MHz)	457.0	457.1	457.2	457.3	457.4	457.5	457.6	457.7	457.8	457.9
N° Portadora	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
F(MHz)	458.0	458.1	458.2	458.3	458.4	458.5	458.6	458.7	458.8	458.9
N° Portadora	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
F(MHz)	459.0	459.1	459.2	459.3	459.4	459.5	459.6	459.7	459.8	459.9
N° Portadora	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
F(MHz)	460.0	460.1	460.2	460.3	460.4	460.5	460.6	460.7	460.8	460.9
N° Portadora	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
F(MHz)	461.0	461.1	461.2	461.3	461.4	461.5	461.6	461.7	461.8	461.9
N° Portadora	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
F(MHz)	462.0	462.1	462.2	462.3	462.4	462.6	462.7	462.8	462.9	463.0
N° Portadora	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
F(MHz)	463.0	463.1	463.2	463.3	463.4	463.5	463.6	463.7	463.8	463.9
N° Portadora	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
F(MHz)	464.0	464.1	464.2	464.3	464.4	464.5	464.6	464.7	464.8	464.9
N° Portadora	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
F(MHz)	465.0	465.1	465.2	465.3	465.4	465.5	465.6	465.7	465.8	465.9
N° Portadora	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
F(MHz)	466.0	466.1	466.2	466.3	466.4	466.5	466.6	466.7	466.8	466.9
N° Portadora	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
F(MHz)	467.0	467.1	467.2	467.3	467.4	467.5	467.6	467.7	467.8	467.9
N° Portadora	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
F(MHz)	468.0	468.1	468.2	468.3	468.4	468.5	468.6	468.7	468.8	468.9
N° Portadora	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
F(MHz)	469.0	469.1	469.2	469.3	469.4	469.5	469.6	469.7	469.8	469.9
N° Portadora	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
F(MHz)	470.0	470.1	470.2	470.3	470.4	470.5	470.6	470.7	470.8	470.9
N° Portadora	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
F(MHz)	471.0	471.1	471.2	471.3	471.4	471.5	471.6	471.7	471.8	471.9
N° Portadora	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230
F(MHz)	472.0	472.1	472.2	472.3	472.4	472.5	472.6	472.7	472.8	472.9
N° Portadora	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
F(MHz)	473.0	473.1	473.2	473.3	473.4	473.5	473.6	473.7	473.8	473.9
N° Portadora	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
F(MHz)	474.0	474.1	474.2	474.3	474.4	474.5	474.6	474.7	474.8	474.9
N° Portadora	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260
F(MHz)	475.0	475.1	475.2	475.3	475.4	475.5	475.6	475.7	475.8	475.9
N° Portadora	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270
F(MHz)	476.0	476.1	476.2	476.3	476.4	476.5	476.6	476.7	476.8	476.9
N° Portadora	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280
F(MHz)	477.0	477.1	477.2	477.3	477.4	477.5	477.6	477.7	477.8	477.9
N° Portadora	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290
F(MHz)	478.0	478.1	478.2	478.3	478.4	478.5	478.6	478.7	478.8	478.9
N° Portadora	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
F(MHz)	479.0	479.1	479.2	479.3	479.4	479.5	479.6	479.7	479.8	479.9

F(MHz)	484.1	484.2	484.3	484.4	484.5	484.6	484.7	484.8	484.9	485.0
N° Portadora	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310
F(MHz)	485.1	485.2	485.3	485.4	485.5	485.6	485.7	485.8	485.9	486.0
N° Portadora	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320
F(MHz)	486.1	486.2	486.3	486.4	486.5	486.6	486.7	486.8	486.9	487.0
N° Portadora	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330
F(MHz)	487.1	487.2	487.3	487.4	487.5	487.6	487.7	487.8	487.9	488.0
N° Portadora	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340
F(MHz)	488.1	488.2	488.3	488.4	488.5	488.6	488.7	488.8	488.9	489.0
N° Portadora	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350
F(MHz)	489.1	489.2	489.3	489.4	489.5	489.6	489.7	489.8	489.9	490.0
N° Portadora	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
F(MHz)	490.1	490.2	490.3	490.4	490.5	490.6	490.7	490.8	490.9	491.0
N° Portadora	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370
F(MHz)	491.1	491.2	491.3	491.4	491.5	491.6	491.7	491.8	491.9	492.0
N° Portadora	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380
F(MHz)	492.1	492.2	492.3	492.4	492.5	492.6	492.7	492.8	492.9	493.0
N° Portadora	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390
F(MHz)	493.1	493.2	493.3	493.4	493.5	493.6	493.7	493.8	493.9	494.0
N° Portadora	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400
F(MHz)	494.1	494.2	494.3	494.4	494.5	494.6	494.7	494.8	494.9	495.0
N° Portadora	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410
F(MHz)	495.1	495.2	495.3	495.4	495.5	495.6	495.7	495.8	495.9	496.0
N° Portadora	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
F(MHz)	496.1	496.2	496.3	496.4	496.5	496.6	496.7	496.8	496.9	497.0
N° Portadora	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430
F(MHz)	497.1	497.2	497.3	497.4	497.5	497.6	497.7	497.8	497.9	498.0
N° Portadora	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440
F(MHz)	498.1	498.2	498.3	498.4	498.5	498.6	498.7	498.8	498.9	499.0
N° Portadora	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
F(MHz)	499.1	499.2	499.3	499.4	499.5	499.6	499.7	499.8	499.9	500.0
N° Portadora	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460
F(MHz)	500.1	500.2	500.3	500.4	500.5	500.6	500.7	500.8	500.9	501.0
N° Portadora	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470
F(MHz)	501.1	501.2	501.3	501.4	501.5	501.6	501.7	501.8	501.9	502.0
N° Portadora	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480
F(MHz)	502.1	502.2	502.3	502.4	502.5	502.6	502.7	502.8	502.9	503.1
N° Portadora	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490
F(MHz)	503.2	503.3	503.4	503.5	503.6	503.7	503.8	503.9	504.0	504.1
N° Portadora	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500
F(MHz)	504.2	504.3	504.4	504.5	504.6	504.7	504.8	504.9	505.0	505.1
N° Portadora	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510
F(MHz)	505.2	505.3	505.4	505.5	505.6	505.7	505.8	505.9	506.0	506.1
N° Portadora	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520
F(MHz)	506.2	506.3	506.4	506.5	506.6	506.7	506.8	506.9	507.0	507.1

N° Portadora	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530
F(MHz)	507.2	507.3	507.4	507.5	507.6	507.7	507.8	507.9	508.0	508.1
N° Portadora	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540
F(MHz)	508.2	508.3	508.4	508.5	508.6	508.7	508.8	508.9	509.0	509.1
N° Portadora	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
F(MHz)	509.2	509.3	509.4	509.5	509.6	509.7	509.8	509.9	510.0	510.1
N° Portadora	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560
F(MHz)	510.2	510.3	510.4	510.5	510.6	510.7	510.8	510.9	511.0	511.1
N° Portadora	561	562	563	564	565	566	567	568	569	
F(MHz)	511.2	511.3	511.4	511.5	511.6	511.7	511.8	511.9	512.0	

Realizado por: Jacqueline Ponce, 2018

2. Obtener los permisos necesarios por parte del Organismo de Control de Telecomunicaciones del Estado.

A la presente fecha no existe una normativa vigente que permita doble asignación de títulos habilitantes para la operación de frecuencias; por lo cual, para que la implementación de tecnología de radio cognitiva no requiera permisos de funcionamiento debe regirse a la normativa de potencia de transmisión impuesta por el Organismo de Control del Estado que especifica que la potencia máxima de transmisión establecida en exteriores no debe superar los 100mW y para interiores debe ser menor a 300 mW.

En el caso que se requiera utilizar altas potencias de transmisión el Organismo de Control del Estado puede otorgar un permiso temporal de funcionamiento tanto para entidades públicas como privadas, pero solo para fines investigativos.

Del estudio se conoce únicamente reportes y estándares de organismos internacionales de telecomunicaciones que emiten recomendaciones para el uso de tecnología de radio cognitiva. El estado debería trabajar en una normativa que permita el despliegue de nuevas tecnologías que viabilizan la optimización del espectro radioeléctrico, como lo radio cognitiva

3. Definir el tipo de servicio que se desea ofertar

Radio cognitiva propone algunos escenarios de uso en los cuales ya se prevee aspectos regulatorios, consideraciones económicas, modelos de negocio y oportunidades tecnológicas. Adicionalmente, organismos internacionales como la ITU, ETSI y la IEEE han publicado varias recomendaciones para la aplicación de radio cognitiva en los escenarios aquí citados.

- Escenarios de espectro dedicado (bandas licenciadas)
 - Multirradio definida por software en dispositivos móviles (usuario final)

- Selección de tecnología de acceso a radio en redes inalámbricas compuestas
- Optimización en el uso de recursos de radio en redes inalámbricas compuestas
- Acceso cooperativo al espectro entre operadores
- Escenarios de espectro compartido (no licenciado)
- Escenarios oportunistas
- Otros escenarios:
 - Femtoceldas cognitivas
 - Redes de radio cognitiva vehicular

4. Elegir una arquitectura de red de acuerdo con el tipo de servicio que se desea ofertar.

El Gráfico 5-1 y Gráfico 5-2 muestra respectivamente las arquitecturas de radio cognitiva propuestas para redes existentes; sean estas de gestión jerárquica o centralizada; o a su vez redes ad-hoc o redes mesh.

En el caso de redes jerárquicas o centralizadas el sistema de gestión de red se mejora con funciones cognitivas (C-NMS Cognitive Network Management System) para controlar la reconfiguración de estaciones de radio bases y dispositivos móviles. En el caso de redes ad-hoc o redes mesh el sistema de gestión de red se realiza de forma distribuida con colaboración entre los dispositivos y las redes móviles, siendo el habilitador clave para la colaboración cognitiva la Red de Control Cognitivo (CCN Cognitive Control Network).

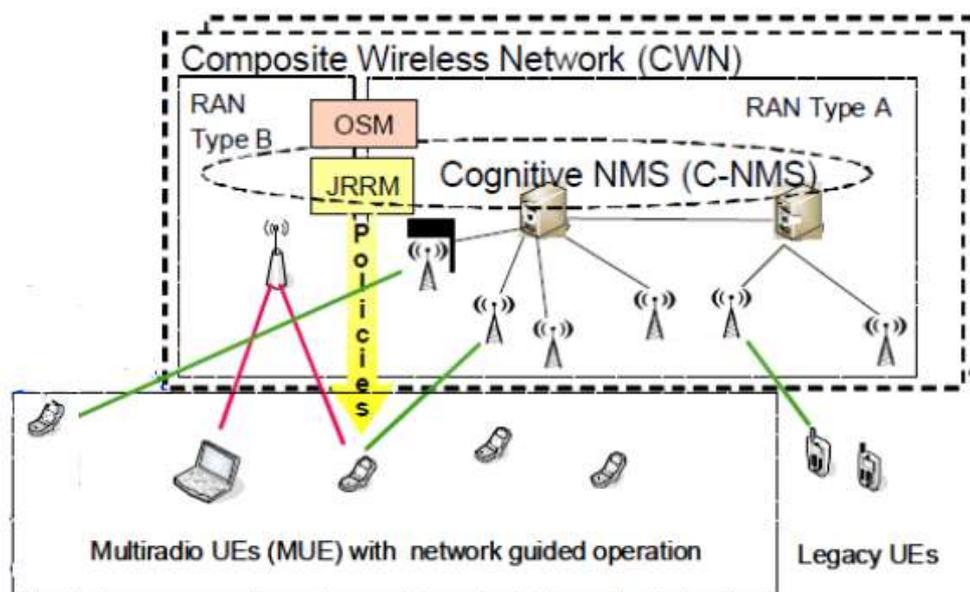


Figura 1-5 Red Cognitiva Wireless
Fuente: ETSI TR 102.802 (2010)

Las portadoras de frecuencia detalladas en la Tabla 1-5 pertenecientes a la banda de estudio de 450 a 512 MHz, en la cual se ofertan servicio fijo, fijo móvil y satelital pueden ser optimizadas con tecnología de radio cognitiva ya que existe una infraestructura desplegada en la cual sus radio bases pueden ser mejoradas con funcionalidades cognitivas; convirtiéndose así en nodos acceso que hacen funciones de estaciones bases reconfigurables (R-RBS) las cuales acogen a nodos usuario (MUE) que son dispositivos de usuario equipados con tecnología de radio definida por software.

Las MUE y las R-RBS formarían una Red Wireless Cognitiva (CWN) las cuales utilizarían frecuencias de radio de manera ágil, como lo muestra la Figura 1-5. En la CWN algunas redes de datos pueden ser cognitivas y otras redes de radio pueden usar tecnología de radio convencional y continuar operando en sus propias bandas de frecuencias nativas.

Los escenarios de radio cognitiva que se pueden implementar con CWN son los escenarios de espectro dedicado, las femtoceldas cognitivas y las redes de radio cognitiva vehicular.

Otro tipo de infraestructura sugerido para la optimización de las portadoras de frecuencia detalladas en la Tabla 1-5 es la Red Cognitiva Mesh (CMN), tal como lo muestra la Figura 2-5 la cual estaría compuesta de MUE que utilizan redes de corto alcance para crear entre sí redes ad-hoc y mesh que permitan proporcionar diferentes tipos de servicios de red.

Las CMN ofrecen por su capacidad reconfigurable y cognitiva flexibilidad para tener una gran variedad de MUE diferentes conectadas a esta red para proporcionar servicios de telecomunicaciones tal como se muestra en la Figura 2-5.

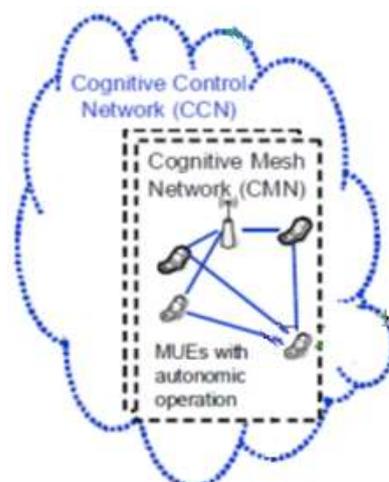


Figura 2-5 Red Cognitiva Mesh
Fuente: ETSI TR 102.802 (2010)

En una misma área puede haber múltiples CMN activos y cada uno de ellos pueden servir a diferentes grupos de usuarios finales y servicios. El inter funcionamiento de estas redes se realiza de forma descentralizada mediante el uso separado de redes de control cognitivo (CCN) para compartir información entre CMN que operan en una misma área geográfica; esto debido a que las CMN utilizan el acceso oportuno al espectro de manera colaborativa y requieren coordinar el uso de frecuencias de radio.

Los escenarios de radio cognitiva que se pueden implementar con CMN son los escenarios de espectro compartido y los escenarios oportunistas.

Las CMN y CWN corresponden a dos dominios separados en términos de frecuencias de radio y tecnologías de acceso de radio (RAT). En las CWN cada MUE puede conectarse a diferentes CWN mediante la red apropiada por ejemplo GSM, UMTS, LTE; y en las CMN los MUE actúan como retransmisores solo para otros MUE que operan en la misma CMN de una misma área geográfica.

El tipo de red que se utilice dependerá mucho de los servicios que se deseen ofertar en la banda de red.

5. Realizar un presupuesto de costos de implementación de red cognitiva.
6. Implementar la red propuesta.
7. Realizar verificación de posibles errores.

CONCLUSIONES:

- La técnica de detección de energía se utilizó para la evaluación de la banda UHF (450 – 512 MHz) en dos puntos de la ciudad de Riobamba durante 12 días mediante la utilización de estaciones remotas y móviles del organismo de control del espectro radioeléctrico, lo que permitió identificar porcentajes de utilización del espectro que sustentan la optimización de este por medio de radio cognitiva.
- Los datos obtenidos en la medición del espectro radioeléctrico se consolidaron y analizaron mediante procesadores de datos, lo que permitió observar la subutilización del espectro radioeléctrico; esto es, el porcentaje de utilización de usuarios primarios es de apenas 10.8%; lo cual sustenta la necesidad de implementación de radio cognitiva que permita ofertar servicio a usuarios sin licencia, optimizando así la utilización del espectro.
- El estudio y análisis de ocupación del espectro radioeléctrico permiten al Organismo de Regulación de Telecomunicaciones del Estado ARCOTEL, definir la utilización de nuevos servicios en bandas que presentan baja ocupación como por ejemplo la asignación de los canales 14 y 15 para televisión digital terrestre en la banda de 470 a 482 MHz, realizada mediante resolución 12-09-ARCOTEL-2017.
- Actualmente no existe normativa legal vigente emitida por organismos de control de telecomunicaciones del Estado. El uso de radio cognitiva y los escenarios propuestos solo se rigen bajo la normativa de no sobrepasar los niveles máximos de potencia de transmisión que puedan afectar a otras comunicaciones; o que la utilización de CRS sea operado por el mismo propietario de la banda con fines de optimización de recursos o mejorar las comunicaciones para las cuales se concesionó dicha banda.
- Ecuador puede adoptar las recomendaciones y estándares emitidos por organismos internacionales de Regularización de las Telecomunicaciones tales como la ITU, ETSI y la IEEE indicados en este estudio; para controlar su aplicación y uso en las diferentes bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico.
- De la demostración de la hipótesis se conoce que existe entre 87% y 92% de bandas de frecuencias desocupadas, con lo cual se propuso un plan de reutilización para la optimización de la banda UHF (450 – 512 MHz) con 569 bandas portadoras licenciadas y no licenciadas que tienen porcentajes de utilización por debajo del 50%, las cuales pueden ser reutilizadas con arquitectura de sistemas de radio cognitiva para ofertar nuevos servicios de telecomunicaciones.

RECOMENDACIONES:

- La investigación realizada es respecto al uso eficiente del espectro, y de ésta se puede derivar diversos estudios, tales como nuevos escenarios de uso de radio cognitiva y su aplicación de acuerdo con las infraestructuras de red cognitiva.
- Realizar un estudio específico de los algoritmos utilizados en la asignación de frecuencia a usuarios secundarios; como se realiza la elección de la banda de frecuencia y como se asigna esta por un determinado tiempo a una comunicación en concreto.
- Determinar los costos de implementación de tecnología de radio cognitiva con el uso eficiente de recursos.

BIBLIOGRAFÍA:

- Akyildiz, I., Lee, W., Vuran, M., & Mohanty, S.** (2006). *NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive*. Computer Networks, 2127-2159.
- ARCOTEL.** (Noviembre de 2016). *Estadísticas de Telecomunicaciones*. Obtenido de www.arcotel.gob.ec: <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas-2/>
- Briones, D. A.** (Diciembre de 2010). *Análisis de factibilidad para la utilización de cognitive radio (radio cognoscitiva) en las radiocomunicaciones necesarias para casos de emergencia en el Ecuador*.
- Cabric, D., & et al.** (2004). *Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios*. Proc. 38th. Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, 772-776.
- Chen, D., Jingjing, Y., Jida, W., Hao, T., & Ming, H.** (15-17 Agosto de 2012). *Spectrum occupancy analysis based on radio monitoring network*. IEEE International Conference, 739.744.
- CONATEL, & SENATEL.** (2012). *Plan Nacional de Frecuencias Ecuador*.
- Filián Narváez, M. R.** (2013). *Sistema Automático para el control del Espectro Radioeléctrico (SACER)*. (Cuadernos Supertel 6). Quito, Pichincha, Ecuador: SUPERTEL. Recuperado el 27 de Octubre de 2017, de <http://www.cieepi.ec/portal/revistas/>
- Galeano, K. J.** (2015). *Modelo de decisión del espectro para radio cognitiva que integra las pérdidas de propagación en la banda gsm del espectro radioeléctrico*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Hernández, D., Muro, N., & Lorenzo, Y.** (2015). *La radio cognitiva en las comunicaciones militares*. yayabociencia 2015 iii conferencia científica internacional de la uniss . sancti spiritus, cuba. Recuperado el 11 de MAYO de 2017, de <http://biblioteca.uniss.edu.cu/sites/default/files/CD/Yayabociencia%202015/documentos/4-Comput/5Dayana%20Hernandez%20Rodr%C3%ADguez.pdf>
- Mitola, J., & Maguirre, G. Q.** (1999). *Cognitive radio: making software radios more personal*. IEEE Personal Communications, 6(4), 13-18.
- Pedraza Martínez, L., Hernández Suárez, C., Galeano Romero, K., Rodríguez de la Colina, E., & Páez, I.** (2015). *Ocupación espectral y modelo de radio cognitiva para la ciudad*. Colombia: UD.
- Rentería, J. A., & Cadavid, A. N.** (2011). *Radio cognitiva - Estado del arte*. Sistemas y Telemática, 9(16), 32.
- Stevenson, C., & et, a.** (2009). IEEE 802.22: *The first cognitive radio wireless regional area networks (WRANs) standards*. IEEE Communications Magazine, 47(1), 130-138.
- UIT.** (2009). *Definiciones de sistema radioeléctrico*. Ginebra: UIT.
- Wyganski, A., Nekovee, M., & Hou, T.** (2010). *Cognitive radio communications and networks*. California, EEUU: ELSEVIER Inc.
- Wyganski, A., Nekovee, M., & Hou, T.** (2010). *Cognitive radio communications and networks: principles and practice*. California: Elsevier.

