



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN EN ECUADOR DE
SISTEMAS BASADOS EN EL ESTÁNDAR IEEE 802.22”**

TESINA DE SEMINARIO

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentada por:

LUIS EDUARDO ARTIEDA CRUZ

MARÍA AUXILIADORA CORONEL LAINEZ

Guayaquil – Ecuador
2014

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que creyeron en nosotros, a nuestros profesores por habernos inculcado un espíritu de investigación y superación. A los amigos que estuvieron en las buenas y en las malas apoyándonos siempre incondicionalmente.

Al PhD. Francisco Novillo, por motivarnos y guiarnos a través del desarrollo de esta tesina. También al M.Sc. Jorge Gómez por su importante aporte e intensa colaboración en este trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS por haberme guiado durante toda mi vida. A mis padres y hermana que nunca me abandonaron, me apoyaron, me motivaron y siempre confiaron en mí. A toda mi familia, enamorado, amigos y profesores. Gracias a ellos pude cumplir una de mis metas más grandes.

María Auxiliadora Coronel Lainez.

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por haberme dado salud y sabiduría, a mis padres que siempre confiaron en mí, por sus consejos y por el apoyo brindado. Además, al resto de mis familiares que siempre estuvieron conmigo cuando los necesité.

Luis Eduardo Artieda Cruz

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

PHD. Francisco Novillo

PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN

Ing. Washington Medina

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Seminario nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”. (Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

Luis Eduardo Artieda Cruz

María Auxiliadora Coronel Lainez

RESUMEN

Existen zonas que por su ubicación geográfica y reducido número de población, no resultan muy atractivas económicamente a los proveedores de servicios de Telecomunicaciones, principalmente debido al costo de despliegue de equipos y el pago de licencias de espectro para la prestación de servicios de sistemas inalámbricos. Por ello, existen sistemas que no requerirían de una licencia para operar y de esta manera poder reducir dichos costos. Tal es el caso del estándar de radio cognitiva IEEE 802.22, esta tecnología permite el acceso a usuarios no licenciados en bandas licenciadas, sin causar interferencia a los usuarios primarios (e.g usuarios licenciados). En este proyecto, se propone realizar un estudio previo a la implementación del estándar IEEE 802.22 durante una semana en la banda UHF de Televisión (512 MHz hasta 698 MHz), en particular se pretende realizar un análisis espectral de la disponibilidad temporal de los canales de TV en dicha banda. Los resultados mostraron que contamos con una gran disponibilidad del espectro, el cual se lo podría utilizar para brindar múltiples servicios de Telecomunicaciones a las distintas comunidades rurales del Ecuador.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
CAPITULO 1: PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA	1
1.1 Identificación del problema	1
1.2 Objetivos de la tesina	1
1.2.1 Objetivos generales	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Organización de la tesina	2

CAPITULO 2: ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACION	5
2.1 Introducción	5
2.2 Sistemas de acceso dinámico al espectro (DSA).....	7
2.2.1 Acceso Oportunista al espectro OSA.....	11
2.2.2 Radio cognitiva.....	13
2.2.3 Espacios Blancos de TV (TVWS).....	19
2.2.4 Mecanismos para acceder a los White Spaces	20
2.3 Sistemas de TV usados en el Ecuador	23
2.3.1 Introducción	23
2.3.3 Televisión Analógica.....	24
2.3.2 Espectro Radioeléctrico atribuido al servicio de TV abierta en el Ecuador	26
2.3.4 Televisión Digital Terrestre (TDT)	33
2.4 Sistemas de radiocomunicación usados en zonas rurales	38
2.4.1 Introducción	38
2.4.2 Tecnologías implementadas en el Ecuador	39
2.5 Estándar IEEE 802.22- Wireless Rural Area Network.....	41
2.5.1 Introducción	41

2.5.2	Características y canalización.....	43
2.5.3	Estudios relacionados	48
2.5.4	Tabla comparativa entre tecnologías.....	49
CAPITULO 3: ESCENARIO DE ESTUDIO Y PROCESO DE MEDICIÓN DEL ESPECTRO		51
3.1	Introducción.....	51
3.2	Descripción del escenario.....	52
3.3	Descripción general del proceso de medición	54
3.3.1	Subsistema de antena	56
3.3.2	Subsistema de radio frecuencia.....	56
3.3.3	Subsistema de captura	57
3.3.4	Subsistema de control	57
3.4	Presupuesto de enlace.....	60
3.5	Métricas para la evaluación de los datos.....	61
CAPITULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		64
4.1	Configuración del sistema.....	65
4.1.1	Localización geográfica y duración de la medición.....	65

4.1.2	Parámetros de configuración	66
4.1.3	Cálculo del nivel de ruido.....	67
4.2	Análisis de los niveles de potencia en la banda UHF-TV	68
4.2.1	Potencia promedio recibida en canales de TV.....	68
4.3	Disponibilidad temporal de canales	72
4.3.1	Ciclo de trabajo de los canales de TV	72
4.4	Determinación de canales que podrían ser utilizados potencialmente para la Implementación del estándar IEEE 802.22	78
CONCLUSIONES		90
RECOMENDACIONES.....		92
ANEXO.....		93
BIBLIOGRAFIA.....		97

ABREVIATURAS

BS:	Base Station
BW:	Bandwidth
CDMA:	Code Division Multiple Access
CPE:	Customer-premises equipment
CR:	Cognitive Radio
CRN:	Cognitive Radio Network
DC:	Duty Cycle
DECT:	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DSA:	Dynamic Spectrum Access
e.g:	Por ejemplo
FCC:	Federal Communications Commission
G_{AMP} :	Ganancia del amplificador
G_{ANT} :	Ganancia de la antena
GPS:	Global Positioning System
HD:	High Definition
HDTV:	High Definition Television
i.e:	Es decir
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISDB-T:	Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial
ISM:	Industrial, Scientific and Medical

L _c :	Pérdidas por cables
L _{cc} :	Pérdidas por conectores
L _{HF} :	Perdida por Filtro pasa alto
L _{LF} :	Perdida por Filtro pasa bajo
LTE:	Long-Term Evolution
M:	Margen de interferencia
MAC:	Media Access Control
MR:	Matriz de Resultados
NTSC:	National Television System Committee
OFDMA:	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OSA:	Opportunistic Spectrum Access
OSAT:	Opportunistic Spectrum Access Technology
P _N :	Nivel del ruido
P _r :	Potencia del analizador espectral
P _{R-ANT} :	Potencia real a la entrada de la antena
P _{TH} :	Umbral de detección
PU:	Primary User
QoS:	Quality of Service
QPSK:	Quadrature Phase Shift Keying
SA:	Spectrum Analyzer
SD:	Standard Definition
SDR:	Software-defined radio

SU:	Secondary User
TDT:	Televisión Digital Terrestre
TIC:	Tecnologías de la información y la comunicación
TV:	Televisión
TVWS:	TV White Space
UHD:	Ultra High Definition
UHF:	Ultra High Frequency
UWB:	Ultra Wide Band
VHF:	Very High Frequency
WiMAX:	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN:	Wireless Local Area Network
WRAN:	Wireless Regional Area Network
WS:	White Space

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Organización de la tesis	4
Figura 2.1	Taxonomía del Acceso Dinámico al espectro.....	8
Figura 2.2	Ciclo cognitivo de las CRN	12
Figura 2.3	Espacios en Blanco (WS)	19
Figura 2.4	Geolocalización por Base de datos.....	21
Figura 2.5	Spectrum sensing.....	22
Figura 2.6	Máscara del espectro de transmisión analógica	25
Figura 2.7	Distribución de canales de la banda V UHF	30
Figura 2.8	Máscara del espectro de transmisión digital.....	35
Figura 2.9	Canalización Simulcast en la ciudad de Guayaquil	38
Figura 2.10	Celda IEEE 802.22 WRAN con BS y usuarios finales	43
Figura 2.11	Esquema de unión de canales	47
Figura 3.1	Escenario típico para el despliegue de tecnologías de radio cognitiva.....	52
Figura 3.2	Caracterización del espectro para OSA.....	54
Figura 3.3	Esquema del sistema de medición.....	55
Figura 3.4	Diagrama de bloques del sistema de medición.....	55
Figura 3.5	Subsistema de Control.....	58
Figura 3.6	Pseudocódigo para escanear la banda de frecuencia de TV.....	60

Figura 4.1	Radio enlace Cerro Azul-Fiec (ESPOL)	65
Figura 4.2	Potencia Promedio por canal de TV	70
Figura 4.3	Comportamiento temporal de la potencia recibida en la banda UHF-TV	71
Figura 4.4	Ciclo de trabajo (DC) promedio por canal de TV	73
Figura 4.5	Ciclo de trabajo promedio por hora de los canales UHF	75
Figura 4.6	Número de canales promedio vs Tamaño de la Máscara	86
Figura 4.7	Velocidad de Transmisión promedio vs Tamaño de la Máscara	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I	Características del sistema NTSC-M.....	26
Tabla II	Bandas de frecuencias asignadas a TV abierta en VHF y UHF .	27
Tabla III	Bandas de frecuencia y canalización VHF	28
Tabla IV	Bandas de frecuencia y canalización UHF	29
Tabla V	Estaciones de TV asignadas a canales VHF en Guayaquil.....	31
Tabla VI	Estaciones de TV asignadas a canales UHF en Guayaquil.....	32
Tabla VII	Estaciones de TDT en la provincia del Guayas	37
Tabla VIII	Canales disponibles con su máxima velocidad de transmisión ..	48
Tabla IX	Comparativa de los sistemas desplegados en el Ecuador	50
Tabla X	Parámetros de configuración	67
Tabla XI	Ocupación del espectro por canal de TV durante el periodo de medición.....	77
Tabla XII	Números de canales contiguos y no-contiguos disponibles para OSA con esquema de máscara variable.....	80
Tabla XIII	Lista de canales idóneos para IEEE 802.22	82
Tabla XIV	Velocidad de transmisión en canales contiguos y no-contiguos con esquema de máscara variable	85

INTRODUCCIÓN

En el mundo, existen zonas rurales que por su ubicación geográfica y reducido número de población son poco atractivas económicamente a las operadoras de servicios de telecomunicaciones. En consecuencia, la población de dichas zonas tiene un acceso limitado a los beneficios que proveen los últimos avances tecnológicos, causando que la brecha digital entre las zonas rurales y urbanas se incremente drásticamente. Uno de los inconvenientes que se presenta para ofrecer estos servicios a dichas poblaciones es su difícil acceso, ya que por su gran distancia e irregularidad geográfica, una red alámbrica sería muy costosa y difícil de implementar en comparación a una red inalámbrica [1]. Sin embargo, existen tecnologías de tipo inalámbricas que han sido usadas por operadoras públicas y privadas para dar coberturas en zonas rurales [2-3]. Dentro de las cuales se puede mencionar DECT, la misma que opera en bandas licenciadas y que inicialmente, ha sido utilizada para brindar servicios de voz con una velocidad de datos de aproximadamente 1.152 Mbps y rangos de coberturas muy cortos, los cuales no superan los 200 metros [4]. Otra alternativa, ha sido una evolución de la tecnología CDMA-2000, conocida como CDMA-450. La misma que también opera en bandas licenciadas, y además proporciona velocidad de datos y rango de coberturas superiores (i.e. 3.1 Mbps, 40 Km

aproximadamente) en comparación a DECT [5]. Además, durante los últimos años una tecnología, que ha evolucionado, es la basada en el estándar IEEE 802.16 conocida como WiMAX. Esta tecnología opera en zonas rurales en bandas licenciadas con velocidades alrededor de 70 Mbps cubriendo territorios no superiores a 50 Km [6]. Sin embargo, a pesar que algunas de estas tecnologías ofrecen velocidades y coberturas amplias, éstas para poder operar necesitan de bandas licenciadas, lo que podría implicar que las operadoras realicen una alta inversión para montar dicha tecnologías. Por otro lado, la aparición de tecnologías basadas en técnicas de Radio Cognitiva [7], surge como una prometedora solución a los problemas de telecomunicaciones antes mencionados, permitiendo a usuarios no licenciados acceder a bandas licenciadas de manera oportunista, lo cual implica un uso más eficiente del espectro radioeléctrico. En este contexto, el primer estándar propuesto con estas funcionalidades es el IEEE 802.22 (WRAN) [8] [9], que aprovecha los espacios en blanco (i.e. frecuencias libres o canales sin utilizar) dentro de las bandas de TV, para acceder a ellos de manera oportunista, pero con el compromiso de no causar interferencia a los usuarios licenciados [10]. Este estándar ha sido diseñado exclusivamente para trabajar en zonas rurales, pero es necesario que existan frecuencias disponibles en la zona que se desplegará el sistema.

Considerando que las comunidades rurales no tienen acceso a las tecnologías de la Información (TICS), el uso del espectro radioeléctrico no

está siendo utilizado en igual proporción que una zona urbana. Por lo tanto, la disponibilidad de canales en zonas rurales es mucho mayor. Este hecho ha motivado, que la comunidad científica realice estudios de la disponibilidad temporal y espacial del espectro radioeléctrico en zonas urbanas y rurales [11] [12], con el fin de analizar y comparar los resultados empíricos para posteriormente poder conocer más a fondo la factibilidad del uso de las tecnologías basadas en radio cognitiva. Así por ejemplo en [11] un estudio realizado en Doha (Qatar) permitió determinar el porcentaje de disponibilidad espectral durante un lapso de tiempo de tres días en la banda comprendida desde los 700 hasta 3000 MHz, en donde se determinó que el porcentaje de utilización del espectro se encuentra alrededor de 14.6% a 15.7%. Por otro lado en Yunnan-China [13] se determinó que dentro de la banda comprendida desde 20 hasta 3000 MHz, el porcentaje de utilización de espectro es del 13.7%, siendo el 2.11% de la banda, utilizado por los servicios de TV. Dichos resultados mostraron una alta disponibilidad espectral y la manera cómo estas varían de acuerdo al horario en que las mediciones fueron realizadas. En países de América Latina, estudios de este tipo no han sido objeto de un análisis frecuente, sin embargo, debido al desarrollo que están teniendo países como Ecuador estudios de este tipo podrían ser de gran utilidad para analizar posibilidades de implementación de futuras tecnologías, las mismas que serían de gran beneficio principalmente para las comunidades rurales y de esta manera disminuir la brecha digital en el país.

Por lo antes mencionado, en este trabajo se propone un estudio, que permita identificar el comportamiento temporal de segmentos de espectro radioeléctrico que podrían ser utilizados para un futuro despliegue de tecnologías basadas en radio cognitiva en el Ecuador. En particular, el estudio es desarrollado en una zona semi-rural de la ciudad de Guayaquil. Mediante esta propuesta se pretende realizar un monitoreo y caracterización del espectro radioeléctrico que aporten modelos probabilísticos capaces de capturar y reproducir con precisión las propiedades relevantes del uso del espectro en los sistemas de comunicación de radio reales, particularmente el espectro asignado a los sistemas de televisión (TV) con la finalidad de analizar y establecer la disponibilidad temporal de dichos canales.

CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Identificación del problema.-

Existen zonas rurales en el Ecuador que por su ubicación geográfica y reducido número de población, no resultan muy atractivas económicamente a las operadoras de servicios de telecomunicaciones para realizar nuevos despliegues de red. Esto trae como consecuencia que la población en zonas rurales no goce de los beneficios de los avances tecnológicos, causando que la brecha digital entre las zonas rurales y urbanas se incremente drásticamente.

1.2 Objetivos de la tesina.-

1.2.1 Objetivos generales

Analizar el comportamiento espectral de las frecuencias asignadas a los canales de TV en la banda UHF con la finalidad de identificar la factibilidad de uso de tecnologías de radio cognitiva (e.g. estándar IEEE 802.22) en una determinada zona del Ecuador.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar una zona semi rural en el Ecuador para la toma de medidas.
- Investigar la asignación de los canales de televisión efectuados por el regulador local en la ciudad de Guayaquil.
- Modelar un escenario con realidad nacional de canales.
- Analizar los niveles de interferencia y cobertura en una zona determinada de la ciudad de Guayaquil.
- Calcular el ciclo de trabajo de los canales.
- Analizar la disponibilidad temporal de los canales de TV en la Banda de UHF del espectro radioeléctrico.
- Determinar la porción de espectro radioeléctrico disponible en la banda de estudio.
- Determinar un listado de los canales idóneos para la aplicación del estándar IEEE 802.22.

1.3 Organización de la tesina

La estructura de la tesina es ilustrada en la Figura 1.1 en la misma que se describe cómo cada capítulo y sus principales tópicos interactúan entre ellos para finalmente cumplir con los objetivos mencionados anteriormente. El capítulo 2 establece las definiciones básicas y conceptos necesarios en lo que respecta a los sistemas de radio cognitiva así mismo como su arquitectura, capacidad y administración. Además, mencionaremos las tecnologías inalámbricas que se están utilizando en el Ecuador para zonas rurales (i.e WRAN) las mismas que serán comparadas con la tecnología emergente IEEE 802.22, en la cual se centrará nuestro estudio. También presentamos la asignación actual de canales de TV en el territorio nacional, el mismo que se encuentra en una etapa de transición a TDT denominada *simulcast*.

El capítulo 3 está basado en conceptos y definiciones previamente establecidas en el capítulo 2. Este capítulo describe el proceso oportunista al espectro en los sectores rurales. Además, se describe cómo se realiza el proceso de medición y los equipos necesarios para su análisis espectral en diferentes periodos de tiempo. En este capítulo se definen las expresiones matemáticas que establecen métricas para el estudio.

En el capítulo 4 se muestran los resultados estadísticos del estudio, como lo son la disponibilidad temporal de los canales de TV y sus ciclos de trabajo durante el proceso de medición. Adicionalmente se muestra el porcentaje de ocupación espectral de la banda en análisis y la lista de los canales que tienen un alto potencial para el uso de tecnologías con acceso oportunista al espectro.

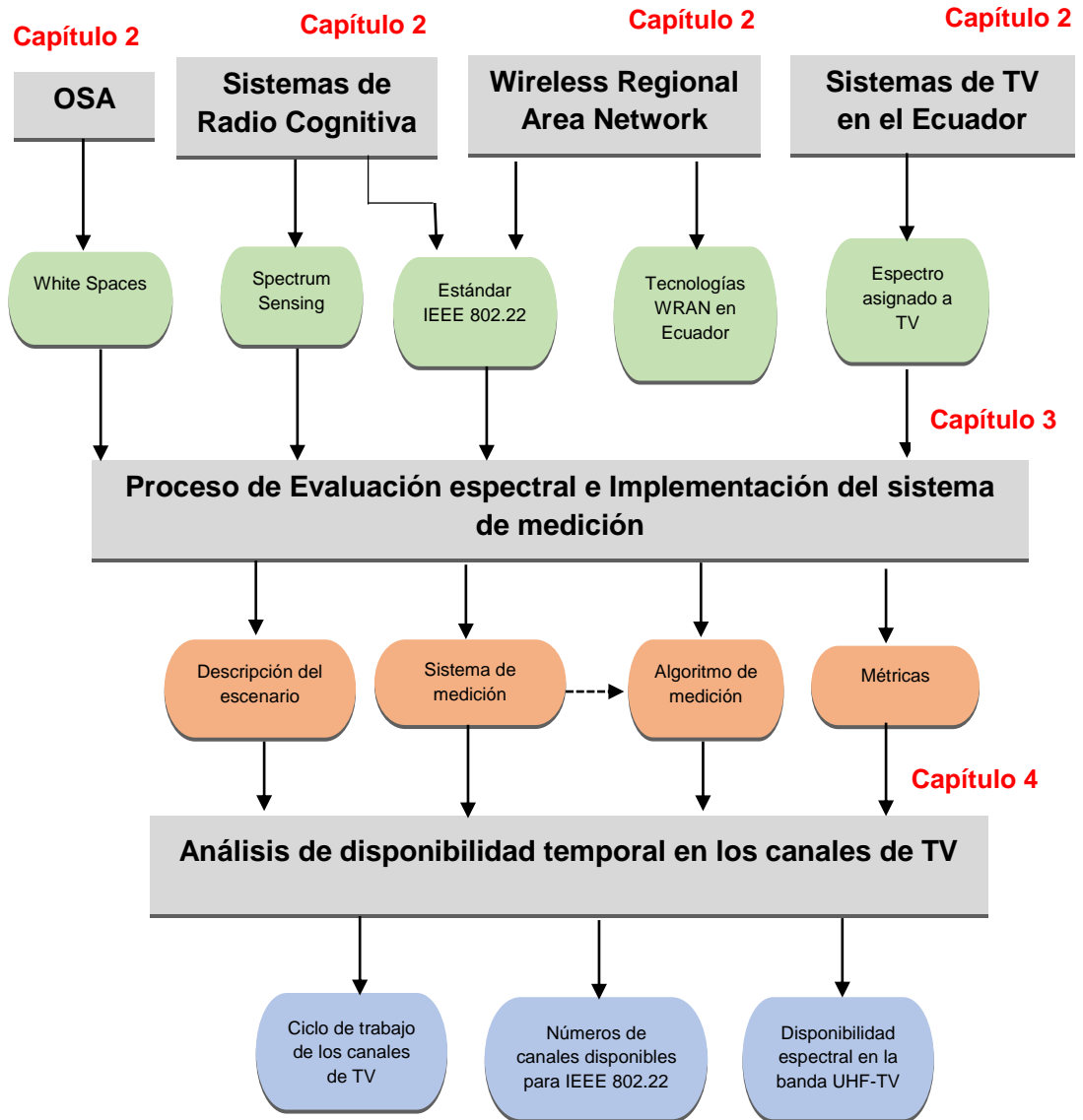


Figura 1.1 Organización de la tesis

CAPITULO 2

ESTADO DEL ARTE DE LOS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACION

2.1 Introducción

Las telecomunicaciones son una herramienta que permite mejorar la calidad de vida de las personas, pueblos y comunidades a nivel mundial. Hoy en día, el avance de la tecnología, genera la necesidad de buscar nuevas alternativas tecnológicas de comunicación, las cuales puedan coexistir operando en bandas que en un principio han sido asignadas mediante licencias a Radiodifusión y Televisión.

Según estudios que se han realizado a nivel mundial [10-18], acerca de la disponibilidad del espectro radioeléctrico, se ha comprobado que su uso no es homogéneo ni eficiente, debido a que ciertas bandas del espectro no están siendo utilizadas en su totalidad. En consecuencia,

se ha propuesto desarrollar nuevos sistemas inalámbricos capaces de aprovechar este recurso y de esta manera solucionar el problema de escasez espectral.

Por otro lado, el acceso oportunista al espectro (OSA) es una técnica basada en mecanismos de radio cognitiva (CR), donde la idea básica radica en permitir a usuarios secundarios (i.e usuarios no licenciados) el acceso a bandas licenciadas, siempre y cuando estos no produzcan niveles de interferencia perjudiciales a los usuarios primarios (i.e usuarios licenciados) [15]. Por medio de este tipo de acceso oportunista, es posible obtener una administración más eficiente del espectro radioeléctrico, lo cual sería una prometedora solución al problema de la escasez espectral.

En este contexto, el primer estándar que incorpora todos los conceptos de CR es el estándar IEEE 802.22 también llamado estándar para redes de área regional inalámbricas (WRAN, por sus siglas en inglés). Este estándar está diseñado para operar en los espectros disponibles de las bandas VHF/UHF de TV dentro de zonas rurales [19-20]. En este sentido, se han descrito las bandas en las cuales opera el servicio de TV abierta en el Ecuador, las tecnologías que han sido desplegadas en las zonas rurales del país y las características principales del estándar IEEE 802.22.

2.2 Sistemas de acceso dinámico al espectro (DSA)

El espectro radioeléctrico, es un recurso natural limitado que ha sido administrado por los entes reguladores bajo ciertas políticas de acceso, las mismas que no son del todo eficientes [10-11] [13-18]. Es por este motivo, que la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) planteó cambiar la administración espectral con el motivo de aprovechar este preciado recurso y que a su vez se puedan ajustar a las necesidades de las comunicaciones inalámbricas actuales [21]. Estas nuevas políticas de administración espectral se conocen como acceso dinámico al espectro (DSA) [22-23], la misma que se categorizan en tres modelos. Estos modelos consideran condiciones de tiempo, espacio y licencia para poder acceder al espectro radioeléctrico. Los mismos se muestran en Figura 2.1 y son descritos a continuación.

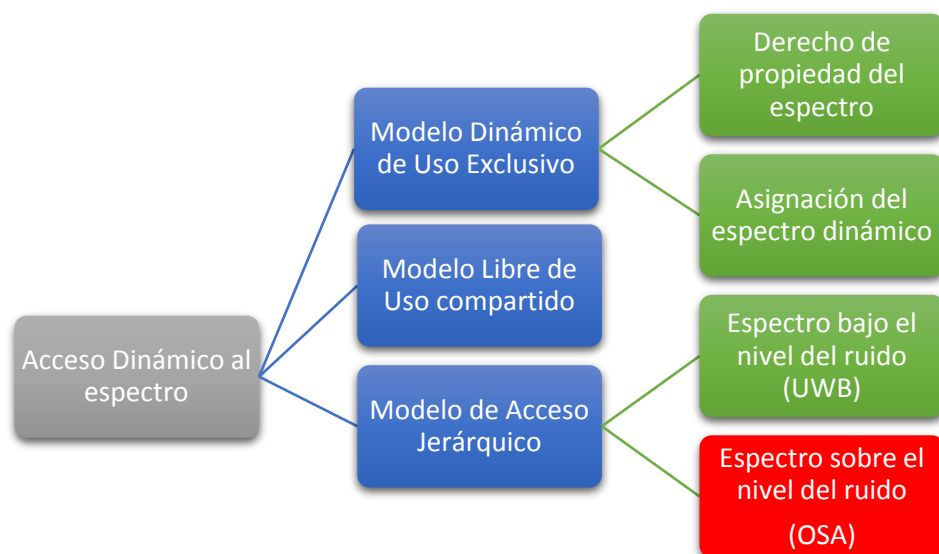


Figura 2.1 Taxonomía del Acceso Dinámico al espectro [22]

Modelo Dinámico de Uso Exclusivo

Este modelo mantiene la estructura básica de la actual política de regulación donde se otorgan derechos exclusivos al propietario para el uso del espectro bajo ciertas reglas. El propósito de este modelo es mejorar la eficiencia en el espectro introduciendo flexibilidad en la administración espectral, el mismo que presenta dos enfoques: *Derecho de propiedad del espectro* [24] y *Asignación del espectro dinámico* [25].

Derecho de propiedad del espectro: Los usuarios licenciados tienen el derecho de vender y comercializar el espectro y escoger libremente una tecnología. Además estos tienen el derecho de compartir o rentar el espectro para obtener ganancias debido que no está dentro de las reglas de las políticas de regulación.

Asignación del espectro dinámico : Este enfoque tiene como objetivo mejorar la eficiencia espectral a través de asignación dinámica espectral explotando el tráfico estadístico espacial y temporal de diferentes servicios. En otras palabras, en un lugar y tiempo determinado, solo un operador tiene el derecho exclusivo del espectro. Sin embargo, la identidad del propietario y el tipo de uso puede variar. Este modelo no elimina los espacios en blanco (i.e espectro no

utilizado) en el espectro resultante de la ráfaga de caracteres que produce por naturaleza el tráfico inalámbrico.

Modelo Libre de Uso compartido

También conocido como espectro común. Este modelo emplea intercambio abierto entre usuarios como la base para administrar una región espectral y argumenta que el espectro radioeléctrico es un recurso público que debe ser accesible a todos, sin regulación gubernamental indebida. Los defensores de este modelo, se apoyan en el éxito que han tenido con los servicios inalámbricos operando en bandas ISM no licenciadas (e.g WLAN). Las técnicas de compartición de espectro centralizado y distribuido han sido investigadas para enfrentar los desafíos tecnológicos en virtud de este modelo de gestión del espectro [22].

Modelo de Acceso Jerárquico

Este modelo adopta una estructura de acceso jerárquico con usuarios primarios y secundarios. La idea básica de este modelo radica en permitir el uso de espectro licenciado a usuarios secundarios limitando la interferencia percibida por usuarios primarios (licenciados). Este modelo puede ser clasificado en dos enfoques: *Espectro bajo el nivel del ruido* y *Espectro sobre el nivel del ruido* [22] [26].

Espectro bajo el nivel del ruido: Impone altas restricciones en la potencia de transmisión de los usuarios secundarios para que operen por debajo del umbral mínimo de ruido de los usuarios primarios. Mediante la difusión de señales transmitidas a través de una banda ancha de frecuencia (UWB), usuarios secundarios potencialmente pueden alcanzar altas velocidades de datos a corto alcance con potencias muy bajas de transmisión [22]. Consecuentemente, este enfoque no está basado en detección de espacios en blancos en bandas licenciadas. Por lo tanto, es posible para los usuarios secundarios transmitir en esta banda mientras los usuarios primarios están transmitiendo.

Espectro sobre el nivel del ruido: Este modelo también se lo conoce como modelo de acceso oportunista al espectro (OSA) [22] [27], estos sistemas serán motivo principal de nuestro estudio. A diferencia de Espectro bajo el nivel del ruido, la potencia de transmisión de los usuarios secundarios no es limitada. Sin embargo, es importante identificar en que momento y en qué lugar los usuarios secundarios pueden transmitir. Este modelo permite a los usuarios secundarios identificar y explotar de manera oportunista el acceso al espectro licenciado disponible en una manera que no pueda interferir a los usuarios primarios.

En particular esta tesina se enfoca en este tipo de modelo de acceso jerárquico.

2.2.1 Acceso Oportunista al espectro OSA

Como se mencionó anteriormente, esta tesina se centra en el enfoque del Espectro sobre el nivel del ruido (i.e. OSA), de manera que se encuentra bajo el modelo de acceso jerárquico de DSA [22]. En este modelo, la operación de usuarios secundarios con sistemas de usuarios primarios puede coexistir. Este fue considerado por Joseph Mitola III como un ciclo de operaciones denominado ciclo cognitivo [28], el mismo que podría ser implementado por los usuarios secundarios. La radio cognitiva, puede ser aplicada a diversas circunstancias de las redes de radio reales, en orden de mejorar el rendimiento de la red utilizando técnicas cognitivas, donde OSA es considerado como una aplicación importante en las redes de radio cognitiva. Para un mejor entendimiento del lector, una breve descripción del ciclo cognitivo es mostrado en la Figura 2.2.



Figura 2.2 Ciclo cognitivo de las CRN [29]

Como observa en la Figura 2.2, el ciclo cognitivo consiste de cuatro pasos fundamentales, los mismos que son:

1. *Detección del espectro*: Un usuario CR determina que porciones del espectro no están siendo utilizados por los usuarios licenciados. Además, detecta la presencia de los usuarios primarios.
2. *Gestión del espectro*: Selecciona el mejor canal dependiendo de la disponibilidad espectral.
3. *Compartición del espectro*: Debido a que múltiples usuarios CR intentarán acceder a la misma porción del espectro. El acceso a la

red CRN debe ser coordinado para evitar las colisiones dentro de la banda.

4. *Movilidad del espectro*: Los usuarios no licenciados deben abandonar el canal cuando se detecte la presencia de un usuario licenciado.

2.2.2 Radio cognitiva

La radio cognitiva es un sistema de Radiofrecuencia, basado en conceptos de radio definida por software (SDR), capaz de variar sus parámetros de transmisión, de una manera oportunista, basada en información extraída del entorno en el cual opera [30-32].

Los dispositivos CR poseen dos características principales a diferencia de los sistemas de radio convencional, que son: Capacidad cognitiva y Reconfigurabilidad.

Capacidad cognitiva

Esta propiedad involucra la capacidad de detectar los espacios de frecuencia que no están siendo utilizados en su entorno de radiofrecuencia. Esto lo realiza por medio de las iteraciones que realiza en tiempo real con el ambiente de radio.

Reconfigurabilidad

Consiste en la capacidad de ajustar los parámetros de configuración de manera dinámica en base a la información proporcionada por el entorno, para luego llevar a cabo la transmisión sobre la marcha sin ningún tipo de modificación en los componentes de hardware.

Según la FCC, un dispositivo de Radio Cognitiva debe ser capaz de reconfigurar los siguientes parámetros [31]:

- *Sistemas de comunicación:* Ser capaz de operar a través de distintos sistemas de comunicación.
- *Modulación:* El sistema es capaz de seleccionar el tipo de modulación adecuado a las características del canal y los requerimientos del usuario.
- *Frecuencia Portadora:* En base a la información del espectro disponible se selecciona la frecuencia portadora más adecuada.
- *Potencia transmitida:* El sistema de radio cognitiva debe ser capaz de ajustar los niveles de potencia transmitida hasta un cierto nivel en que la calidad de servicio no se altere y a su vez permita el acceso a múltiples usuarios que puedan compartir la misma porción del espectro, esto es dependiendo de las características del entorno.

- *Sensores de localización:* Los sistemas de radio cognitiva deben tener un sistema de localización incorporado como lo es el GPS. Esto es necesario al momento de realizar el Spectrum Sensing.
- *Algoritmos de inteligencia artificial:* Realizan un monitoreo constante del entorno para familiarizarse con las características de la red en operación.
- *Protocolos de comunicación:* De esta manera se pueden comunicar con otros sistemas CR y así poder reducir los niveles de interferencia con los usuarios primarios.

Arquitectura de una CRN

Los elementos que conforman la arquitectura de una red de radio cognitiva (CRN) se pueden clasificar en dos grupos: Red primaria y red secundaria [30] [32]. En este tipo de redes, los segmentos no utilizados de las bandas licenciadas usados por los usuarios primarios (PUs) pueden ser utilizados temporalmente por usuarios secundarios (SUs) a pesar de que éstos no tienen licencia para utilizar dicho espectro.

Red primaria o licenciada

Esta red se refiere a la infraestructura de la red existente, donde los usuarios primarios poseen una licencia para operar dentro una

determinada banda del espectro en ciertos lugares. Esta red mantiene instalaciones, donde las actividades de los usuarios primarios son controladas por estaciones bases primarias. Las operaciones de los usuarios primarios no pueden ser interferidas por usuarios no licenciados [30].

Red secundaria o no licenciada

La red secundaria (llamada también, red de acceso dinámico al espectro o CRN) [30] no tiene una licencia para operar en una determinada banda. Por lo tanto su acceso al espectro se realiza de manera oportunista. La red secundaria puede desplegarse como una red de infraestructura o como red ad-hoc. Los componentes que conforman la CRN son:

- *Usuarios CR:* Los usuarios CR no poseen una licencia para operar, por ello son necesarias las funcionalidades adicionales para poder compartir la banda del espectro licenciado.
- *Estación Base CR o Estación Base Secundaria:* Por medio de esta infraestructura, los usuarios secundarios pueden establecer una conexión con otros usuarios secundarios que no sean licenciados. A través de este enlace, los usuarios secundarios pueden tener acceso a diferentes redes.

- *Agente del espectro*: Es una entidad central de la red que posee la función de distribuir los recursos espectrales entre las diversas CRNs. Este puede conectarse con cada una de las redes y de esta manera permitir la coexistencia entre múltiples CRNs.

Heterogeneidad del espectro

Las redes de radio cognitiva pueden operar en ambientes heterogéneos. Esta es la capacidad que tienen los SUs de acceder a bandas licenciadas, las mismas que son utilizadas por PUs y a bandas no licenciadas por medio de la tecnología de acceso de banda ancha. De esta manera, los SUs tienen dos tipos de operación:

Operación en banda licenciada y operación en banda no licenciada [30] [32].

Para la primera, los PUs tienen la prioridad de utilizar la banda licenciada. Cuando un SU está ocupando una porción de espectro licenciado y un usuario legítimo (i.e usuario licenciado) aparece, este tiene la capacidad de desocupar el canal de inmediato y moverse hacia otro canal que se encuentre disponible para de esta manera no interferir al usuario primario.

Para la operación en banda no licenciada, todos los SUs tienen el mismo derecho para acceder a la banda, siempre y cuando los PUs

no se encuentren operando en dicha banda. Por lo tanto, las técnicas de compartición del espectro son necesarias para que los SUs puedan competir por el acceso a la banda no licenciada.

Heterogeneidad de la red

Los usuarios secundarios tienen tres diferentes tipos de acceso [30]:

- *Acceso CRN:* Los usuarios CR (i.e usuarios secundarios) pueden acceder por medio de su propia estación base secundaria a ambas bandas, licenciadas y no licenciadas. Esto es debido a que todas las interacciones ocurren dentro de misma red CRN.
- *Acceso Ad-Hoc:* Los usuarios CR pueden comunicarse entre ellos por medio de una red Ad-Hoc en ambas bandas espectrales (licenciadas y no licenciadas).
- *Acceso red primaria:* Los usuarios CR también pueden acceder a la estación base de la red primaria por medio de la banda licenciada. A diferencia de otros tipos de acceso, esta necesita un protocolo de control de acceso al medio (MAC, Medium Access Control), la cual provee la comunicación inalámbrica entre múltiples redes primarias con diversas tecnologías de acceso.

2.2.3 Espacios Blancos de TV (TVWS)

Existen bandas licenciadas (e.g. bandas de TV) que no están siendo utilizadas eficazmente por los usuarios primarios [10-18]. Dichas frecuencias no utilizadas se las conoce también como espacios blancos (WS, por sus siglas en inglés) o huecos espectrales [31]. A continuación, en la Figura 2.3, se puede observar que ciertas bandas del espectro radioeléctrico no se encuentran ocupadas durante todo el tiempo. Es decir, existen segmentos de tiempo en las cuales una determinada frecuencia se encuentra disponible y se puede acceder a ella por medio de técnicas de acceso dinámico al espectro, descritos previamente.

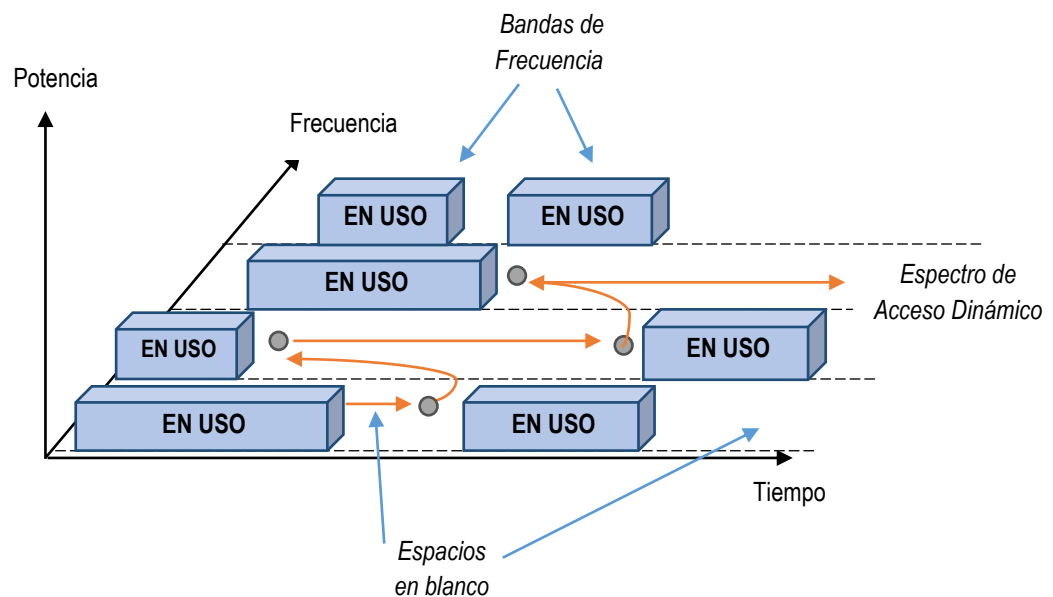


Figura 2.3 Espacios en Blanco (WS)

Varios estudios han demostrado que el uso del espectro radioeléctrico en determinadas zonas geográficas, no está siendo utilizado en su totalidad, particularmente el espectro asignado a TV, donde las bandas de frecuencias de ciertos canales no se encuentran transmitiendo en todo momento [33]. Estas porciones de espectrales de TV son denominados como Espacios Blancos de TV (TVWS, por sus siglas en inglés) y están siendo consideradas por los entes reguladores como una potencial solución a la escases espectral [32] [34].

2.2.4 Mecanismos para acceder a los White Spaces

Existen dos mecanismos que se utilizan para encontrar WS, los mismos que son: geo-localización con base de datos y Spectrum Sensing. Estos mecanismos han sido reconocidos como las tecnologías principales para acceder de manera oportunista a las frecuencias disponibles de las bandas de TV (TVWS) [32].

Geo-localización

La geo-localización asistida por base de datos es considerada como la solución más óptima para la detección y evasión de interferencia en WS. Por medio de este mecanismo, cada BS tiene incorporado un

GPS el cual enviará su ubicación periódicamente a la base de datos que es monitoreada por la FCC, la misma que se encuentra establecida en EE.UU y que le proveerá una lista de los canales disponibles (i.e TVWS) alrededor de la BS [20]. Este le enviará la información acerca de los canales disponibles a la BS y este le asignará una frecuencia disponible al CPE, tal como se muestra en la Figura 2.4.

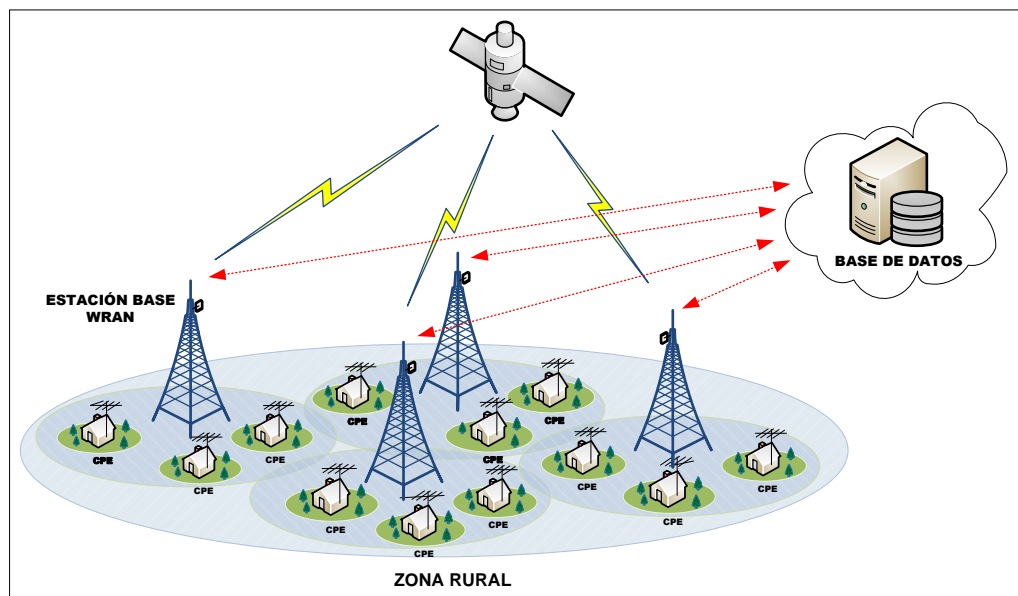


Figura 2.4 Geolocalización por Base de datos

Spectrum Sensing: Detección de energía

El Spectrum Sensing permite a los usuarios secundarios (i.e CPE) monitorear el entorno de radio constantemente, capturar información acerca de las bandas que se hallan disponibles (i.e TVWS) y luego

detectar los espacios libres de frecuencia. Para esto cada usuario CR está diseñado para detectar los cambios que se presenten dentro de la red y de esta manera poder ajustar sus parámetros de transmisión y recepción para así no causar interferencia a los usuarios primarios [19-20] [30-32]. Una vez que un CPE detecte un canal disponible, este solicitará la autorización de la BS para poder tener acceso a un canal en particular. Los CPEs poseen dos tipos de antena, una antena omnidireccional para detectar TVWS y una antena direccional para poder comunicarse con la BS, tal como se muestra en la Figura 2.5.

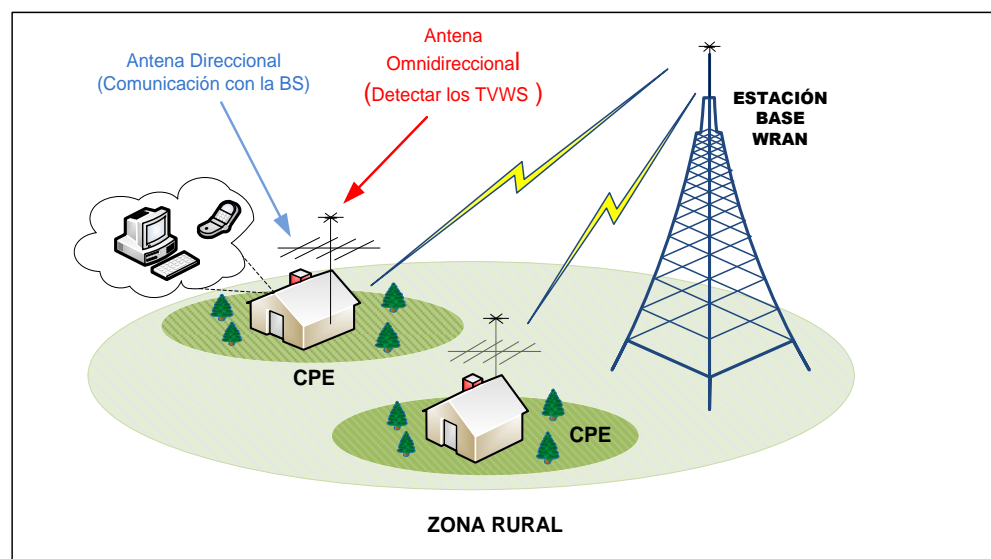


Figura 2.5 *Spectrum sensing*

La detección de energía es una de las técnicas de sensado más utilizada, ya que su principal atractivo es que los receptores CR no

requieren de ningún conocimiento de la señal del usuario primario. Las señales son detectadas comparando el nivel de la señal recibida con respecto al umbral de decisión, el mismo que es medido con información que depende de la varianza del ruido. Si el nivel de energía está por encima del umbral de decisión, entonces la señal se encuentra presente, en caso contrario, si ésta se encuentra por debajo del umbral, la señal se encuentra ausente [29].

En la siguiente sección mencionaremos las bandas del espectro radioeléctrico en las cuales operan los servicios de TV en el Ecuador, así mismo como los estándares que utiliza y su respectiva canalización.

2.3 Sistemas de TV usados en el Ecuador

2.3.1 Introducción

Hoy en día, Ecuador se encuentra en un proceso de migración hacia una nueva tecnología digital, la misma que posee un sinnúmero de ventajas en comparación con la televisión analógica. Por tal razón, nuestro país se encuentra en un periodo de *simulcast*, el cual consiste de un periodo de tiempo en el que se transmiten señales analógicas y digitales de manera simultánea. Este proceso se llevará a cabo hasta que

se dé el apagón analógico en todo el territorio nacional que se ha estimado alrededor del 2018 [34].

A continuación se describen las bandas de frecuencias en las cuales operan los servicios de TV abierta a nivel nacional, asimismo los estándares analógico y digital que se utilizan durante el periodo de simulcast.

2.3.3 Televisión Analógica

El sistema NTSC

El sistema que utiliza nuestro país para la transmisión de televisión abierta es el NTSC-M (Comité Nacional de Servicios de Televisión, por sus siglas en inglés) [35]. El sistema NTSC-M es una versión modificada del sistema estadounidense NTSC, el cual permite la radiodifusión de televisión en color y que al mismo tiempo, es compatible con los receptores de blanco y negro existentes. La señal de televisión NTSC, se conforma por la señal de video compuesto más la señal de audio.

El video compuesto es indispensable para la transmisión de señales de televisión y está formado por información de luminancia, crominancia y parámetros de sincronización. La

luminancia es aquella que representa el brillo y la cantidad de luz en las imágenes, mientras que la crominancia define la saturación y el tinte (color) de las mismas. Este estándar establece que para transmitir una señal analógica se requiere de un ancho de banda de 6 MHz, en las cuales se incluyen las portadoras de audio y video, como se muestra en la Figura 2.6.

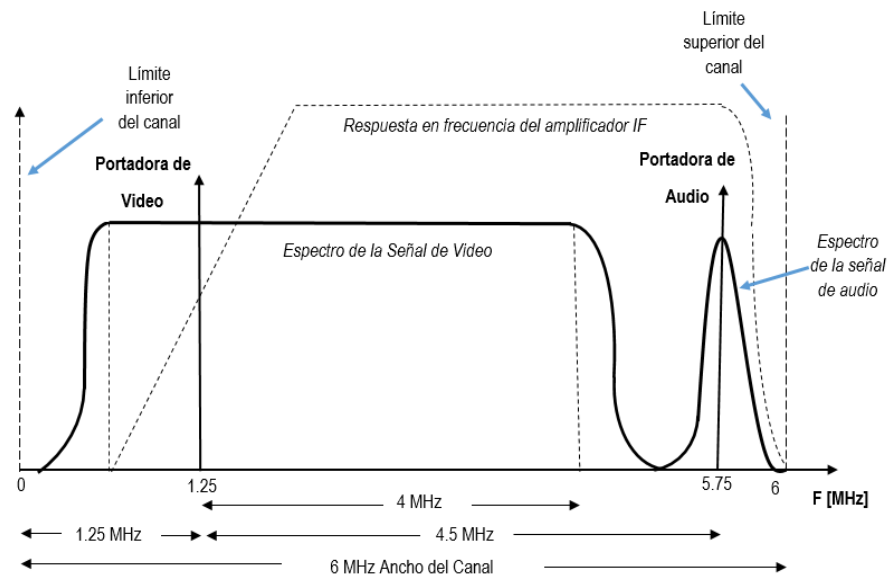


Figura 2.6 Máscara del espectro de transmisión analógica

Algunas de las características principales de este estándar se presentan en la Tabla I:

Tabla 1 Características del sistema NTSC-M [35-36]

Sistema NTSC-M	
Número de líneas:	525
Cuadros por segundo:	30
Frecuencia de Barrido Horizontal:	15,734 KHz
Frecuencia de Barrido Vertical:	60 Hz
Frecuencia subportadora de color:	3,57 MHz
Ancho de Banda de Video:	4,2 MHz
Portadora de Audio:	4,5 MHz
Portadora de Video:	1,25 MHz
Relación de Aspecto:	4:3
Ancho del canal [MHz]	6

2.3.2 Espectro Radioeléctrico atribuido al servicio de TV abierta en el Ecuador

Parte del espectro radioeléctrico es utilizado para la prestación del servicio de televisión abierta en el país. Dicho espectro necesita una concesión (i.e licencia) [37] para transmitir señales de TV, las mismas que son emisiones de audio y video destinadas a la recepción del público en general, sin que por ello el televidente tenga que realizar algún pago por la recepción de dicho servicio.

Bandas de Frecuencia

El Ecuador para sus asignaciones de bandas de frecuencias en los diferentes servicios de radiocomunicación se basa en el reglamento de radiocomunicaciones, el cual está basado en las regulaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [38]. La TV abierta en el Ecuador opera en las bandas VHF (canales del 2 al 13) y UHF (canales del 21 al 51) del espectro radioeléctrico [39-41]. A continuación la Tabla II muestra el detalle de las bandas de frecuencias:

Tabla II *Bandas de frecuencias asignadas a TV abierta en VHF y UHF [39]*

Televisión	Banda	Frecuencias (MHz)	Canales
VHF	I	54-72	2,3,4
		76-88	5,6
	III	174-216	7,8,9,10,11,12 y 13
UHF	IV	500-608	21,22,23.....36
		614-644	38,39,40,41,42
	V	644-698	43,44,45.....51

Canalización de las bandas

Las bandas de frecuencia para TV en Ecuador (i.e VHF y UHF) se dividen en 42 canales de 6 MHz de ancho de Banda cada uno, el mismo que incluye la portadora de audio y video

respectivamente. Dicha canalización se encuentra detallado en las Tablas III y IV a continuación:

Tabla III Bandas de frecuencia y canalización VHF [39]

TELEVISIÓN	BANDA	CANAL		PORTADORAS	
		No.	Rango de Frecuencias (MHz)	Video (MHz)	Audio (MHz)
VHF	I	2	54-60	55,25	59,75
		3	60-66	61,25	65,75
		4	66-72	67,25	71,75
		5	76-82	77,25	81,75
		6	82-88	83,25	87,75
		7	174-180	175,25	179,75
	III	8	180-186	181,25	185,75
		9	186-192	187,25	191,75
		10	192-198	193,25	197,75
		11	198-204	199,25	203,75
		12	204-210	205,25	209,75
		13	210-216	211,25	215,75

Tabla IV Bandas de frecuencia y canalización UHF [39]

TELEVISIÓN	BANDA	CANAL		PORTADORAS	
		No.	Rango de Frecuencias (MHz)	Video (MHz)	Audio (MHz)
UHF	IV	21	512-518	513,25	517,75
		22	518-524	519,25	523,75
		23	524-530	525,25	529,75
		24	530-536	531,25	535,75
		25	536-542	537,25	541,75
		26	542-548	543,25	547,75
		27	548-554	549,25	553,75
		28	554-560	555,25	559,75
		29	560-566	561,25	565,75
		30	566-572	567,25	571,75
		31	572-578	573,25	577,75
		32	578-584	579,25	583,75
		33	584-590	585,25	589,75
		34	590-596	591,25	595,75
		35	596-602	597,25	601,75
		36	602-608	603,25	607,75
		37	608-614	Radioastronomía	
		38	614-620	615,25	619,75
		39	620-626	621,25	625,75
		40	626-632	627,25	631,75
		41	632-638	633,25	637,75
		42	638-644	639,25	643,75
		43	644-650	645,25	649,75
		44	650-656	651,25	655,75
	V	45	656-662	657,25	661,75
		46	662-668	663,25	667,75
		47	668-674	669,25	673,75
		48	674-680	675,25	679,75
		49	680-686	681,25	685,75
		50	686-692	687,25	691,75
		51	692-698	693,25	697,75

El segmento de 608-614 MHz (i.e canal 37) no se considera como un canal de TV debido a que esta atribuida al servicio de la Radioastronomía.

Debido a las propiedades que presenta la televisión analógica, no es posible establecer el uso de canales adyacentes. Lo que indica que el uso del espectro no es eficiente, ya que éste se satura con la existencia de pocos canales de televisión. A continuación la Figura 2.7 muestra un ejemplo de la distribución de los canales analógicos en la banda V del espectro UHF de TV (ver Tabla III).

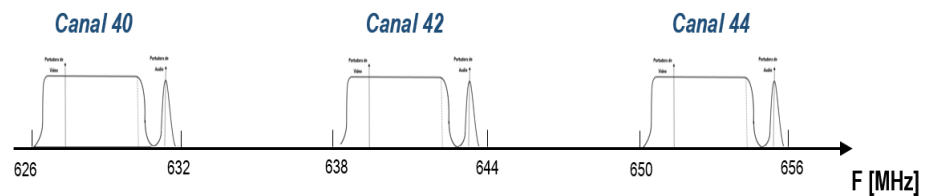


Figura 2.7 Distribución de canales de la banda V UHF

En las Tablas V y VI se muestra el listado de Estaciones de TV que tienen asignado un canal en la ciudad de Guayaquil.

Tabla V Estaciones de TV asignadas a canales VHF en Guayaquil [42]

Nombre de Estación	Frecuencia (MHz)	Canal	Tipo	Área Servida	Concesionario
CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION	54-60	2	M	GUAYAQUIL	CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION S.A.
RED TELESISTEMA (R.T.S)	66-72	4	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	TELECUATRO GUAYAQUIL C.A.
TELEAMAZONAS GUAYAQUIL	76-82	5	M	GUAYAQUIL	TELEAMAZONAS GUAYAQUIL S.A.
ECUADOR TV	174-180	7	R	GUAYAQUIL	EMPRESA PUBLICA TELEVISION Y RADIO DE ECUADOR E.P. RTVECUADOR
TELEVISION DEL PACIFICO	180-186	8	R	GUAYAQUIL	TELEVISION DEL PACIFICO S.A. TELEDOS
CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	186-192	9	R	LOS CEIBOS	CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION (CANAL 10)
CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	192-198	10	M	GUAYAQUIL, DURAN, MILAGRO.	CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION (CANAL 10)
TELEVISION DEL PACIFICO	198-204	11	R	LOS CEIBOS Y ALREDEDORES	TELEVISION DEL PACIFICO S.A. TELEDOS
CANAL UNO	204-210	12	M	GUAYAQUIL	RELAD S.A.
RED TELESISTEMA (R.T.S)	210-216	13	R	LOS CEIBOS	TELECUATRO GUAYAQUIL C.A.
<i>M: Matriz de transmisión</i> <i>R: Repetidora</i>					

Tabla VI Estaciones de TV asignadas a canales UHF en Guayaquil [42]

Nombre de Estación	Frecuencia (MHz)	Canal	Tipo	Área Servida	Concesionario
TV LEGISLATIVA	518-524	22	R	GUAYAQUIL	ASAMBLEA NACIONAL
CANELA TV	530-536	24	M	GUAYAQUIL, ELOY ALFARO (DURAN), YAGUACHI, SAMBORONDON	AGUIRRE NAVARRETE CARLOS ISIDRO
TV+ (TVMAS)	542-548	26	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	PERONE S.A.
ASOMAVISION	554-560	28	R	GUAYAQUIL	ASO.DE MINISTERIOS ANDINOS ASOMAVISION
COSTANERA TV (RTU)	566-572	30	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	MUVESA C.A.
COSTANERA TV (RTU)	572-578	31	R	CEIBOS, PTO. AZUL, OLIVOS, COLINAS	MUVESA C.A.
TELERAMA	578-584	32	R	GUAYAQUIL	TELEVISION ECUATORIANA TELERAMA S.A.
CANAL INTIMAS	590-596	34	M	GUAYAQUIL	AMERICAVISION S.A.
TELEVISION SATELITAL	602-608	36	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	TELEVISION SATELITAL S.A. TV-SAT
RED TV ECUADOR	614-620	38	M	GUAYAQUIL Y ALREDEDORES	TELEVISION INDEPENDIENTE INDETEL S.A.
UCSG TELEVISION	638-644	42	M	GUAYAQUIL	UNIVERSIDAD CATOLICA SANTIAGO GUAYAQUIL
CARAVANA TELEVISION	650-656	44	M	GUAYAQUIL	RADIO CARAVANA S. A.
ABC TV	662-668	46	M	GUAYAQUIL	JUAYATABC TELEVISION S.A.
TELEVISION CIUDADANA	674-680	48	R	GUAYAQUIL	SECRETARIA NACIONAL DE COMUNICACION SECOM
<p><i>M: Matriz de transmisión</i> <i>R: Repetidora</i></p>					

2.3.4 Televisión Digital Terrestre (TDT)

Luego de múltiples estudios que se han realizado para decidir el estándar de TDT que técnicamente se adapte mejor a la realidad ecuatoriana, el gobierno optó por el estándar japonés-brasileño ISDB-T INTERNACIONAL (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial), para transmitir televisión digital abierta en todo el territorio nacional [43].

La llegada de la Televisión Digital es uno de los acontecimientos más grandes del nuevo milenio. Esta tecnología posee múltiples ventajas en comparación con la televisión analógica, entre las cuales podemos destacar [44]:

- Optimización del ancho de banda: Las técnicas de compresión digital permite la transmisión de varias programaciones de manera simultánea ocupando el mismo ancho de banda que un canal analógico. La cantidad de programaciones dependerán de la calidad de la imagen deseada por el usuario. Por otro lado, la TDT permite el uso de canales adyacentes, esto quiere decir, que se duplica el número de canales en el espectro de televisión abierta.

- Alta definición de las imágenes: Muchas programaciones se transmiten en HDTV, todo depende de la configuración de la red de televisión digital y de los servicios que ofrezca el operador. Esta posee la capacidad de incluir datos, en consecuencia el acceso a internet.

- Interactividad: La incorporación de la interactividad permite la participación de los televidentes quienes dejan de simples espectadores para formar parte de la programación y de las actividades ofertadas.

- Eficiencia de Potencia: Debido a la robustez de la tecnología digital, la potencia que se utiliza para transmitir señales digitales es mucho menor.

- Eliminación de Interferencia: Debido a las técnicas de codificación y modulación de las señales digitales, la interferencia de canal adyacente o co-canal, es reducida. Por tratarse de un sistema digital, la calidad de la imagen

no se verá afectada ni distorsionada. Además las técnicas de corrección de errores mejoran la transmisión de la información.

El espectro en TDT

El espectro asignado al servicio de Televisión Digital, corresponde a la banda UHF del espectro atribuido en su momento al servicio de televisión analógica, asimismo como la banda VHF (canales 7-13). El ancho de banda que se utilizará para los canales de TDT es 6 MHz [45], tal como se muestra en la Figura 2.8.

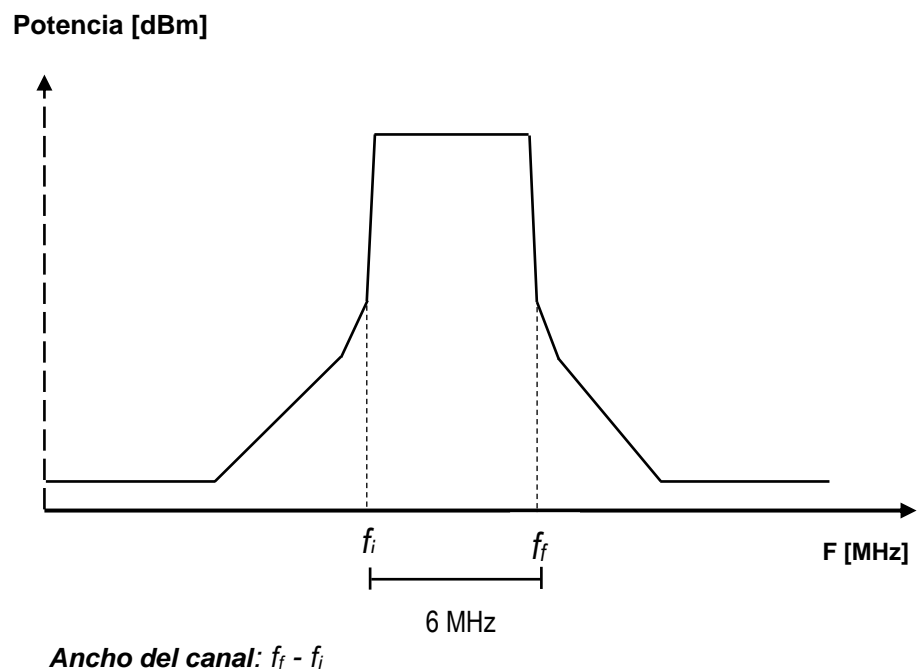


Figura 2.8 Máscara del espectro de transmisión digital

Como se ha mencionado anteriormente, hoy en día Ecuador enfrenta una etapa de transmisión simultánea de televisión analógica y digital, conocida también como *simulcast*, durante este periodo, los canales digitales se transmitirán en los canales principales o adyacentes del servicio de la TV analógica, en la banda de canales del 21 al 51 los cuales dependerán de la disponibilidad de los mismos en una determinada zona.

En la Tabla VII se muestra el listado de estaciones de TDT que se encuentran operando actualmente en la provincia del Guayas. Como podemos apreciar en esta tabla, los canales digitales se encuentran transmitiendo en los canales analógicos disponibles dentro de esta zona. Por ejemplo, entre los canales 22 y 24 asignados a TV Legislativa y Canela TV respectivamente (ver Tabla VI), se encuentra el canal 23, el mismo que inicialmente se encontraba desocupado, por lo cual se otorgó una concesión a Corporación Nacional de Televisión para transmitir señales de TDT.

Tabla VII Estaciones de TDT en la provincia del Guayas [42]

Nombre Estación	Frecuencia (MHz)	Canal	Tipo	Cobertura	Concesionario
ECUADOR TV	512-518	21	R	GUAYAQUIL, ELOY ALFARO (DURAN), SAN JACINTO DE YAGUACHI, SAMBORONDÓN	EMPRESA PUBLICA TELEVISION Y RADIO DE ECUADOR E.P. RTVECUADOR
CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION	524-530	23	M	GUAYAQUIL, ELOY ALFARO (DURAN), MILAGRO, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI	CORPORACION ECUATORIANA DE TELEVISION S.A.
RED TELESISTEMA (R.T.S)	536-542	25	M	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, MILAGRO, ELOY ALFARO (DURAN)	TELECATRO GUAYAQUIL C.A.
TELEAMAZONAS GUAYAQUIL	548-554	27	M	GUAYAQUIL, ELOY ALFARO (DURAN), MILAGRO, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI	TELEAMAZONAS GUAYAQUIL S.A.
CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION	560-566	29	M	GUAYAQUIL, ELOY ALFARO (DURAN), MILAGRO, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI	CADENA ECUATORIANA DE TELEVISION (CANAL 10)
CANAL UNO	584-590	33	M	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)	RELAD S.A.
TV+ (TVMAS)	596-602	35	M	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)	PERONE S.A.
TELEVISION SATELITAL	620-626	39	M	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, ELOY ALFARO (DURAN)	TELEVISION SATELITAL S.A. TV-SAT
COSTANERA (RTU)	632-638	41	M	GUAYAQUIL, SAMBORONDÓN, SAN JACINTO DE YAGUACHI, MILAGRO, ELOY ALFARO (DURAN)	MUVESA C.A.
M: Matriz de transmisión R: Repetidora					

La Figura 2.9 muestra la canalización actual de la banda UHF de TV en la ciudad de Guayaquil durante el periodo de simulcast. Donde podemos observar que existen en total nueve canales digitales (e.g canal 21, 23, 25) y catorce canales analógicos (e.g canal 22, 24, 26) que han sido asignados para su operación. De la misma manera podemos observar que existen canales que no se encuentran operando (e.g canal 43, 45, 48) debido que no se les ha asignado una concesión (i.e licencia) para transmitir señales de TV.

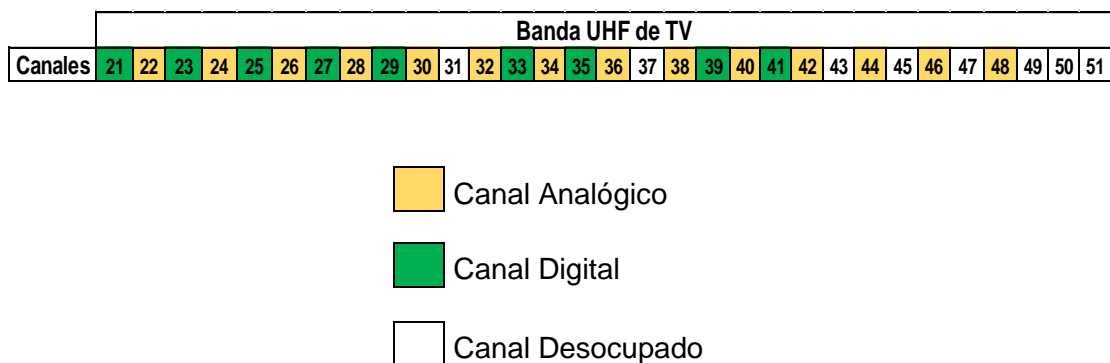


Figura 2.9 Canalización Simulcast en la ciudad de Guayaquil

2.4 Sistemas de radiocomunicación usados en zonas rurales

2.4.1 Introducción

En la actualidad, existen zonas dentro del Ecuador que debido a su situación geográfica y su reducido número de población no

tienen acceso a los servicios de las telecomunicaciones. Es por esta razón que no resulta económicamente rentable invertir en dichas zonas debido a su alto costo de implementación. Sin embargo existen tecnologías inalámbricas que han sido implementadas por operadores públicos y privados para cubrir dichos territorios y de esta manera mitigar estos problemas. A continuación se describen las tecnologías que han sido implementadas en el Ecuador para dar cobertura en zonas rurales.

2.4.2 Tecnologías implementadas en el Ecuador

Entre las principales tecnologías que se han implementado en zonas rurales, se mencionan las siguientes: DECT, CDMA-450 y WiMAX.

DECT

También llamada Digital Enhanced Cordless Telecommunication [46], es un estándar de telefonía inalámbrica doméstica que fue creado por la necesidad de mejorar la calidad de la comunicación y de disminuir la interferencia con otros dispositivos. Debido a esto la tecnología se ha implementado en diferentes países, operando en bandas licenciadas (América Latina: 1910 – 1930 MHz). Esta tecnología ha sido utilizada

para brindar servicios de voz con una velocidad de datos de aproximadamente 1.152 Mbps y rangos de coberturas muy cortos, los cuales no superan los 200 metros [47]. Además el DECT no solo está orientado en dar servicio de comunicación de voz para zonas residenciales, sino que también da servicios de datos a oficinas, empresas, entre otros.

CDMA-450

Es una tecnología celular móvil 3G basada en la tecnología CDMA-2000 que soporta transmisión de voz y datos, además consta de una alta eficiencia espectral lo que reduce los costos de instalación [48]. Dicha tecnología opera en bandas licenciadas (i.e 450 - 470 MHz) con el fin de que pueda dar servicio de banda ancha móvil a zonas rurales. Una de las ventajas de operar en esta banda es su alta propagación por lo que se podría alcanzar coberturas de hasta 40 Km aproximadamente. CDMA-450 alcanza velocidades de transmisión de hasta 3.1 Mbps, ofreciendo alta calidad de voz y una gran calidad de servicio (QoS) [49].

A partir del 2007 se ha implementado y puesto en funcionamiento una red inalámbrica para ofrecer servicios de

telecomunicaciones a 16 parroquias rurales de Cuenca, además se puso en marcha un proyecto en la cual buscan dar cobertura de banda ancha a las zonas urbanas [50].

WiMAX

Durante los últimos años una tecnología, que ha evolucionado, es la basada en el estándar IEEE 802.16 conocida como WiMAX [51]. Esta tecnología fue diseñada para operar específicamente en zonas rurales (WRAN) sin licencia en la frecuencia comprendida entre 10 y 66 GHz. Sin embargo puede operar en zonas urbanas en el espectro de 2-5 GHz con licencia. WiMAX permite el acceso a servicios de banda ancha a bajos costos, permitiendo alcanzar velocidades alrededor de 70 Mbps cubriendo territorios no superiores a 50 Km [52]. Esto ha impulsado que sea desplegado tanto para las zonas metropolitanas y para las zonas rurales.

2.5 Estándar IEEE 802.22- Wireless Rural Area Network

2.5.1 Introducción

El estándar IEEE 802.22 define una tecnología inalámbrica que fue desarrollada para operar principalmente en zonas rurales con el fin de proveer servicios de internet por medio de banda

ancha [20]. Este estándar no requiere de licencia alguna para operar y permite dar conectividad a redes punto-multipunto operando en las bandas de 54-862 MHz [20]. En este rango de frecuencia operan las bandas de TV, telefonía, redes de emergencia, emisoras de radio, entre otros. Aplicaciones específicas del servicio punto-multipunto están apuntadas al uso del rango de frecuencias destinadas al servicio de televisión VHF/UHF, debido a sus propiedades intrínsecas de propagación y gran cobertura. Este estándar utilizará los espacios en blancos de la banda de TV (TVWS) mediante técnicas de radio cognitiva. La detección de TVWS consiste en que la BS le indique a los CPE que canales de frecuencia y por cuánto tiempo debería escanear el espectro radioeléctrico, para posteriormente determinar que canales se encuentran disponibles (ver Figura 2.10). La cobertura de la BS depende del tipo de modulación empleada, por ejemplo, usando modulación QPSK el alcance será el máximo (i.e 100 km) mientras que con modulación 64-QAM el alcance será el mínimo (i.e 15 km).

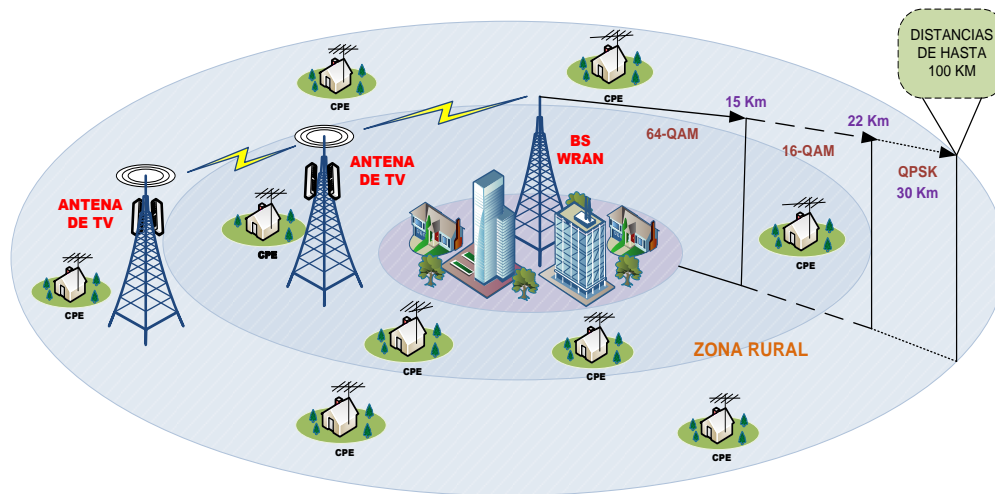


Figura 2.10 Celda IEEE 802.22 WRAN con BS y usuarios finales [20]

2.5.2 Características y canalización

Las principales características que presenta el estándar IEEE 802.22 se detallan a continuación [20] [53]:

- Opera en la banda de 54 – 862 MHz con modulación OFDMA y puede usar modulaciones QPSK, 16 QAM y 64 QAM para brindar distintos servicios.
- El estándar es compatible a diferentes anchos de banda de canales de TV (i.e 7, 6, 8 MHz).
- Tipos de redes: Punto a multipunto.
- Esquema: BS (Base Station) y CPE (Customer Premise Equipment) (ver Figure 2.10).
- Con un canal de 6 MHz (Estándar americano) se puede alcanzar una tasa de transferencia de hasta 18 Mbps.

- Esquema de canales contiguos y no-contiguos.
- Tiene una cobertura máxima de 100 Km entre los CPE's y BS.
- Ofrece telefonía fija y móvil.
- Usa dos tipos de antena: La omnidireccional es principalmente para la detección y la realización de las medidas y la direccional que sirve para la comunicación de los CPE con la BS.
- La eficiencia espectral en el rango de 0,5 bit / (seg. / Hz) hasta 5 bits / (seg. / Hz).
- Con 12 usuarios simultáneos la velocidad de datos mínima por CPE en total es 1,5 Mbps en downlink y 384 Kbps en uplink.

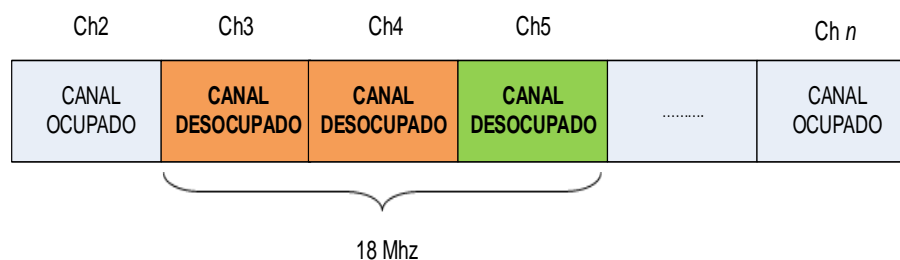
Canalización

El estándar IEEE 802.22 presenta dos esquemas de unión de canales: Contiguos y no-contiguos, los mismos deben encontrarse disponibles para ser utilizados por dispositivos WRAN. Ambos esquemas permiten el solape de canales. Además, con el número de canales disponibles, se puede formar una máscara de canal, la misma que va a variar

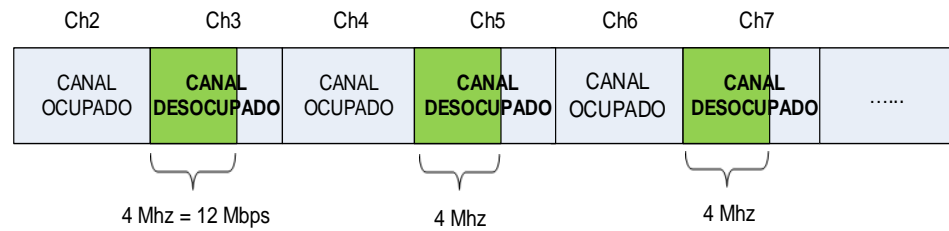
dependiendo de la tecnología requerida (e.g WiFi, LTE, LTE-A). Por ejemplo, este estándar puede utilizar máscaras de 6, 12, 18, 24 y 30 MHz, donde la velocidad de transmisión de datos será proporcional al tamaño de la misma, es decir, mientras mayor sea el tamaño de la máscara, mayor será su velocidad de transmisión. Por ejemplo, con un canal de 6 MHz es posible alcanzar una máxima tasa de transmisión de datos de hasta 18 Mbps. Para que tecnologías como WiFi, LTE y LTE-A puedan operar en IEEE 802.22, se requiere de anchos de banda de 22, 20 y 40 MHz, con velocidades máximas de hasta 72, 72 y 126 Mbps respectivamente. Dependiendo de la disponibilidad de canales, es posible transmitir datos en múltiples estándares de comunicaciones inalámbricas.

Con el esquema de canal contiguo, los canales que conforman una máscara, deben encontrarse adyacentes entre sí. Por ejemplo, en la Figura 2.11 (a) se muestran tres canales disponibles adyacentes, que pueden formar una máscara de 18 MHz, los mismos que pueden ser distribuidos de distintas maneras dependiendo de la demanda de la red. En este caso, se ha distribuido la máscara de 18 MHz en dos sub-máscaras para formar un canal de 12 MHz (i.e Ch3 y Ch4) y otro de 6 MHz (i.e Ch5), los mismos que poseen velocidades máximas de

transmisión de 36 y 18 Mbps respectivamente. Por otra parte, con el esquema de canal no-contiguo, los canales que conforman una máscara de canal, no necesariamente necesitan encontrarse adyacentes entre sí. Por ejemplo, en la Figura 2.11 (b) se dispone de tres canales disponibles no consecutivos que se han unido para formar una máscara de 12 MHz. Como podemos observar se puede utilizar una fracción de canal para conformar canales de máscara variable. En la figura se observa que los canales Ch3, Ch5 y Ch7 se han agrupado para formar una máscara de 12 MHz. Donde cada canal aporta un ancho de banda de 4 MHz. Debido a esta fragmentación, la velocidad de datos en la máscara de 12 MHz se verá reducida, de manera proporcional con el ancho de banda de un canal de TV (i.e 18 Mbps). Esta variación dependerá de la demanda de la red y de la disponibilidad de los canales existentes en una determinada zona.



a. Esquema de canal contiguo



b. Esquema de canal no contiguo

Figura 2.11 Esquema de unión de canales.

Con estos esquemas es posible transmitir múltiples tipos de datos, como video streaming, archivos, audio, video y Voip. Por ejemplo, la velocidad de conexión de banda ancha recomendada para la transmisión de NETFLIX es de 3 Mbps para definición estándar (SD), 5 Mbps para alta definición (HD) y 25 Mbps para Ultra-Alta definición (UHD) [54]. Por otro lado, para servicios de Voip como SKYPE, el ancho de banda requerido por un usuario dependerá del tipo de llamada que se realice. Por ejemplo, para realizar una llamada la velocidad de transmisión recomendada es 100 Kbps, para video llamadas (pantalla compartida) es 300 Kbps, para video llamadas (HD) es 1.5 Mbps y video llamada grupal (3 personas) 2 Mbps, entre otros [55].

A continuación, la Tabla VIII muestra la velocidad de transmisión máxima por número de canales disponibles.

Tabla VIII Canales disponibles con su máxima velocidad de transmisión [20]

NÚMERO DE CANALES DISPONIBLES	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN
1 canal	18 Mbps
2 canales	36 Mbps
3 canales	54 Mbps
4 canales	72 Mbps
5 canales	90 Mbps

2.5.3 Estudios relacionados

El estándar IEEE 802.22 no ha sido desplegado en la actualidad. Sin embargo, existen diversos estudios que han demostrado la factibilidad de uso de esta tecnología mediante análisis de disponibilidad temporal y espacial dentro de la banda de TV [10-18], con lo que se ha comprobado que la utilización del espectro no es eficiente. Por ejemplo, un estudio realizado durante tres días en Yunnan (China) [13] demostró que la disponibilidad espectral dentro de la banda de TV es del 40.9%, donde dicha porción del espectro puede ser utilizada por técnicas basadas en OSA y así aprovechar el espectro de manera eficiente. Estudios similares se han realizado en

Singapur [10] donde alrededor del 50% de la banda de TV se encuentra disponible para OSA. Dichos resultados mostraron una alta disponibilidad espectral y la manera cómo estas varían en el tiempo.

De esta manera, los sistemas de radio cognitiva como el estándar IEEE 802.22 dispondrán de datos confiables en relación al uso y disponibilidad espacial y temporal del espectro en bandas de televisión en el Ecuador.

2.5.4 Tabla comparativa entre tecnologías

La Tabla IX muestra un cuadro comparativo entre las tecnologías implementadas en zonas rurales del Ecuador. En la cual podemos observar que el estándar IEEE 802.22 a pesar que su tasa de bits no es la más alta, marca una gran diferencia en la cobertura, duplicando a WiMAX. Con respecto a las bandas de frecuencias, el estándar IEEE 802.22 permite acceder a las bandas licenciadas de TV bajo ningún costo, y de esta manera poder ofrecer servicios de banda ancha en zonas rurales. A diferencia de la WiMAX que requiere bandas licenciadas para poder operar en zonas rurales.

Tabla IX Comparativa de los sistemas desplegados en el Ecuador [46] [47] [49] [51]

CARACTERÍSTICAS	DECT	CDMA-450	WiMAX	IEEE 802.22
Espectro	1910 – 1930 MHz.	450 - 470 MHz.	10-66 GHz	54 - 862 MHz
Tasa de bits	1.152 Mbps	3.1 Mbps	70 Mbps	18 Mbps
Cobertura	200 mts	40 Km	50 Km	100 Km
Bandas	Bandas Licenciadas	Bandas Licenciadas	Bandas Licenciadas / Bandas no licenciadas	Bandas Licenciadas
Movilidad	Fija	Móvil	Móvil	Fija / Móvil

CAPITULO 3

ESCENARIO DE ESTUDIO Y PROCESO DE MEDICIÓN DEL ESPECTRO

3.1 Introducción

En este capítulo se detallan las características del escenario en el cual se despliega nuestro estudio. Posteriormente, se describe como se realiza el proceso de medición, especificando los equipos y herramientas necesarias para llevar a cabo el análisis espectral en diferentes periodos de tiempo. Además, las expresiones matemáticas que definen las métricas dentro de nuestro análisis se describen a continuación.

3.2 Descripción del escenario

En este trabajo, el escenario de estudio corresponde a un despliegue típico en el contexto de radio cognitiva (e.g. IEEE 802.22), en el cual se aprecian dos zonas bien identificadas, una urbana y una rural, así también una zona de solape entre ellas, denominada zona semi-rural, como es mostrado en la Figura 3.1. A partir de esta zona, potencialmente se dispondría de una mayor disponibilidad de espectro licenciado lo cual facilitaría el despliegue de tecnologías de acceso oportunista al espectro (OSA), debido que la cobertura de la mayoría de los servicios de Telecomunicaciones se concentra en las zonas urbanas.

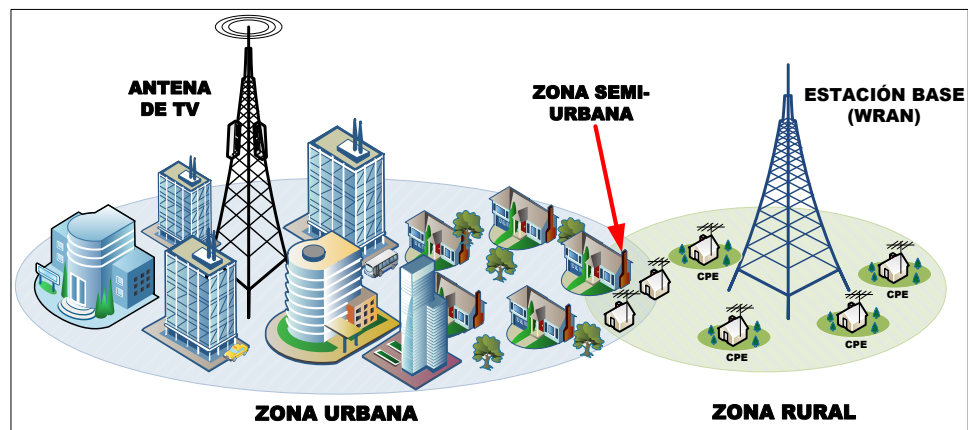


Figura 3.1 Escenario típico para el despliegue de tecnologías de radio cognitiva.

Por otro lado, en la Figura 3.2, se aprecia que la banda de análisis tiene un ancho de banda BW , donde cada canal i , tiene una máscara de canal de tamaño Δf , cuya separación entre ellos es $f_1+(N-1)\Delta f$, siendo f_1 el primer canal sujeta al estudio y N el número total de canales disponibles en la banda. De esta manera, cada frecuencia tiene asignado un número de canal Ch_i , que dependerá del ente regulador local.

Para la operación de OSA, se necesita que existan canales disponibles en una determinada zona. Esta se obtiene realizando un sensado del espectro radioeléctrico en la zona de despliegue o accediendo a bases de datos que contengan dicha información. De esta manera, cada canal de la banda en análisis es monitoreada para identificar que canales se encuentran disponibles y cuáles no, dependiendo del nivel de potencia recibida en la zona de despliegue y del horario, debido a que el nivel de recepción varía dependiendo de la hora en que se realizó la medición. Luego de obtener los resultados, los canales disponibles (i.e TVWS), pueden ser potencialmente utilizados para OSA.

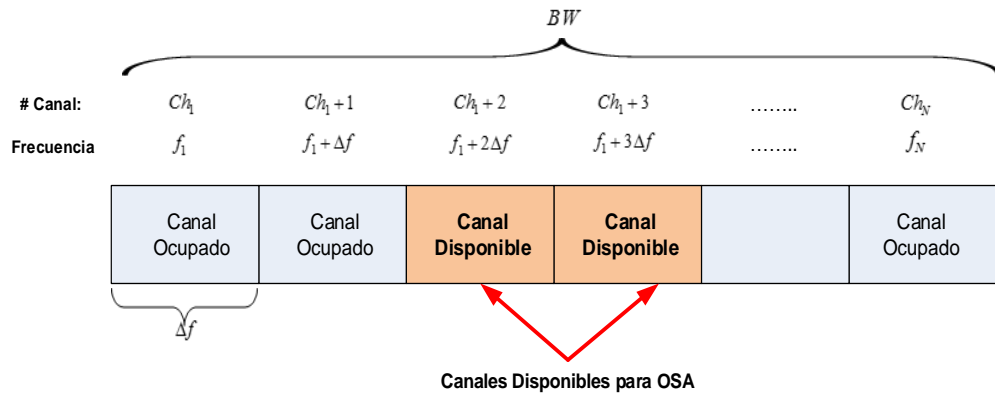


Figura 3.2 Caracterización del espectro para OSA

3.3 Descripción general del proceso de medición

El sistema de medición utilizado para este análisis es mostrado en la Figura 3.3. Este está conformado por una antena tipo disco, el mismo que se encuentra conectada a un subsistema de radiofrecuencia compuesta por un filtro pasa alto (f_H) y un filtro pasa bajo (f_L) que permitirán aislar la banda objeto de nuestro estudio, de interferencias y ruidos del entorno. Para compensar las pérdidas provocadas por ambos filtros, cables y conectores, se coloca a continuación un amplificador de bajo ruido, de manera que la señal deseada pueda ser analizada con mayor precisión. Luego un Analizador Espectral (SA) de alto rendimiento, recibe dicha señal depurada durante todo el proceso de medición. Posteriormente, todas las mediciones realizadas por el analizador de espectro se almacenan en una laptop, creando varios archivos para su posterior análisis, el

cual será analizado por medio del paquete de Software MATLAB (ver ANEXO).

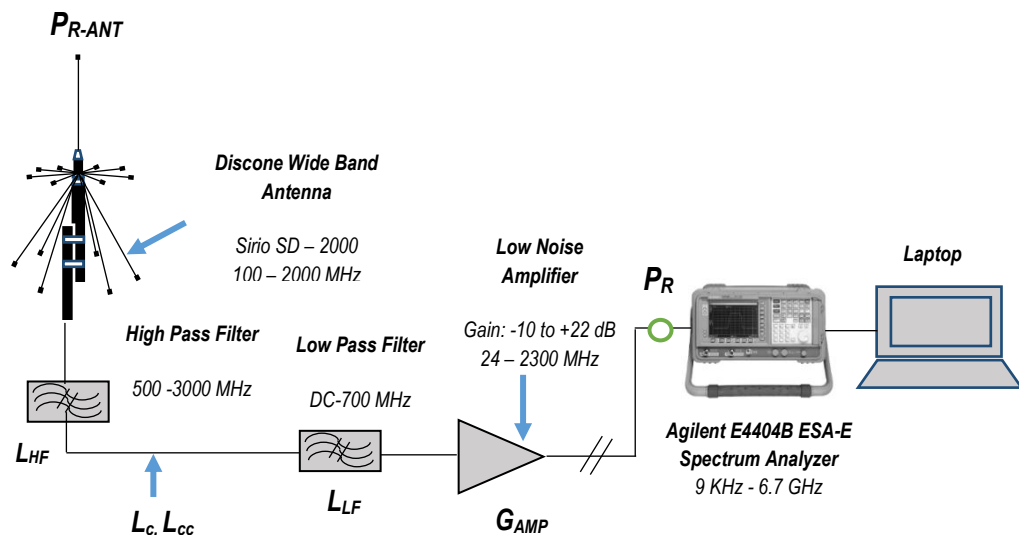


Figura 3.3 Esquema del sistema de medición

El sistema de medición mostrado en la Figura 3.3 puede dividirse en cuatro subsistemas, los mismos que desempeñan funciones específicas que permitieron obtener datos depurados con mayor precisión, tal como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 3.4, los mismos que se detallan a continuación.

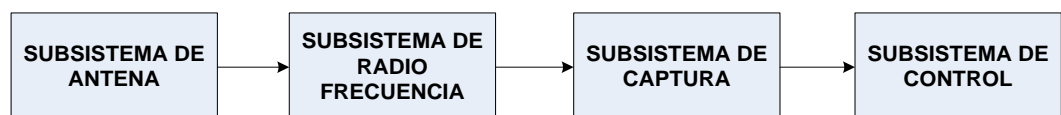


Figura 3.4 Diagrama de bloques del sistema de medición

3.3.1 Subsistema de antena

La antena seleccionada para este estudio, es una antena tipo Discono (SIRIO SD-2000) con polarización vertical y patrón omnidireccional en el plano horizontal, cubriendo el rango de frecuencias comprendido entre 100 y 2000 MHz. Este tipo de antena es ideal para escanear y monitorear señales licenciadas provenientes de todas las direcciones, las mismas que poseen polarización vertical, pero debido a sus propiedades son capaces de recibir señales de transmisores con polarización horizontal (e.g estaciones de televisión).

3.3.2 Subsistema de radio frecuencia

El subsistema de radio frecuencia fue diseñado en base a la antena seleccionada. Esta etapa comprende el filtrado y la amplificación de las señales (ver Figura 3.3). Los filtros pasa bajo (PE-8727 DC-700) y pasa alto (CHPFL-0500) son utilizados para remover las señales que se encuentren fuera del rango de interés, las mismas que pueden causar interferencia en el receptor incrementando el nivel de ruido y la aparición de señales no deseadas. Para compensar la pérdida ocasionada por cables y conectores, se utiliza un pre-amplificador de bajo ruido (Moonraker M-100), de esta manera podemos garantizar una medición más leal, reduciendo los niveles de interferencia y aumentando la sensibilidad total del sistema.

3.3.3 Subsistema de captura

Para realizar la captura de datos y registrar la actividad espectral durante todo el proceso de medición, utilizamos un analizador espectral (Agilent E4404B ESA-E Spectrum Analyzer) de alto rendimiento, el cual comprende un amplio rango de frecuencias comprendido desde 9 KHz hasta 6.7 GHz, bajos niveles de ruido, un amplio análisis de ancho de banda y varias interfaces de comunicación (e.g GPIB, serie y paralelo).

En general, los analizadores espectrales poseen altos niveles de sensibilidad, lo que quiere decir que pueden detectar la presencia de señales débiles, así como también poseen la habilidad de detectar varias señales simultáneamente con diferentes niveles de potencia en un amplio rango de frecuencias.

3.3.4 Subsistema de control

El subsistema de control es el que se encarga de supervisar el proceso de medición, obteniendo los datos de las mediciones desde el SA hacia la laptop (ver Figura 3.5). Estos resultados son almacenados en la misma para su posterior análisis. La laptop se encuentra conectado con el SA vía USB y tiene configurada una herramienta para la captura de datos en Microsoft Excel llamada *IntuiLink for ESA and PSA Spectrum Analyzers*. Esta herramienta permite obtener una secuencia repetitiva de las transferencias de datos de rastreo por

fecha/hora, asimismo como también permite la captura de imágenes de la pantalla del analizador espectral.

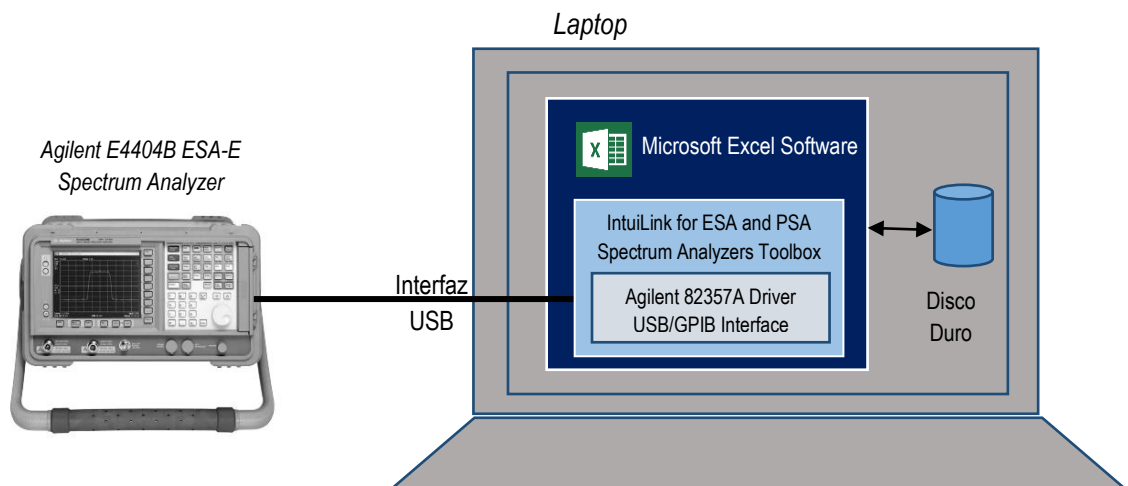


Figura 3.5 Subsistema de Control

Algoritmo de medición

El algoritmo implementado en el SA para medir los niveles de potencia en los canales de la banda de estudio, es descrito mediante el pseudocódigo mostrado en la Figura 3.6. Como se aprecia en esta figura, el algoritmo requiere ciertos parámetros de entrada para iniciar la operación, entre los que se tiene: frecuencia inicial (f_1) y frecuencia final (f_N) que hacen referencia a la frecuencia del primer y último canal que se quiere muestrear en la banda de TV. t_{start} es el tiempo que se

programa para que el SA empiece a tomar medidas. N es el número de canales a lo que se realizará el estudio. N_S es el número de muestras que se hará a cada canal. Por otro lado luego de ejecutado el algoritmo sobre el SA se obtiene como resultado un archivo que contiene una matriz de resultados (MR) con información de la fecha (*Date*), hora (*Time*), frecuencia del canal muestreado y nivel de potencia medido para ese canal ($P_{R,f}$), así también el número de muestra en que se realiza cada medición de canal.

El algoritmo inicia estableciendo la conexión entre el SA y la laptop (line: 1). Luego se inicializan los contadores de canal (i) y de muestreos (j), (line: 2). Una vez inicializado el SA mantiene en estado de espera hasta que el tiempo actual (t_c) sea mayor o igual al tiempo configurado para dar inicio a las mediciones (line: 3-5). Posteriormente el algoritmo pregunta si el número de muestras de la banda se ha completado (line: 6), de no ser el caso se pregunta si el total de canales ha sido analizado (line: 7), mientras no se hayan muestreado todos los canales de la banda se mantendrá en el lazo (line: 7-11). En cada muestreo j para cierto canal i , se almacena en MR, información de la fecha, la hora, la frecuencia y la potencia instantánea que fue medida en el canal para esa muestra (line: 9). Una vez revisados todos los canales de la banda de TV, se incrementa el contador de muestras (line: 12), de manera que esto se repite hasta que se alcanza el número de

muestras que han sido programadas. Finalmente el algoritmo almacena MR en un archivo (line: 14) para su posterior análisis y cierra la conexión entre el SA y la laptop (line: 15).

```

Entradas:  $f_1, f_N, t_{start}, N_s, N$ 
Resultados: Archivo con: Date, Time, Frequency and Power
1. La comunicacion entre el SA y la laptop es establecida.

2.  $i=1; j=1;$ 
   ; los contadores de medición son inicializados
3. while  $t_c < t_{start}$ 
4. Se mantiene en estado de espera hasta que el tiempo
   actual ( $t_c$ ) alcance el tiempo inicial ( $t_{start}$ ).
5. end
6. while  $j \leq N_s$ 
7.   while  $i \leq N$ 
8.     Comenzar el escaneo de canal i;
9.      $RM(j,i,4) = (Date_{i,j}, Time_{i,j}, f_{i,j}, P_{R,f_{i,j}});$ 
       ; información de la medición correspondiente al
       canal i y la muestra j son almacenados en la matriz de
       resultados.
10.     $i=i+1;$ 
11.   end

12.    $j=j+1; i=1;$ 
13. end
14. save MR in Archivo;
15. La comunicación entre el SA y la laptop es finalizada.

```

Figura 3.6 Pseudocódigo para escanear la banda de frecuencia de TV.

3.4 Presupuesto de enlace

Los resultados obtenidos por el SA corresponden a los niveles de potencia P_R mostrado en la figura 3.3, dicho valor es resultado de la compensación entre los elementos que producen pérdida (filtros,

cables y conectores) y aquellos que producen ganancia (amplificador y antena), de tal manera que la potencia real a la entrada de la antena, P_{R-ANT} , es aproximadamente igual a la P_R . Por lo tanto, la potencia con la que se realizará el análisis a lo largo de este trabajo será P_R . Para realizar la compensación entre la P_{R-ANT} y P_R se ha utilizado la siguiente expresión:

$$P_{R-Ant} = P_R + L_{HF} + L_{LF} - G_{Amp} - G_{Ant} + L_c + L_{cc} \quad (3.1)$$

Donde L_{HF} , L_{LF} , L_c y L_{cc} son las pérdidas ocasionadas por los filtros pasa-alto, pasa-bajo, cables y conectores respectivamente. G_{Amp} y G_{Ant} son las ganancias del amplificador y la antena correspondientemente.

3.5 Métricas para la evaluación de los datos

En esta sección se muestran las expresiones matemáticas que permiten establecer métricas para el análisis dentro del entorno de estudio del espectro radioeléctrico. Considerando que la potencia instantánea medida por el SA (P_R) no proporciona suficiente información para el análisis de muestreo en un cierto canal con frecuencia f_i , por tal razón una métrica que caracteriza mejor el comportamiento de dicho canal, es la potencia promedio, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\overline{P_{R,f_i}} = \frac{\sum_{j=1}^{N_S} P_{R,f_{i,j}}}{N_S} \quad (3.2)$$

Donde $P_{R,f_{i,j}}$ corresponde a la potencia instantánea medida por el SA en el canal f_i de la muestra j y N_S es el número total de muestras por canal. A partir de la ecuación 3.2 se ha determinado el nivel de ruido promedio del sistema (P_N). Para esto, se realizaron múltiples mediciones de canales de frecuencia que el regulador local aún no ha asignado a operador alguno.

Para determinar si ciertos canales están siendo utilizados o no, se ha considerado un umbral de detección (P_{TH}), el mismo que consiste de agregar al nivel de ruido P_N cierto margen de interferencia M [10]. De esta manera la potencia de umbral, se calcula de la siguiente manera:

$$P_{TH} = P_N + M \quad (3.3)$$

Con la finalidad de determinar si cierto canal i , está ocupado o no en una determinada muestra j , se define a continuación una métrica de utilización de canal:

$$UCh_{i,j} = \begin{cases} 1; & P_{R,f_{i,j}} \geq P_{TH} \\ 0; & \text{Otros} \end{cases} \quad (3.4)$$

Una vez definido el uso de canal, esta métrica es utilizada para calcular el Duty Cycle (DC) en cierto canal i , el cual indica el porcentaje de tiempo que un canal está ocupado, considerando N_s muestras, este se expresa de la siguiente manera:

$$DC_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} UCh_{i,j}}{N_s} \cdot 100 \quad (3.5)$$

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se establece la configuración de los parámetros utilizados para la medición de los canales de TV; así como la ubicación geográfica y el tiempo en el cual las mediciones fueron realizadas. Posteriormente se determinan los niveles de potencia de cada uno de los canales de TV y el ruido ambiental del sistema, los mismos que nos proporcionarán importantes resultados que nos permitirán determinar la disponibilidad espectral de la banda UHF-TV. Finalmente en base a la disponibilidad espectral se realiza un análisis que permite determinar los segmentos de espectro (i.e Canales de TV) en los cuales potencialmente podrían operar dispositivos con tecnología IEEE 802.22 en el Ecuador.

4.1 Configuración del sistema

4.1.1 Localización geográfica y duración de la medición

El proceso de medición, se lo realizó a través de una secuencia repetitiva de control para la adquisición de los datos como se mencionó en el capítulo 3, durante cinco días de manera consecutiva, la misma que se llevó a cabo en el sector de la Prosperina (Latitud $2^{\circ}08'40.1''S$ y Longitud $79^{\circ}58'03.8''W$), ubicado a las afueras de la ciudad de Guayaquil. Para nuestro estudio hemos usado el software RADIO MOBILE, el cual es una herramienta que nos permitió ubicar geográficamente el sistema de medición, el mismo que se realizó en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC) y el lugar donde se encuentran ubicados un grupo de Estaciones de TV (Cerro Azul), tal como se muestra en la Figura 4.1.

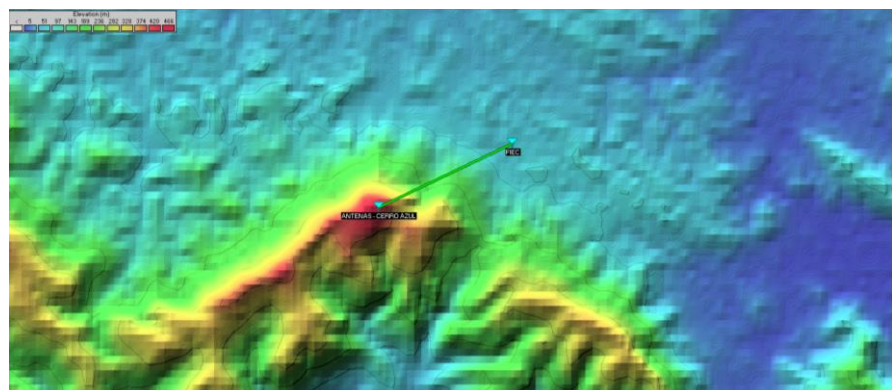


Figura 4.1 Localización Geográfica Cerro Azul-Fiec (ESPOL)

4.1.2 Parámetros de configuración

Para este estudio la banda de análisis corresponde a la banda de TV en el Ecuador, en particular la banda UHF, debido a que los canales de Televisión Digital Terrestre (TDT) operan en dicha banda. Esta comprende canales de frecuencias desde 512 MHz hasta 698 MHz (i.e. canales del 21 al 51), con un ancho de canal de 6 MHz, como se mencionó en la sección 2.3.2. A continuación en la Tabla X se muestran los parámetros de configuración del SA y otros necesarios para realizar este estudio. El número de muestras por canal, N_S fue calculado considerando una lectura de toda la banda de estudio por minuto durante los cinco días de medición. Nótese que para los canales analógicos, la medición se realizó considerando la portadora de video de cada canal. Por otro lado, para los canales digitales se realizó la medición en el centro del canal. Para ambos casos, la distancia entre canales fue Δf .

Tabla X Parámetros de configuración

Parámetros	Valores
Ancho de Banda, BW	512-698 MHz
Ancho de banda del canal, Δf	6 MHz
Frecuencia inicial, f_1	515 MHz
Frecuencia Final, f_N	695 MHz
Canal Inicial, Ch_1	21
Canal Final, $Ch_i i=1, \dots, N$	51
Numero de canales, N	30
Numero de muestras por canal, N_S	7200
Potencia promedio de ruido, P_N	-78.652 dBm
Margen de Interferencia, $M [10]$	10 dBm,
Potencia umbral (3), P_{TH}	-68.652 dBm

4.1.3 Cálculo del nivel de ruido

Para determinar la potencia promedio del ruido ambiental (P_N), hemos considerado la potencia de todos los canales de TV que no se encuentran transmitiendo [42] (e.g. $Ch_{28} = 49 - Ch_{30} = 51$) debido a que no se les ha asignado una concesión, tal como se mostró en la Figura 2.9. Para lo cual, se obtuvo un total de 28800 muestras durante los cinco días de medición. Dichas niveles de potencia fueron promediados, utilizando la ecuación 3.2, dando como resultado un nivel de ruido promedio de -78.652 dBm con una desviación estándar $\sigma = \pm 0.2153$. Lo que indica que los niveles de ruido varían entre -77.849 y -78.867 dBm en dichos canales.

4.2 Análisis de los niveles de potencia en la banda UHF-TV

El análisis propuesto tiene como objetivo principal determinar el comportamiento de cada uno de los canales asignados a la banda UHF-TV (i.e. $Ch_1=21$ - $Ch_{30}=51$). Para esto, las métricas definidas en el capítulo anterior, son cuantificadas. Notemos que el segmento de banda 608-614 MHz, correspondiente al $Ch_{17}=37$, no es analizado debido a que este rango de frecuencias está destinado para Radio Astronomía [39].

4.2.1 Potencia promedio recibida en canales de TV

La Figura 4.2 muestra la potencia promedio recibida de los canales correspondientes a la banda UHF-TV, la misma que se realizó durante cinco días consecutivos. En la misma se puede observar la potencia promedio de los canales UHF en cuatro horarios establecidos (i.e. 00H00-06H00, 06H00-12H00, 12H00-18H00 y 18H00-24H00), donde el umbral de detección ($P_{TH} = -68.652 \text{ dBm}$) se utiliza para determinar el estado de los canales de TV dependiendo de la intensidad de la señal recibida. Por ejemplo, los canales cuya potencia promedio se encuentra por encima del umbral de detección, son considerados como canales ocupados (e.g $Ch_1 = 21$ - $Ch_{10} = 30$). Esto quiere decir, que dichos canales se encuentran operando continuamente durante todo el tiempo de muestreo. En la Figura 4.3, se puede

apreciar que el color del $Ch_1 = 21$ es rojo durante la mayor parte del día, a pesar de las fluctuaciones que presenta en el horario de 00H00-06H00, sin embargo esto no altera su estado.

Por otro lado, los canales cuya potencia promedio se encuentra por debajo del umbral de detección, son considerados como canales desocupados, lo que quiere decir que poseen una alta disponibilidad para el uso de sistemas de radio cognitiva (IEEE 802.22), como son por ejemplo los canales comprendidos entre $Ch_{13} = 44$ y $Ch_{26} = 47$ (ver Figura 4.2). Dichos canales pueden ser observados en la Figura 4.3 con una tonalidad azul, debido a que sus valores de potencia promedio son inferiores a -70 dBm. Si se analiza el comportamiento del $Ch_{27} = 48$, se observa que sus niveles de potencia mostrados en la Figura 4.2 se encuentran muy cercanos al umbral de detección, esto es representado con una tonalidad celeste en la Figura 4.3. Esto indica, que el estado del canal es intermitente durante el día, en otras palabras, el canal es considerado disponible en ciertas horas del día, mientras que en otras, se encuentra ocupado. En el caso de $Ch_{27} = 48$, observamos que en el horario de 00H00-12H00 el canal se encuentra disponible (tonalidad azul) mientras que en el resto del día el canal se encuentra ocupado (tonalidad turquesa).

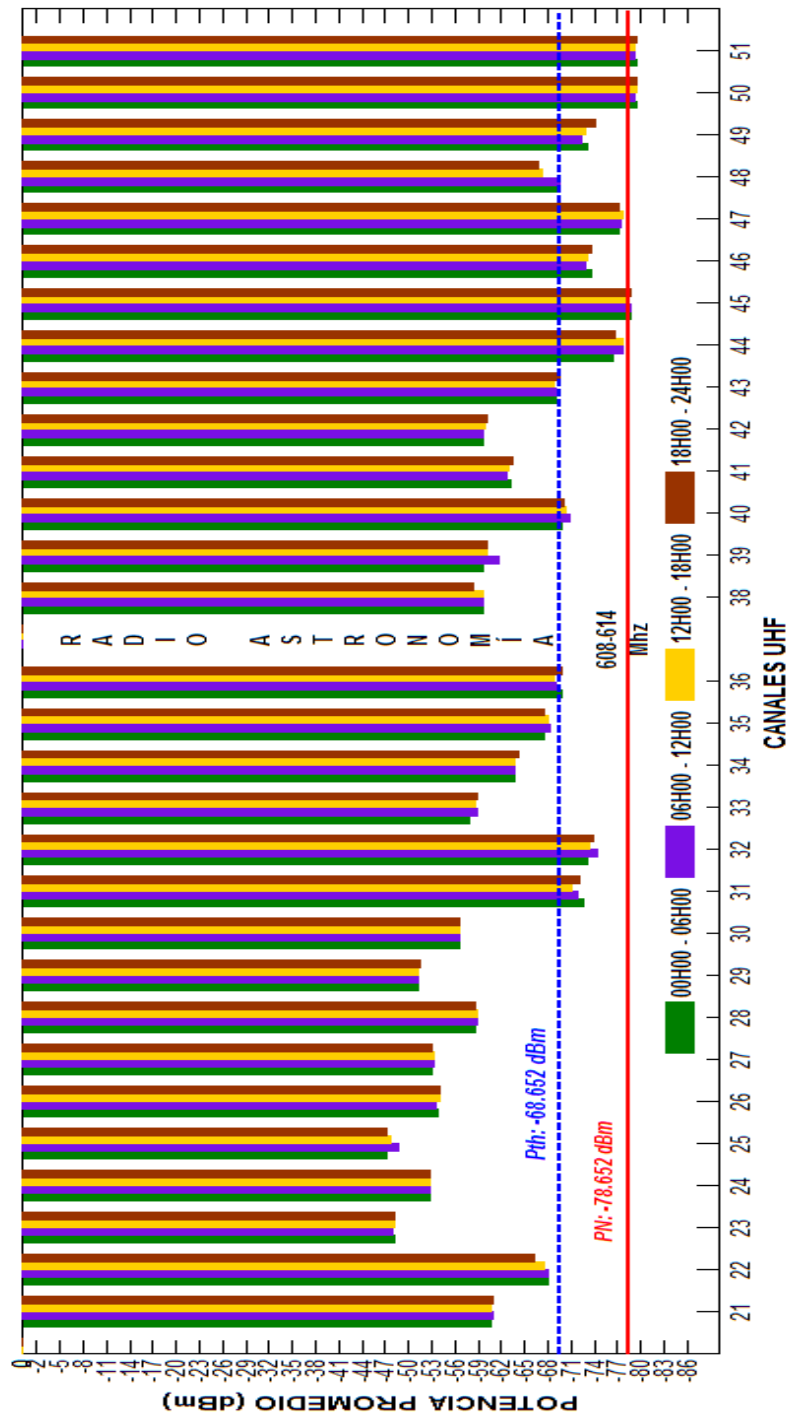


Figura 4.2 Potencia Promedio por canal de TV

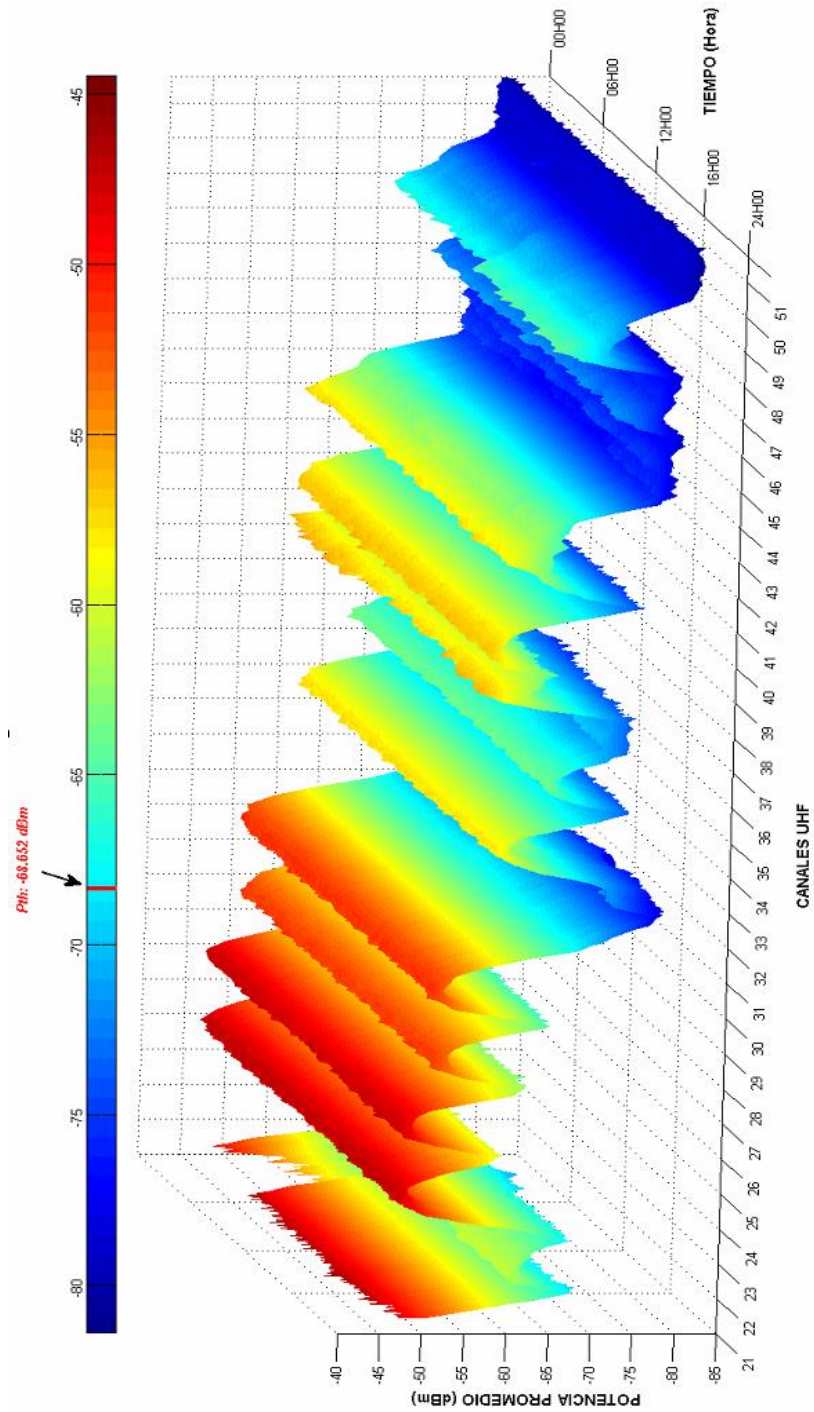


Figura 4.3 Comportamiento temporal de la potencia recibida en la banda UHF-TV

4.3 Disponibilidad temporal de canales

En las Figura 4.4 y 4.5 se muestra el DC de los canales de TV, donde se aprecia el nivel de actividad promedio de cada canal dentro de la banda UHF. Para este estudio, se ha considerado un criterio en el cual los canales con un ciclo de trabajo inferior al 50 % ($DC < 50\%$), son considerados como canales idóneos (disponibles) para la aplicación del estándar IEEE 802.22. Por otro lado, el comportamiento de los canales de TV no es uniforme en el tiempo, se ha realizado un análisis temporal en intervalos de una hora. El mismo que tiene como objetivo descubrir la disponibilidad que presenta un canal de TV en determinado horario.

4.3.1 Ciclo de trabajo de los canales de TV

En la Figura 4.4 se puede observar por ejemplo, que los canales comprendidos entre el $Ch_1 = 21$ y $Ch_{10} = 30$ tienen un ciclo de trabajo superior al 50%, lo cual indica, que estos canales no se encuentran disponibles para OSA. Comportamientos similares se observan en los canales $Ch_{13} = 33 - Ch_{15} = 35$, $Ch_{17} = 38 - Ch_{18} = 39$, $Ch_{20} = 41 - Ch_{21} = 42$ y $Ch_{27} = 48$. Por otra parte, se encuentran canales que no tienen actividad alguna, como lo son los canales $Ch_{21} = 44$, $Ch_{24} = 45$, $Ch_{26} = 47$, $Ch_{28} = 49$, $Ch_{29} = 50$ y $Ch_{30} = 51$ cuyo ciclo de trabajo es cero por ciento.

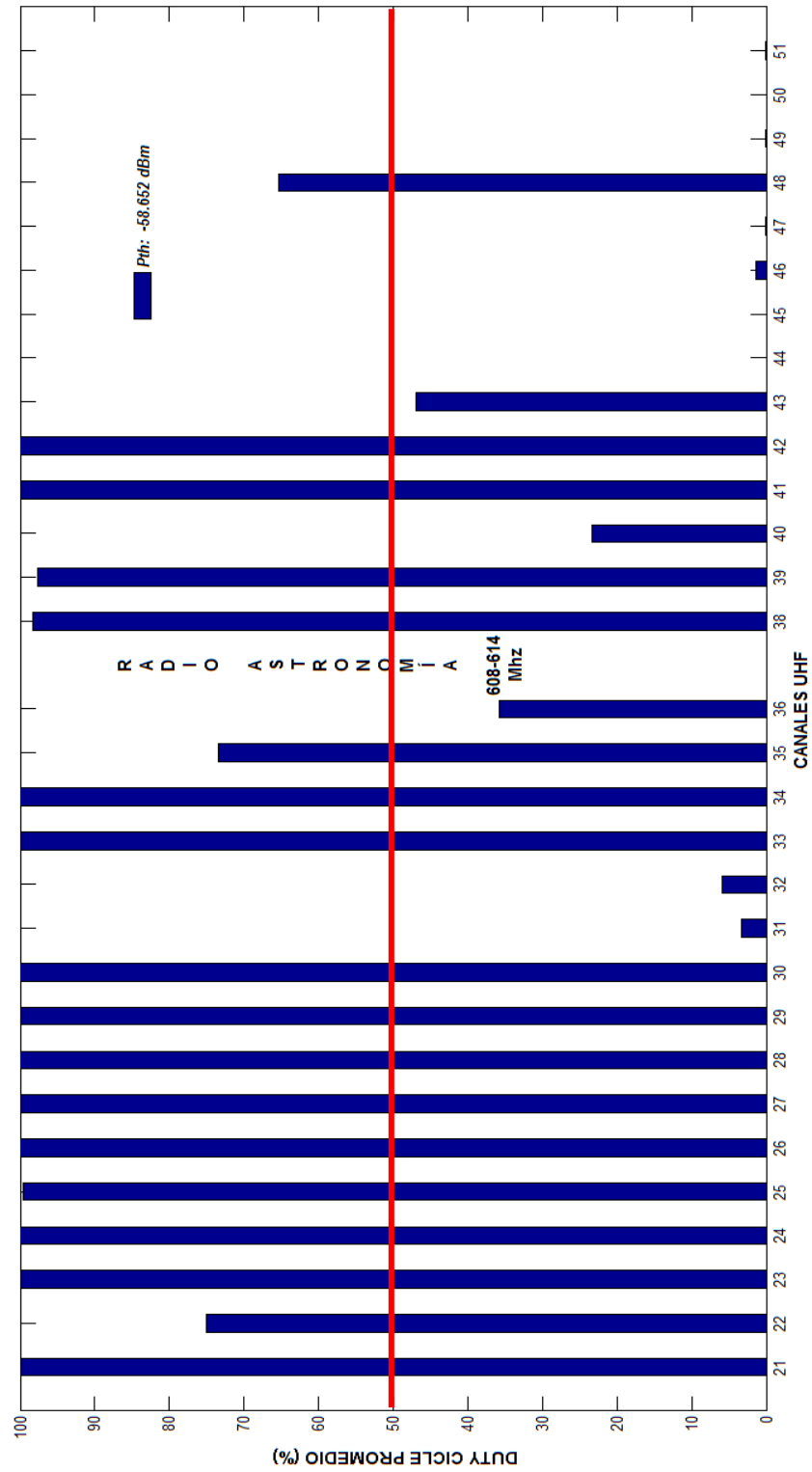


Figura 4.4 Ciclo de trabajo (DC) promedio por canal de TV

En la Figura 4.5 se muestra la disponibilidad o uso de los canales de TV durante 24 Horas. Esta gráfica claramente ilustra en que momentos del día los canales poseen mayor disponibilidad para OSA. Como por ejemplo, el tono oscuro en el $CH_1=21$ indica que el canal se encuentra ocupado durante todo el día, esto es consistente con el DC de 100% de actividad mostrado en la Figura 4.4. Por otro lado, $CH_{27}=48$ tiene diferentes porcentajes de disponibilidad a lo largo del día, el mismo que corresponde a los tonos medios de la leyenda mostrada en la gráfica. Quiere decir que mantiene una disponibilidad intermitente debido que sus DC varían entre el 54% y 78.67%. Finalmente, hay canales que se encuentran disponibles durante todo el día, como lo son por ejemplo $CH_{23}=44$ – $CH_{30}=51$ (excepto $CH_{27}=48$), los mismos que representan el 20% y poseen una tonalidad clara, la misma que representa un estado disponible durante el día.

Con estos resultados es posible analizar diversas tecnologías inalámbricas basadas en RC, lo que permitirá utilizar los canales disponibles dentro de la banda UHF-TV para transmitir datos. En este caso, el estándar IEEE 802.22 (WRAN) puede utilizar canales contiguos y no contiguos para su despliegue como fue explicado en el capítulo 2, donde el tamaño de la

máscara puede variar dependiendo de la máxima tasa de datos requerida.

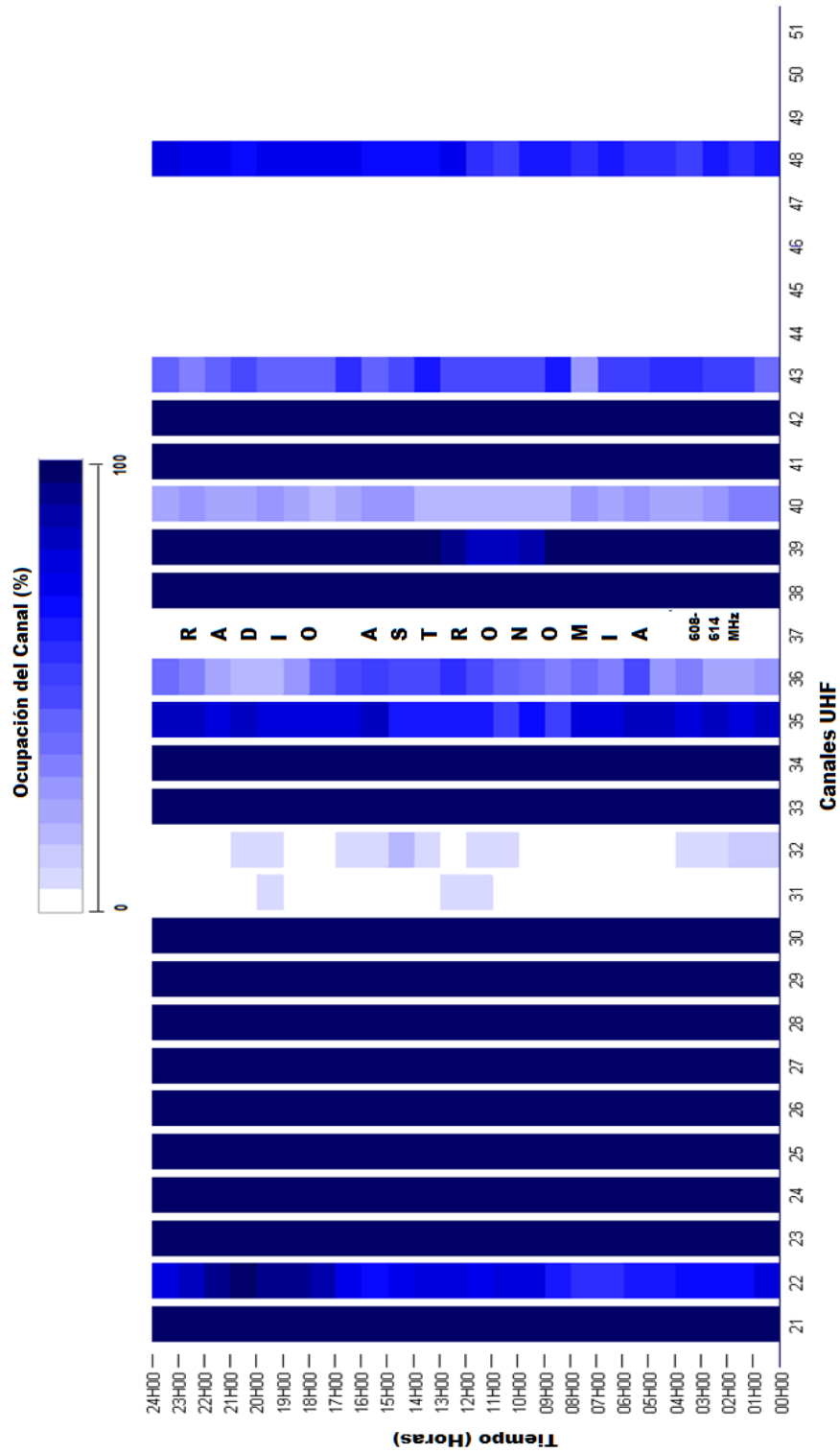


Figura 4.5 Ciclo de trabajo promedio por hora de los canales UHF

4.3.2 Análisis de disponibilidad espectral en la banda UHF-TV

A continuación, la tabla XI muestra en detalle, el ciclo de trabajo promedio por día en los canales de TV. Donde podemos apreciar que existen canales que muestran una actividad espectral disimilar durante todo el proceso de medición, en particular podemos observar los canales que presentan intermitencia durante los cinco días. Como es el caso de $CH_{27}=48$, donde observamos que su DC el día 1 muestra una actividad del 23.82% mientras que el día 4 su actividad incrementa a 81.18%, lo que indicaría que para el día 1 este canal se mostraría como un canal disponible debido a su variación en el tiempo, mientras que el día 4 se presentaría como canal ocupado. Comportamientos similares podemos observar en los canales $CH_2=22$, $CH_{15}=35$, $CH_{16}=36$, $CH_{19}=40$, los mismos que no son constantes en el tiempo.

También podemos observar que el porcentaje de espectro utilizado en total por los canales UHF-TV es del 60.85% (109.54 MHz), lo cual indica que posee una disponibilidad espectral del 39.15% (70.46 MHz) y esta porción espectral puede ser utilizada para futuros despliegues de sistemas inalámbricos con tecnología OSA y esta manera optimizar el uso del espectro.

Tabla XI Ocupación del espectro por canal de TV durante el periodo de medición

Canal De TV	Rango de Frecuencia (MHz)	Ciclo de Trabajo Promedio Día 1	Ciclo de Trabajo Promedio Día 2	Ciclo de Trabajo Promedio Día 3	Ciclo de Trabajo Promedio Día 4	Ciclo de Trabajo Promedio Día 5	Promedio De los cinco días	Espectro utilizado (MHz)
21	512-518	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
22	518-524	71.53%	81.90%	90.78%	79.86%	50.69%	74.95%	4.50
23	524-530	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
24	530-536	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
25	536-542	100%	100%	97.99%	100%	100%	99.60%	5.98
26	542-548	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
27	548-554	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
28	554-560	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
29	560-566	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
30	566-572	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
31	572-578	1.25%	2.39%	2.87%	4.51%	5.63%	3.33%	0.20
32	578-584	12.92%	8.94%	3.70%	1.74%	2.43%	5.95%	0.36
33	584-590	99.86%	100%	100%	100%	100%	99.97%	6
34	590-596	99.93%	100%	99.37%	100%	99.93%	99.85%	5.99
35	596-602	59.10%	77.43%	75.35%	82.22%	73.89%	73.60%	4.42
36	602-608	47.22%	35.85%	31.73%	26.81%	37.36%	35.79%	2.15
38	614-620	98.40%	98.24%	98.46%	97.57%	97.99%	98.13%	5.89
39	620-626	100%	100%	87.92%	100%	100%	97.58%	5.86
40	626-632	32.36%	21.94%	32.36%	16.60%	14.03%	23.46%	1.41
41	632-638	100%	100%	100%	100%	100%	100%	6
42	638-644	99.93%	99.72%	99.86%	99.86%	99.86%	99.85%	5.99
43	644-650	46.94%	38.61%	47.36%	50.63%	51.18%	46.94%	2.82
44	650-656	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0
45	656-662	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0
46	662-668	0.14%	0.85%	2.03%	2.29%	1.25%	1.31%	0.08
47	668-674	0%	0%	0.07%	0.07%	0%	0.03%	0
48	674-680	23.82%	67.18%	75.33%	81.18%	78.54%	65.21%	3.91
49	680-686	0.07%	0.07%	0%	0.21%	0.07%	0.08%	0.01
50	686-692	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0
51	692-698	0%	0%	0%	0.07%	0%	0.01%	0
Total de espectro utilizado (MHz)								109.54
Total de espectro disponible (MHz)								70.46
Promedio de espectro utilizado (%)								60.85%

4.4 Canales disponibles para la implementación del Estándar IEEE.802.22

De acuerdo con el análisis realizado previamente, se ha determinado el número de canales disponibles dentro del escenario de estudio, el mismo que será considerado por los entes reguladores como la base de datos modelo a seguir para el despliegue del estándar IEEE 802.22. Con estos resultados es posible analizar las diferentes tecnologías inalámbricas que pueden desplegarse por medio de dichos canales disponibles para transmitir datos. En este caso, el estándar (WRAN) IEEE 802.22 ha sido estudiado para determinar el número de canales disponibles. Como se mencionó en la sección 2.5.2, IEEE 802.22 puede utilizar canales contiguos y no-contiguos para su despliegue, donde la máscara variará dependiendo de la velocidad de datos máxima requerida por los usuarios.

A continuación, la Tabla XII muestra el número de canales que se encuentran disponibles por periodos de una hora, dependiendo del tamaño de la máscara. El análisis se lo realiza para ambos esquemas de canal: contiguo y no-contiguo respectivamente, donde se puede observar, que para el caso de canal no-contiguo se pueden obtener más números de canales disponibles que para canal contiguo. Notemos, que para ambos casos, el número de canales disponibles disminuye con el incremento del tamaño de la máscara. Por ejemplo,

con una máscara de 18 MHz es posible obtener un total de 2 canales contiguos y 4 canales no-contiguos en el horario de 09H00-12H00, mientras que en el horario de 12H00-14H00 el número de canales no-contiguos de 18 MHz se reduce a 3. Esto se debe a la intermitencia de los canales de $CH_{16}=36$ y $CH_{22}=43$ en este horario (ver Figura 4.5). Podemos apreciar también, que es posible obtener máscaras de canal de hasta 30 MHz con el esquema de canal contiguo, en este caso solo se puede formar un canal como máximo con este tamaño de máscara, el mismo que está conformado por los canales del $CH_{22}=43$ - $CH_{26}=47$. Este canal se puede utilizar para OSA por ejemplo en horarios de 09H00-13H00 y 17H00-24H00, mientras que existen horarios en los que este canal no se encuentra disponible como por ejemplo de 01H00-07H00 o 13H00-14H00. Esto es debido a la intermitencia que produce el $CH_{22}=43$ en estos horarios. También podemos observar que en el caso de canal no-contiguo siempre se pueden formar 2 canales de 30 MHz. Por ejemplo, se puede formar un canal de 30 MHz con la unión de los canales $CH_{11}=31$, $CH_{16}=36$, $CH_{19}=40$, $CH_{22}=43$ y $CH_{24}=45$ (ver Figura 4.5). En el caso de que uno de estos canales ya no se encuentre disponible, puede inmediatamente ser reemplazado por uno que si se encuentre disponible como lo son $CH_{12}=32$ o $CH_{29}=50$.

La disponibilidad de un canal WRAN depende de la disponibilidad existente de los canales de TV en un horario determinado.

Tabla XII Números de canales contiguos y no-contiguos disponibles para OSA con esquema de máscara variable

HORARIO \ MÁSCARA		NÚMEROS DE CANALES									
		CANAL CONTIGUO					CANAL NO-CONTIGUO				
		6 MHz	12 MHz	18 MHz	24 MHz	30 MHz	6 MHz	12 MHz	18 MHz	24 MHz	30 MHz
00H00	01H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
01H00	02H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
02H00	03H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
03H00	04H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
04H00	05H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
05H00	06H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
06H00	07H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
07H00	08H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
08H00	09H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
09H00	10H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
10H00	11H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
11H00	12H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
12H00	13H00	11	4	2	1	1	11	5	3	2	2
13H00	14H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
14H00	15H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
15H00	16H00	11	4	2	1	1	11	5	3	2	2
16H00	17H00	11	4	2	1	0	11	5	3	2	2
17H00	18H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
18H00	19H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
19H00	20H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
20H00	21H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
21H00	22H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
22H00	23H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2
23H00	24H00	12	4	2	1	1	12	6	4	3	2

A continuación, la Tabla XIII muestra la lista de los canales idóneos para la aplicación del estándar IEEE 802.22, los mismos que fueron determinados por medio del criterio del DC < 50%, descrito en la sección 4.3. Donde podemos apreciar que existen doce canales disponibles en promedio que pueden ser utilizados para OSA en el sector de la Prosperina (ESPOL). Dichos canales muestran una alta disponibilidad espectral según los análisis de ciclo de trabajo (DC) realizados previamente en la sección 4.3. El número de canales disponibles puede variar según el horario (ver Figura 4.5), por tal razón canales intermitentes como $Ch_{16}=36$ y $Ch_{22}=43$ no se encontrarán disponibles en ciertos periodos del día, como en horarios de 12H00-13H00 y 15H00-16H00 para $Ch_{16}=36$ y de 01H00-07H00, 08H00-09H00, 13H00-14H00 y 16H00-17H00 para $Ch_{22}=43$.

Tabla XIII Lista de canales idóneos para IEEE 802.22

No.	Canal
1.-	$Ch_{11} = 31$
2.-	$Ch_{12} = 32$
3.-	$Ch_{16} = 36$
4.-	$Ch_{19} = 40$
5.-	$Ch_{22} = 43$
6.-	$Ch_{23} = 44$
7.-	$Ch_{24} = 45$
8.-	$Ch_{25} = 46$
9.-	$Ch_{26} = 47$
10.-	$Ch_{28} = 49$
11.-	$Ch_{29} = 50$
12.-	$Ch_{30} = 51$

La Tabla XIV muestra la velocidad total de la banda de acuerdo al tamaño de la máscara. Cabe indicar que las velocidades obtenidas para los canales no-contiguos es superior al de los canales contiguos, esto ocurre debido a que se tiene a disposición más números de canales disponibles para canales no-contiguos (ver Tabla XII). Además, mientras aumente el tamaño de la máscara, la velocidad de los canales contiguos y no-contiguos disminuirán, esto se debe a que la velocidad de una canal con baja disponibilidad limitará a un canal con alta disponibilidad, logrando que la velocidades disminuyan considerablemente.

Por ejemplo para una máscara de 12 MHz es posible alcanzar una velocidad de 143.28 Mbps en canales contiguos y 167.4 Mbps en los no-contiguos en el horario de las 06H00-07H00. Este incremento ocurre debido que en los canales no-contiguos se dispone de dos canales adicionales (i.e. $Ch_{16}=36$ y $Ch_{20}=40$) que permite que la tasa de velocidad aumente. Además se observa que en el horario de las 18H00-19H00, la velocidad del canal no-contiguo es mayor al del horario de las 06H00-07H00, esto ocurre porque se dispone de dos canales adicionales (i.e. $Ch_{26}=46$ y $Ch_{30}=50$) a parte de los canales $Ch_{16}=36$ y $Ch_{20}=40$.

Por otra parte, la mayor tasa de velocidad (i.e. 178.74 Mbps) para una máscara de 18 MHz se la consigue en los canales no-contiguos, en el horario de las 21H00-22H00. A pesar que el canal $Ch_{23}=43$ limite a los canales $Ch_{25}=45$ y $Ch_{27}=47$, el resto de canales tienen una disponibilidad superior al 70% permitiendo que puedan transmitir a altas velocidades, en especial los canales $Ch_{24}=44$, $Ch_{30}=50$ y $Ch_{31}=51$ que tienen una disponibilidad del 100%, lo que les permite transmitir a la máxima velocidad posible (18 Mbps por canal).

Para una máscara de 30 MHz, se observa que en el horario de las 09H00-10H00 no es posible transmitir en el esquema de canales contiguos, debido que no hay ningún canal disponible (ver Tabla XII) a diferencia del esquema de canal no-contiguo (i.e. $Ch_{11}=31$ - $Ch_{16}=36$ - $Ch_{20}=40$ - $Ch_{23}=43$ - $Ch_{25}=45$ y $Ch_{12}=32$ - $Ch_{24}=44$ - $Ch_{26}=46$ - $Ch_{29}=49$ - $Ch_{31}=51$) que tiene 2 canales

disponibles, lo que permite transmitir a una velocidad de 135.3 Mbps. Por otra parte, en el horario de las 13H00 -14H00, se puede transmitir a 35.7 Mbps con canal contiguo y a 129.6 Mbps con canal no-contiguo (i.e. $Ch_{11}=31-Ch_{16}=36-Ch_{20}=40-Ch_{25}=45-Ch_{30}=50$ y $Ch_{12}=32-Ch_{24}=44-Ch_{26}=46-Ch_{29}=49-Ch_{31}=51$). A pesar que el canal $Ch_{23}=43$ se encuentra ocupado, los canales $Ch_{27}=47$ y $Ch_{30}=50$ se encuentran disponibles para OSA.

Tabla XIV Velocidad de transmisión en canales contiguos y no-contiguos con esquema de máscara variable

HORARIO \ MÁSCARA		VELOCIDAD (Mbps)									
		CANAL CONTIGUO					CANAL NO-CONTIGUO				
		6 MHz	12 MHz	18 MHz	24 MHz	30 MHz	6 MHz	12 MHz	18 MHz	24 MHz	30 MHz
00H00	01H00	195,18	138,214	107,421	71,2286	55,5	195,18	186,386	169,1614	145,063	132
01H00	02H00	184,98	138,48	106,92	70,56	42,3	184,98	166,8	134,82	103,44	136,5
02H00	03H00	187,32	141,12	107,64	71,52	0	187,32	169,44	141,84	107,52	147
03H00	04H00	186,18	139,8	106,38	69,84	0	186,18	164,88	139,32	105,84	144,9
04H00	05H00	187,32	141,96	107,28	71,04	0	187,32	168,6	144,9	108,24	152,7
05H00	06H00	184,44	142,92	107,46	71,28	0	184,44	162,24	135,36	92,4	136,5
06H00	07H00	187,2	143,28	107,46	71,28	0	187,2	167,4	143,28	103,2	149,7
07H00	08H00	198,6	142,68	106,56	70,08	0	198,6	190,56	177,84	149,28	144,3
08H00	09H00	187,72	143,014	107,634	71,7526	34,8	187,718	167,138	142,8866	106,327	148,4536
09H00	10H00	196,62	142,56	106,92	70,8	0	196,62	183,24	167,04	142,56	135,3
10H00	11H00	193,56	139,68	106,38	70,08	46,5	193,56	179,4	161,28	138	128,4
11H00	12H00	193,62	141	107,1	71,04	47,1	193,62	179,64	161,64	136,8	131,7
12H00	13H00	183,6	140,76	107,28	71,04	48	183,6	161,04	133,56	96,24	133,8
13H00	14H00	183,36	140,88	106,92	71,04	35,7	183,36	159,12	131,04	94,8	129,6
14H00	15H00	189,48	138,36	107,82	71,76	0	189,48	174,96	154,44	124,08	121,8
15H00	16H00	184,74	141	107,46	71,28	58,8	184,74	164,52	138,78	100,56	142,2
16H00	17H00	183,3	141,24	107,46	71,28	38,4	183,3	160,2	132,3	93,12	131,4
17H00	18H00	195,78	142,8	107,64	71,52	0	195,78	183,24	166,86	139,44	138
18H00	19H00	198,42	142,44	107,64	71,52	53,4	198,42	190,2	177,48	150,48	141,6
19H00	20H00	197,64	140,04	107,28	71,04	52,8	197,64	192,12	174,96	155,76	136,2
20H00	21H00	198,12	140,88	107,28	71,04	49,2	198,12	190,2	174,6	154,32	132,6
21H00	22H00	199,02	142,44	107,46	71,28	53,4	199,02	191,16	178,74	153,12	140,4
22H00	23H00	197,46	141,48	106,56	70,08	61,5	197,46	189,72	176,58	149,76	145,2
23H00	24H00	197,28	142,32	108	72	54	197,28	187,08	172,62	146,4	139,8

La Figura 4.6 muestra el número promedio de canales disponibles con relación al tamaño de la máscara, para canales contiguos y no-contiguos correspondiente al estándar IEEE 802.22. La Figura ilustra que para canales no-contiguos se pueden obtener un mayor número de canales disponibles que para canales contiguos. Por ejemplo, con una máscara de 12 MHz es posible obtener en promedio 4 canales contiguos y 6 canales no-contiguos. Esta Figura muestra el comportamiento de los canales en promedio a lo largo de todo el proceso de medición.

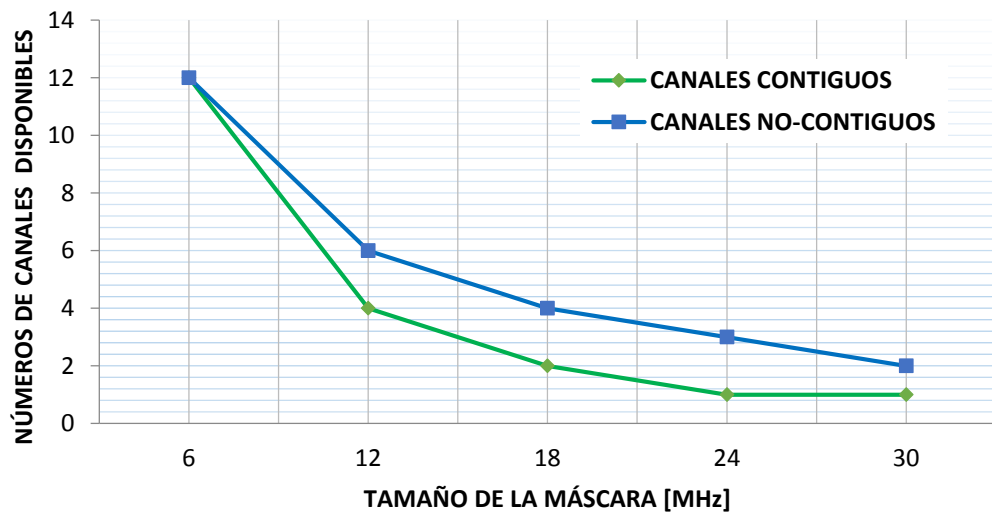


Figura 4.6 Números de canales disponible vs Tamaño de la Máscara

Por otra parte, la Figura 4.7 muestra las velocidades promedio en relación al tamaño de la máscara, donde podemos apreciar que es posible alcanzar en promedio 138.33 Mbps si utilizamos simultáneamente los dos canales de 30 MHz, con el esquema de canal no-contiguo.

Donde cada canal puede transmitir a un máximo de 90 Mbps si todos los canales que conforman la máscara de 30 MHz se encuentran disponibles en su totalidad (i.e DC= 0%), caso contrario, su tasa de transmisión de datos se verá reducida dependiendo del DC de los canales que conformen la máscara. IEEE 802.22 ofrece 1.5 Mbps por usuario, lo que equivale a 12 usuarios simultáneos en una máscara de 6 MHz [20], pero es posible asignar más ancho de banda combinando dos o más canales. En otras palabras, con 5 canales no-contiguos es posible administrar hasta 60 usuarios, por cada grupo de canales de 5 canales no-contiguos, pero este número puede variar debido a que los canales pueden ser combinados, para ofrecer mayor velocidad de datos. Por medio de la Tabla XII, se ha determinado que el máximo número de canales en promedio, se lo obtiene con una máscara de 6 MHz (i.e 12 canales disponibles) en esquema de canal contiguo, obteniendo así un total de 144 usuarios WRAN.

En el capítulo 2, la velocidad de datos recomendada para las diferentes calidades de video streaming (i.e NETFLIX) fue explicada. Con estos requerimientos, el número máximo de usuarios que pueden transmitir video con SD (3 Mbps) en los dos grupos de 5 canales no-contiguos es 46. En el

caso de HD, la velocidad de datos necesaria es de 5 Mbps, lo que equivale a un total de usuarios simultáneos de 27. En el caso de UHD (25 Mbps), podrían transmitir 2 usuarios.

En esta Figura también podemos apreciar, que para ambos esquemas de canal se puede alcanzar una velocidad promedio de 191.28 Mbps, si utilizamos de manera simultánea todos los canales disponibles con máscaras de 6 MHz. Con este requerimiento, el número máximo de usuarios que pueden realizar llamadas en SKYPE (100 Kbps) es 1912. Para video llamadas en HD (1.5 Mbps) el número de usuarios es 127. Para llamadas grupales (3 personas) la velocidad por usuario es 2 Mbps, lo cual equivale a 95 usuarios simultáneos.

En resumen, con la disponibilidad actual, la posibilidad de ofrecer video streaming con calidades SD, HD y UHD y servicios de Voip a múltiples usuarios en una zona semi-rural es mayor que antes cuando era imposible ofrecer estos tipos de servicios.

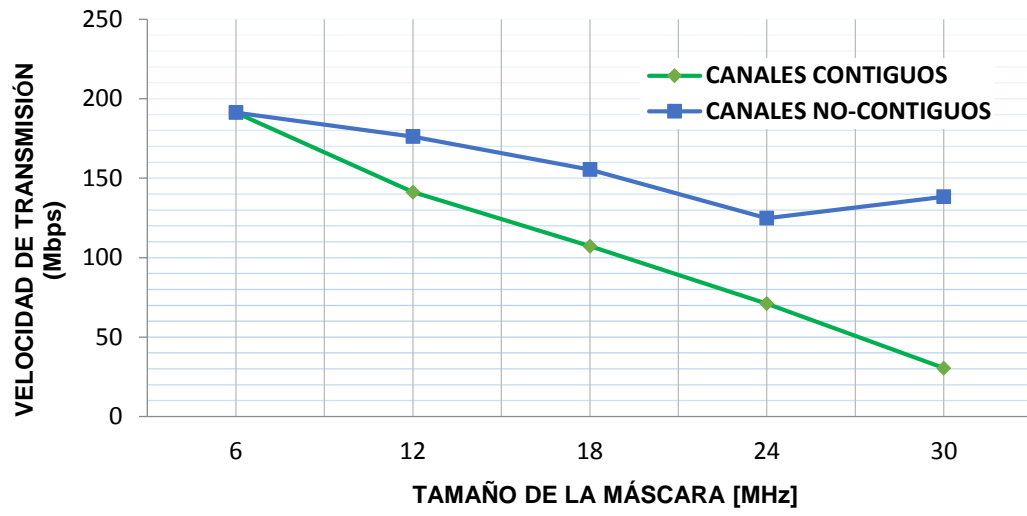


Figura 4.7 Velocidad de Transmisión promedio vs Tamaño de la Máscara

CONCLUSIONES

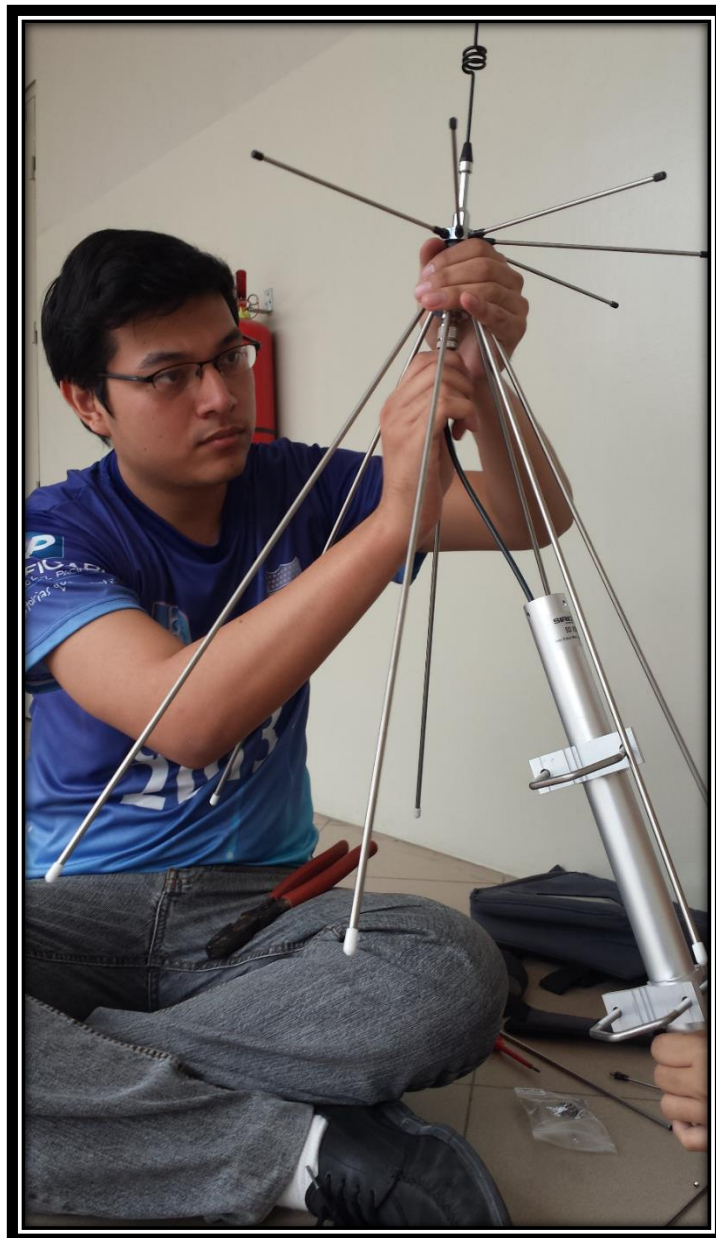
1. La disponibilidad espectral en la banda UHF es de 70,46 MHz correspondientes al 39,15%, este indica que existe un alta disponibilidad espectral dentro de la banda de TV.
2. El estudio demostró que alrededor del 23% de los canales de TV (i.e 7 canales) se encuentran disponibles durante todo el día (e.g canales 49,50,51).
3. Tan solo el 40% de los canales de TV (i.e 12 canales) tienen una actividad inferior al 50%, lo que indica que estos canales son idóneos para el despliegue de futuras tecnologías con OSA (i.e. IEEE 802.22).
4. Con el esquema de canal no-contiguo se obtiene un mayor número de canales WRAN que con el esquema de canal contiguo, debido a que existe mayor probabilidad de encontrar canales que no se encuentren adyacentes.
5. El número máximo de usuarios simultáneos WRAN dentro de la banda UHF corresponde a 144. Este valor proviene de la disponibilidad máxima de canales existentes.
6. La velocidad de transmisión de los usuarios se limitará en base al porcentaje de ocupabilidad de un canal en determinado horario del día.

7. En un futuro, este estudio se puede extender para las zonas urbanas y rurales, para posteriormente determinar la factibilidad de IEEE 802,22 en todo el Ecuador.
8. Este estudio, tiene validez hasta el 2018, debido que en dicho año se efectuará el apagón analógico.

RECOMENDACIONES

9. Se recomienda calibrar y configurar correctamente el analizador espectral antes de realizar la toma de datos, debido a que este influye directamente en los resultados de las mediciones.
10. Se recomienda para este tipo de investigaciones donde se escanea el espectro radioeléctrico, utilizar una antena omnidireccional, debido a que la señal recibida de una banda en particular, proviene de diferentes sectores de la ciudad. A diferencia de una antena direccional, que se podría estar midiendo una señal que proviene solo de un lugar en particular.
11. Utilizar elementos pasivos, como filtros y amplificadores para poder compensar la señal recibida de la antena. Esto permitirá obtener resultados más reales, confiables y precisos que posteriormente serán almacenados para un mejor procesamiento.
12. Utilizar MATLAB para un mejor procesamiento de datos, debido a su alto rendimiento al manipular un número elevado de muestras. También posee múltiples herramientas para la representación visual de los resultados obtenidos dentro del proceso de medición,

ANEXO
Fotografías tomadas durante la instalación del sistema de medición



Ensamblaje de la Antena Omnidireccional *Sirio SD-2000*



Instalación de la Antena Omnidireccional en el Edificio Principal de la FIEC



Sistema de medición



Filtros Pasa-Bajo y Pasa-Alto



Amplificador de Bajo Ruido

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Deshmukh, M.; Patif, K.; Frederiksen, F.; Skouby, K.; Prasad, R., "Wireless Broadband network on TVWS for rural areas: An Indian perspective," Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2013 16th International Symposium on, vol., no., pp.1, 5, 24-27 June 2013
- [2] Ganesh, R.; Ning Yang; Regitz, S.; Giordano, A; Fye, D., "Coverage considerations for CDMA overlay of rural analog sites," Personal Wireless Communications, 2000 IEEE International Conference on, vol., no., pp.288, 292, 2000
- [3] Ramachandran, S.; Jhunjunwala, A; Ramamurthi, B., "Relay base station for DECT based wireless in local loop to serve sparse rural areas," Personal Wireless Communication, 1999 IEEE International Conference on , vol., no., pp.349,353, 1999
- [4] Elberse, A, "DECT: the ideal telework access technology," Teleworking and Teleconferencing, IEE Colloquium on, vol., no., pp.7/1,7/9, 1994
- [5] Haidine, A; Muller, J.; Hurkx, J.; Alons, K., "Evaluation of CDMA450 as communications technology for smart Grid applications," Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On, vol., no., pp.1,6, 15-17 April 2013
- [6] Patidar, M.; Dubey, R.; Jain, N.K.; Kulpariya, S., "Performance analysis of WiMAX 802.16e physical layer model," Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), 2012 Ninth International Conference on , vol., no., pp.1,4, 20-22 Sept. 2012
- [7] Chang-Woo Pyo; Xin Zhang; Chunyi Song; Ming-Tuo Zhou; Harada, H., "A new standard activity in IEEE 802.22 wireless regional area networks: Enhancement for broadband services and monitoring applications in TV whitespace," Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2012 15th International Symposium on , vol., no., pp.108,112, 24-27 Sept. 2012
- [8] Akyildiz, IF.; Won-Yeol Lee; Vuran, Mehmet C.; Mohanty, S., "A survey on spectrum management in cognitive radio networks," Communications Magazine, IEEE, vol.46, no.4, pp.40, 48, April 2008

- [9] Cordeiro, Carlos; Challapali, K.; Birru, D.; Sai Shankar, N., "IEEE 802.22: the first worldwide wireless standard based on cognitive radios," *New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on, vol., no., pp.328, 337, 8-11 Nov. 2005
- [10] Patil, K.; Prasad, R.; Skouby, K., "A Survey of Worldwide Spectrum Occupancy Measurement Campaigns for Cognitive Radio," *Devices and Communications (ICDeCom)*, 2011 International Conference on, vol., no., pp.1, 5, 24-25 Feb. 2011
- [11] Qaraqe, K.A; Celebi, H.; Gorcin, A; El-Saigh, A; Arslan, H.; Alouini, M.-S., "Empirical results for wideband multidimensional spectrum usage," *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2009 IEEE 20th International Symposium on , vol., no., pp.1262,1266, 13-16 Sept. 2009
- [12] Eksim, A; Kulac, S.; Sazli, M.H., "Effective cooperative spectrum sensing in IEEE 802.22 standard with time diversity," *Advances in Computational Tools for Engineering Applications*, 2009
- [13] Dezhang Chen; Jingjing Yang; Jida Wu; Hao Tang; Ming Huang, "Spectrum occupancy analysis based on radio monitoring network," *Communications in China (ICCC)*, 2012 1st IEEE International Conference on , vol., no., pp.739,744, 15-17 Aug. 2012
- [14] Mehdawi, M.; Riley, N.; Ammar, M.; Zolfaghari, M., "Comparing historical and current spectrum occupancy measurements in the context of cognitive radio," *Telecommunications Forum (TELFOR)*, 2012 20th, vol., no., pp.623, 626, 20-22 Nov. 2012
- [15] Patil, K.; Skouby, K.; Chandra, A; Prasad, R., "Spectrum occupancy statistics in the context of cognitive radio," *Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC)*, 2011 14th International Symposium on, vol., no., pp.1, 5, 3-7 Oct. 2011
- [16] TakChon Lou; Hsi-Lu Chao; Tzu-Jane Tsai, "On synchronized channel sensing and accessing for cognitive radio users in IEEE 802.11 wireless networks," *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2009 IEEE 20th International Symposium on , vol., no., pp.757,761, 13-16 Sept. 2009
- [17] Valenta, V.; Maršálek, R.; Baudoin, G.; Villegas, M.; Suarez, M.; Robert, F., "Survey on spectrum utilization in Europe: Measurements, analyses and observations," *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks &*

Communications (CROWNCOM), 2010 Proceedings of the Fifth International Conference on , vol., no., pp.1,5, 9-11 June 2010

[18] Kagarura, G.M.; Okello, D.K.; Akol, R.N., "Evaluation of Spectrum Occupancy: A Case for Cognitive Radio in Uganda," Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), 2013 IEEE Ninth International Conference on , vol., no., pp.167,174, 11-13 Dec. 201

[19] Cordeiro, Carlos; Challapali, K.; Birru, D.; Sai Shankar, N., "IEEE 802.22: the first worldwide wireless standard based on cognitive radios," New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on, vol., no., pp.328, 337, 8-11 Nov. 2005

[20] Estándar IEEE 802.22, 2011

[21] FCC, "Notice of Proposed Rulemaking (NPRM 03 322): Facilitating Opportunities for Flexible, Efficient and Reliable Spectrum agile Radio Technologies" ET Docket No. 03 108, Dec. 2003.

[22] Qing Zhao; Swami, A., "A Survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing and Networking Perspectives," Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. IEEE International Conference on, vol.4, no., pp.IV-1349, IV-1352, 15-20 April 2007

[23] Charles Clancy, T.; "Dynamic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks", <http://babu.cs.umd.edu/~jkatz/THESES/clancy.pdf>, 2006

[24] Hatfield, D.N.; Weiser, P.J., "Property rights in spectrum: taking the next step," New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on, vol., no., pp.43, 55, 8-11 Nov. 2005

[25] Akbar, IA; Tranter, W.H., "Dynamic spectrum allocation in cognitive radio using hidden Markov models: Poisson distributed case," SoutheastCon, 2007. Proceedings. IEEE, vol., no., pp.196, 201, 22-25 March 2007

[26] Rekha Menon; Buehrer, R.M.; Reed, J.H., "Outage probability based comparison of underlay and overlay spectrum sharing techniques," New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2005. DySPAN 2005. 2005 First IEEE International Symposium on, vol., no., pp.101, 109, 8-11 Nov. 2005

[27] Senhua Huang; Xin Liu; Zhi Ding, "Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks," INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE, vol., no., pp., 13-18 April 2008

[28] J. Mitola, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications," in Proc. IEEE Int. Workshop Mobile Multimedia Communications, 1999, pp. 3–10.

[29] Molina Corbacho Susana, "Análisis y caracterización de la ocupación espectral en entornos urbanos exteriores e interiores en el contexto de redes Cognitive Radio de acceso dinámico al espectro", <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7614/1/Susana%20Molina%20Corbacho.pdf>, 2009

[30] Akyildiz, IF.; Won-Yeol Lee; Vuran, Mehmet C.; Mohanty, S., "A survey on spectrum management in cognitive radio networks," Communications Magazine, IEEE, vol.46, no.4, pp.40, 48, April 2008

[31] Aguilar, Julio; Navarro, Andrés, "Radio Cognitiva-Estado del Arte", Revista Sistemas y Telemática. Vol.9.No.16, 31-53, Marzo 2011

[32] Novillo, F., "Proposal and Evaluation of Channel Assignment Algorithms for Wireless Local Area Networks with Opportunistic Spectrum Access Capabilities", <http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/119320/TFNP1de1.pdf?sequence=1>, May 2013

[33] López-Benitez M.; Casadevall F., "A Radio Spectrum Measurement Platform for Spectrum Surveying in Cognitive Radio", <http://grcm.tsc.upc.edu/sites/default/files/TRIDENTCOM2011.pdf>, TridentCom 2011, LNICST Vol. 90, pp. 59-74. 2012.

[34] Chang-Woo Pyo; Xin Zhang; Chunyi Song; Ming-Tuo Zhou; Harada, H., "A new standard activity in IEEE 802.22 wireless regional area networks: Enhancement for broadband services and monitoring applications in TV whitespace," Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2012 15th International Symposium on , vol., no., pp.108,112, 24-27 Sept. 2012

[35] Jaramillo F.; Rosas C.; Ramón O.; Holguín L.; Andrade E.; Jarrín P., "Operación de las Estaciones de Televisión Abierta Analógica en Canales Adyacentes de la Banda III VHF", Cuadernos Supertel, 2013

- [36] Ponce J.; Perero J.; Basilio J., "Transmisión VHF Banda III del Canal Internacional Ecuatoriano en la Isla San Cristóbal de las Islas Galápagos", 2013
- [37] "Reglamento General a la Ley de Radiodifusión y Televisión", <http://www.palermo.edu/cele/pdf/Regulaciones/EcuadorReglamentoGeneraldeLeydeRadiodifusionyTelevision> (1996).pdf, Decreto No. 3398, 1996
- [38] López, B.; Avilés, J.C, "Análisis de las Normas Técnicas y Regulaciones que Rigen a las Estaciones de Radiocomunicación", (Tesis, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1989).
- [39] CONARTEL, "Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales", 29 de mayo de 2001
- [40] CONECEL - SENATEL, Plan Nacional de Frecuencias, http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf, Julio 2012
- [41] MINTEL, CITDT-GATR-2011-003, Diciembre 2011
- [42] SENATEL, Reporte de Radio y TV, 8 de Noviembre del 2013
- [43] CONATEL, Resolución N°. 084-05-CONATEL-2010, 25 de marzo de 2010
- [44] Zaldán Albuja, María C.; "Análisis del Dividendo Digital Resultante de la Migración de la Televisión Analógica a Digital en el Ecuador", Octubre del 2010
- [45] CONATEL, Resolución RTV-681-24-CONATEL-2012, 2012
- [46] Vergados, D.D.; Liveris, AD.; Anagnostopoulos, C.; Lykou, C.; Stassinopoulos, G.I, "New generation features for GSM systems: an overview of DECT technology in 3G mobile communication systems," Personal Wireless Communications, 2000 IEEE International Conference on , vol., no., pp.577,581, 2000
- [47] Elberse, A, "DECT: the ideal telework access technology," Teleworking and Teleconferencing, IEE Colloquium on, vol., no., pp.7/1,7/9, 1994

- [48] White, I.H.; Ingham, J.D.; Rosas-Fernandez, J. B.; Penty, R. V., "CDMA access networks using low-cost electronic techniques," Transparent Optical Networks, 2008. ICTON 2008. 10th Anniversary International Conference on, vol.4, no., pp.155, 157, 22-26 June 2008
- [49] Haidine, A; Muller, J.; Hurkx, J.; Alons, K., "Evaluation of CDMA450 as communications technology for smart Grid applications," Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LA), 2013 IEEE PES Conference On, vol., no., pp.1,6, 15-17 April 2013
- [50] SUPERTEL REVISTA INSTITUCIONAL N°2, http://www.supertel.gob.ec/pdf/revista_supertel2.pdf, Noviembre 2008
- [51] Afrancheh, H.R.; Haghghat, A.T., "Adaptive controlling of IEEE 802.16 WiMAX standard and IEEE 802.11 Wireless LAN Networks standard," Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010 3rd IEEE International Conference on, vol.7, no., pp.82, 85, 9-11 July 2010
- [52] Patidar, M.; Dubey, R.; Jain, N.K.; Kulpariya, S., "Performance analysis of WiMAX 802.16e physical layer model," Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), 2012 Ninth International Conference on , vol., no., pp.1,4, 20-22 Sept. 2012
- [53] Chang-Woo Pyo; Xin Zhang; Chunyi Song; Ming-Tuo Zhou; Harada, H., "A new standard activity in IEEE 802.22 wireless regional area networks: Enhancement for broadband services and monitoring applications in TV whitespace," Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC), 2012 15th International Symposium on , vol., no., pp.108,112, 24-27 Sept. 2012
- [54] Netflix - Velocidad de transmisión, <https://help.netflix.com/es/node/306>, 1 de Noviembre del 2014
- [55] Skype - Velocidad de transmisión, <https://support.skype.com/es/faq/FA1417/que-ancho-de-banda-necesita-skype>, 1 de Noviembre del 2014