



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑOS DE ALGORITMOS PARA EL ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE CANALES INDIVIDUALES Y CONJUNTOS DE LA BANDA UHF-TV PARA USO POTENCIAL DE DISPOSITIVOS CON ACCESO OPORTUNISTA AL ESPECTRO EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO TORRES DEL NORTE B DE GUAYAQUIL”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

WASHINGTON JAVIER VERA ZAPATIER

LUIS ENRIQUE MORAN CARVAJAL

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de retomar algo que estaba pendiente en mi vida y anhelaba culminar. A mis padres Washington Vera y Martha Zapatier por siempre darme ese empuje para que no decaiga mi ánimo y esfuerzo. Agradezco a mi querida esposa Heidy Orellana Sequeira, por su paciencia y sacrificio, por el desvelo en el día a día de estudio junto a mí. A mis hijos por hacerme ver que todavía estaba a tiempo para culminar una meta de estudios y que no podía fallar, porque yo soy el ejemplo para ellos. Y de todo corazón a las personas que de manera desinteresada me brindaron su apoyo día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria.

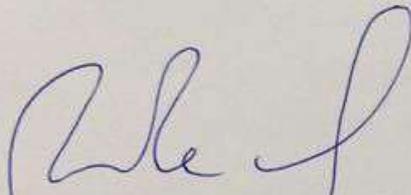
Washington Javier Vera Zapatier

Agradezco a Dios por permitirme cumplir esta meta. A mis padres por el apoyo constante y por brindarme el mejor ejemplo para culminar los objetivos que uno se propone. A mis hermanos y mi abuela por incentivar me a superarme siempre.

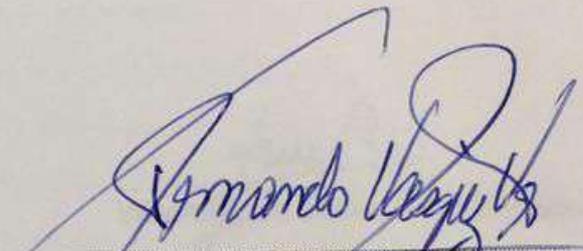
Luis Enrique Morán Carvajal

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

El presente documento es el resultado del contenido de una Tesis de Maestría, la cual ha sido sometida a un proceso de evaluación por parte de un Tribunal de Evaluación, el cual ha emitido su veredicto final sobre la obra por su calidad académica y de investigación, así como el mérito de su producción intelectual.



Msc. Washington Medina M.
PROFESOR EVALUADOR



Ing. Luis Vásquez V.
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Washington Javier Vera Zapater

Luis Enrique Morán Carvajal

RESUMEN

En nuestros días las redes de telecomunicaciones han mostrado un gran avance en la tecnología que usan y el número de usuarios que tienen. Particularmente, se ha observado un gran crecimiento de las redes de banda ancha inalámbrica debido a los múltiples servicios y facilidades que ofrecen a los usuarios. A diferencia de los sistemas alámbricos, donde se tiene un acceso dedicado al sistema, en las comunicaciones inalámbricas, el acceso es compartido, por tanto, el crecimiento del número de conexiones en un área limitada, afecta la calidad de los servicios ofrecidos por las redes. Para satisfacer el crecimiento de número de usuarios inalámbricos y resolver los problemas temporales de capacidad e interferencia que suelen presentar las redes inalámbricas en escenarios de alta concentración de usuarios, en el presente trabajo se analiza la eficiencia del uso actual del espectro en la banda de UHF-TV, de tal forma que cuando un sistema inalámbrico requiera un mayor ancho de banda, usando el sistema OSA, estime los canales que se encuentran libres y los utilice temporal y dinámicamente. Nuestro trabajo se centra en determinar la disponibilidad de canales individuales y conjuntos en la banda UHF-TV (512MHz – 698MHz) en el edificio Torre del Norte B de la ciudad de Guayaquil. Lo desarrollaremos en tres etapas:

La primera etapa consiste en la medición y almacenamiento de los datos. En esta etapa se utilizó una Radio Definida por Software (RTL-SDR) conectado al puerto USB de una laptop. Además, se diseñó un algoritmo desarrollado en Matlab para la recolección y almacenamiento de los datos de nivel de potencia en formato Excel.

La segunda etapa, consiste en el procesamiento de los datos almacenados. Se desarrolló un programa en Matlab para calcular la potencia de cada canal. Luego se elabora la matriz de disponibilidad para canales individuales y canales conjuntos comparando cada medición con un valor threshold de potencia.

En **la tercera etapa**, con las matrices obtenidas, modelamos las curvas de probabilidad de disponibilidad de canales individuales y conjuntos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iii
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE GENERAL	vi
CAPÍTULO 1.....	1
1.-DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	1
1.1 Identificación. -	1
1.2 Justificación. -	2
1.3 Objetivos. -	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Metodología. -	4
1.5 Alcance. -	5
1.6 Resultados esperados. -	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE	6
2.1 Campañas de medición. -	6
2.2 Radio cognitiva. -	8
2.2.1 Características	9
2.2.2 Red de radio cognitiva	12
2.3 Espectro desocupado en la banda de televisión UHF. -	16
2.4 Estandarización. -	17
2.5 Televisión analógica y digital. -	18
2.5.1 Televisión analógica	18
2.5.2 Televisión digital terrestre	21
2.6 La televisión en el Ecuador. -	23

2.6.1 Canalización de las bandas	24
2.6.2 Cambio de TV analógica a digital en el Ecuador	26
CAPÍTULO 3.....	28
3. ESCENARIO Y DISEÑO DE ALGORITMOS.....	28
3.1 Descripción y ubicación geográfica del escenario. –.....	28
3.2 Equipos de Medición y Proceso de Grabado de Datos.-.....	29
3.3 Algoritmo de Medición y Almacenamiento de los datos. -.....	31
3.4 Procesamiento de los datos. -.....	32
CAPÍTULO 4.....	38
4. Análisis y resultados.....	38
4.1 Análisis de los Niveles de Potencia	38
4.2 Análisis Estadístico de Canales Unitarios Disponibles.....	47
4.3 Análisis estadístico del máximo número de canales conjuntos disponibles (N).	50
4.4 Análisis estadístico de grupos de N canales conjuntos disponibles ..	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA.....	58

CAPÍTULO 1

1.-DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

1.1 Identificación. -

Ya en nuestros días, las redes de telecomunicaciones han mostrado un gran avance en la tecnología que usan y el número de usuarios que tienen. Particularmente, se ha observado un gran crecimiento de las redes de banda ancha inalámbrica debido a los múltiples servicios y facilidades que ofrecen a los usuarios. En el caso de Ecuador, se observa que el número de cuentas de Internet móvil pasó de 2.35% en el año 2010 a 47.04% en el año 2016 [1]. Se proyecta que para el año 2021 existirán 8300 millones de suscripciones móviles en el mundo [2]. A diferencia de los sistemas alámbricos, donde se tiene un acceso dedicado al sistema, en las comunicaciones inalámbricas, el acceso es compartido, por tanto, el crecimiento del número de conexiones en un área limitada, conlleva un efecto de reducción de velocidades que pueden alcanzar los usuarios.

A medida que se plantean nuevas tecnologías para poder cumplir los requerimientos cada vez más exigentes de servicios y velocidades de los usuarios, inherentemente se está proponiendo la necesidad de mayor ancho de banda para implementar estas tecnologías, como un ejemplo se tiene el caso de la tecnología LTE que utiliza un máximo ancho de banda de 20 MHz para alcanzar un throughput de 300 Mbps, y la nueva tecnología LTE Advanced, necesita un ancho de banda de 100 MHz para alcanzar un throughput de 1 Gbps. Para satisfacer el creciente número de usuarios inalámbricos y la implementación de nuevas tecnologías, en el presente trabajo se propone analizar la eficiencia del uso actual del espectro,

particularmente en la banda de UHF-TV, y encontrar un modelo que prediga el comportamiento de la disponibilidad de los canales que pertenecen a esta banda, de tal forma que cuando un sistema inalámbrico requiera un mayor ancho de banda, usando el sistema OSA, estime los canales que se encuentran libres y los utilice temporal y dinámicamente.

1.2 Justificación. -

Es necesario tener un banco de datos fidedignos que puedan ser suministrados a los sistemas con acceso oportunista al espectro (OSA), para que puedan determinar los espacios en blanco (WS) y a su vez dicho dispositivo de algún usuario de banda no licenciada pueda transmitir con mayor eficiencia en algún espectro de banda licenciada.

Cabe mencionar que dichos espacios en blanco han sido explorados en todo el espectro radioeléctrico, pero la que más aceptación ha tenido la banda de televisión, ya que la misma cumple con las propiedades de propagación para esta meta. Adicional a lo mencionado, tenemos la transición de la televisión analógica a digital, que permitirá tener espacios en blanco en algunas bandas y podrán ser aprovechados por los dispositivos de acceso oportunista OSA [12].

La mayoría de los estudios que se han realizado es en sectores rurales, pero en zonas urbanas muy poco o casi nada. En [13], se puede observar un estudio teórico de disponibilidad espacial de un canal de la banda UHF en una zona urbana densa, se puede observar que en los pisos superiores de los edificios la disponibilidad es casi nula; en el caso de la planta baja se observa disponibilidad, la misma que varía dependiendo de cuantos pisos tenga el edificio. Por lo tanto [12], la elaboración de estudios de disponibilidad del espectro ya sea determinísticos o probabilísticos con el objetivo de encontrar WS son necesarios, ya que son el principal insumo OSA en una zona geográfica. En el caso particular de una zona urbana, es necesario contemplar el efecto combinado de la disponibilidad temporal y espacial, lo cual permitirá determinar con mayor exactitud la disponibilidad de

WS. Por lo tanto, es doblemente justificado realizar este trabajo que sirva de aporte para futuros estudios en el desarrollo de los sistemas OSA aplicados a la banda UHF-TV en el Ecuador.

1.3 Objetivos. -

1.3.1 Objetivo general

Determinar la disponibilidad de canales individuales y conjuntos en la banda UHF-TV (470MHz – 698MHz) en el edificio Torre del Norte B de la ciudad de Guayaquil.

1.3.2 Objetivos específicos

- Hacer mediciones sobre los niveles de potencia del espectro electromagnético correspondiente a la banda de televisión UHF, en los pisos 1, 8 y 11 del edificio Torres del Norte.
- Diseñar algoritmos en Matlab que permitan la recolección y procesamiento de las mediciones.
- Realizar un análisis de disponibilidad individual y en conjunto en los canales correspondientes a la banda UHF-TV.
- Determinar la probabilidad de acceso oportuno en los canales correspondientes a la banda de televisión UHF en los pisos 1, 8 y 11 del edificio Torres del Norte.
- Determinar las tecnologías basadas en OSA que podrían utilizar los canales disponibles en la banda UHF-TV.

1.4 Metodología. -

El proyecto se desarrollará en varias etapas que mencionamos a continuación:

La primera etapa es la recolección de datos para lo cual utilizaremos un dispositivo de bajo costo RTL-SDR el cual se ubicará en los pisos 1, 8 y 11 del Edificio Torres del Norte B. Para la medición y almacenamiento de los datos se utilizará un programa desarrollado en Matlab, el cual guardará la información del nivel de potencia de cada canal en la banda de televisión UHF y el tiempo de la medición. Estas mediciones se realizarán 24 horas al día durante una semana por cada piso, tal como lo muestra la figura 1.1, en el siguiente diagrama de bloque:

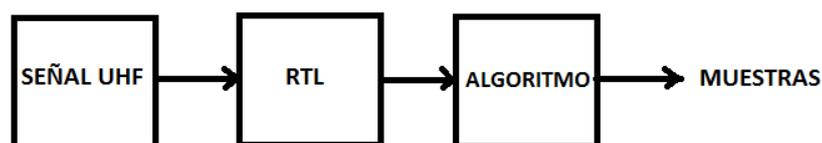


Figura 1.1 Diagrama de Bloque

En este diagrama podemos ver el ingreso de las señales de TV UHF recibidas por la antena. Luego el SDR- RTL (radio definido por software) con ayuda de un algoritmo en Matlab guarda los niveles de potencia en Excel. Teniendo en ese momento las muestras para nuestro análisis.

La siguiente etapa consiste en el procesamiento de los datos almacenados en un programa desarrollado en Matlab, en la cual se compararán las mediciones recolectadas con un threshold y se elaborará la matriz de disponibilidad para canales individuales y canales conjuntos.

En la siguiente etapa, con las matrices obtenidas, se procederá a modelar de forma estadística la disponibilidad de canales individuales y conjuntos. Finalmente, en la última etapa, se determinará las diferentes portadoras de tecnologías basadas en el sistema OSA que podrían utilizar los canales disponibles.

1.5 Alcance. -

El proyecto está limitado a los siguientes parámetros:

- Medición del espectro UHF-TV (470MHz – 698MHz) utilizando un equipo RTL-SDR.
- Se realizarán mediciones en los pisos 1, 8 y 11 del Edificio Torres del Norte B de Guayaquil.
- Se procederá a medir ininterrumpidamente las 24 horas por un lapso de una semana en cada piso.
- Para la recolección y análisis de datos se usará el software Matlab.

1.6 Resultados esperados. -

- En nuestras mediciones en el edificio Torres del Norte B, esperamos registrar lo que sucede en todas las comunicaciones por radio, a medida que vayamos descendiendo en altura, aumenten el número de obstáculos (paredes, pisos), y las muestras espectrales vayan perdiendo potencia, de tal forma, que la planta baja tenga mayor disponibilidad de canales comparado con los otros 2 pisos.
- Modelar el comportamiento de disponibilidad de varios canales unitarios y conjuntos en la banda UHF-TV.
- Determinar de acuerdo a la cantidad de canales disponibles, qué tipo de tecnología inalámbrica existente podría utilizar temporalmente un canal unitario o canales conjuntos si utilizara un sistema OSA.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Campañas de medición. -

Todas las investigaciones en el desarrollo de redes de sistemas OSA apuntan a que antes de realizar algún mejoramiento técnico en estos tipos de sistemas, es necesario analizar para saber cómo están siendo utilizadas las distintas bandas de frecuencia en diferentes entornos [3].

La primer gran campaña de mediciones se realizó entre 1995 y 1998 por el National Telecommunications and Information Administration (NTIA) [4]. El estudio medía el uso del espectro en varias áreas metropolitanas de Estados Unidos en el rango de frecuencias de 108 MHz a 19.7 GHz. La principal conclusión del estudio fue que la ocupación espectral era mayor en ciudades costeras por la presencia de radares navales.

El National Science Foundation (NSF) organizó otra gran campaña de mediciones del espectro radioeléctrico [5]-[6]. Se evaluaron las frecuencias entre 30 MHz y 3 GHz, todas las medidas se realizaron en el exterior de varias ciudades de Estados Unidos y en una ciudad europea (Dublín, Irlanda). Se concluyó que el valor medio de ocupación se encuentra entre 1% y 18%.

En Atlanta y Carolina del Norte, (Estados Unidos) se hicieron otras medidas en las frecuencias comprendidas entre 400 MHz y 7.2 GHz [7]-[8]. Se tomaron medidas en entorno urbano, sub-urbano y rural, y los resultados de ocupación fueron muy bajos, 6.5%, 5.3% y 0.8% respectivamente. En estas mediciones para el cálculo del umbral de decisión, se utilizó un algoritmo que no solo tenía en cuenta la relación entre la señal de entrada y el nivel de ruido, sino también la diferencia de potencia recibida entre la señal de

polarización vertical y la de polarización horizontal, así como también la diferencia entre la potencia de las dos señales y el nivel de ruido. Según los autores este nuevo algoritmo permite reducir el número de falsas alarmas en el momento de decidir si un canal está libre u ocupado.

Además de estas campañas, se realizaron otras que comprendían bandas espectrales más estrechas. En algunas ciudades de Estados Unidos se realizó un estudio en la banda VHF (30-300 MHz) [9], con el fin de cuantificar la ocupación espectral y analizar la viabilidad de implantación de una red de radio cognitiva en esta banda. Se hizo un nuevo estudio [10] de manera que no sólo se analizara la correlación temporal, sino también la correlación espacial entre dos puntos. Se utilizaron dos receptores sincronizados vía GPS, lo que permitía medir la banda de frecuencia (800 MHz) en dos lugares diferentes al mismo tiempo.

Otro estudio realizado para conocer qué porcentaje de la banda de televisión digital terrestre está ocupado se lo realizó en Barcelona España en el año 2014[11]. Con la migración de la televisión analógica a digital se está dejando libres muchas porciones del espectro de televisión que va desde 470MHz a los 872 MHz. Este ancho de banda pertenece a la banda de UHF, donde las señales que se transmiten en este ancho de banda, tienen un alto nivel propagación dándole a los espacios en blanco del espectro una gran importancia para su uso en futuras tecnologías de comunicaciones móviles.

En el año 2015 [12], se estudió la disponibilidad de canales en un edificio de la ciudad de Guayaquil, en la banda de televisión UHF, utilizando para las mediciones un equipo USRP y se concluyó que en la planta baja existen aproximadamente 17 canales disponibles con una probabilidad de ocurrencia de 87.11%. En nuestro estudio, realizaremos la medición con un dispositivo de bajo costo como lo es el RTL-SDR lo cual reduce la inversión para realizar la medición y adicionalmente determinaremos la cantidad de canales conjuntos disponibles para tecnologías basadas en sistemas OSA.

2.2 Radio cognitiva. -

Desde que se inició el estudio de la Radio cognitiva, se han establecido muchas formas para definirlo, dentro de las Universidades , Instituciones Internacionales que trabajan por el desarrollo de las telecomunicaciones y el campo científico de las telecomunicaciones.. Pero el responsable de presentar por primera vez este término fue Joseph Mitola III en su tesis doctoral en el año de 1991, con el objetivo de referirse a un tipo de radio reprogramable o reconfigurable. Es decir, un equipo donde un mismo elemento de hardware presenta la capacidad de realizar diferentes funcionalidades en distintos instantes de tiempo [17].

La radio cognitiva, es un dispositivo que permite la transmisión y recepción de señales de radiofrecuencias, pero que tiene en un principio la misión de determinar que segmento del espectro no está siendo usado y con ello poder asignarlo para una cierta transmisión , sin causar ningún problema al resto del espectro que está siendo utilizado en cierto instante de tiempo. En la [17] figura 2.1 se ilustra dicho comportamiento:

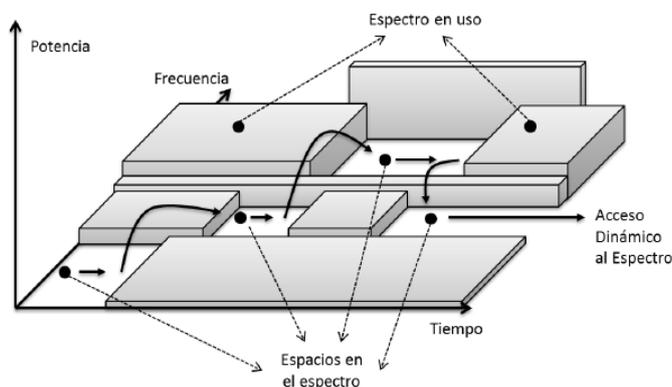


Figura 2.1. Búsqueda de espectro sin uso por una radio cognitiva

La radio cognitiva, aprende de su entorno, de tal forma que toma decisiones de acuerdo a las políticas de una cierta ubicación geográfica. Toma información de un rango del espectro de televisión por ejemplo y comienza a

hacer una búsqueda dinámica y automática, para auto ajustar sus parámetros y protocolos, y finalmente establece los resultados, pero sin dejar en ningún momento de retroalimentarse [17].

2.2.1 Características

La radio cognitiva [17], nunca deja de retroalimentarse en su búsqueda de espectro disponible, siempre trata de obtener el mejor segmento espectral. Para conseguirlo usa sus dos principales fortalezas, la cognitividad y reconfigurabilidad.

2.2.1.1 Cognitividad

Con ayuda de [17] de iteraciones en tiempo real con el entorno radio, son definidos los espacios en el espectro en una localización o tiempo determinado, clasificándose en tres diferentes clases:

- **Segmento ocupado:** Este es el segmento que está siendo usado por usuarios de algún emisor local, y debe evitarse su uso porque causaran interferencia y una posible sanción por ocupar frecuencias licenciadas. Se puede detectar que es un segmento ocupado porque tienen altos niveles de potencia. [17].
- **Segmento semi-ocupado:** Este segmento tiene niveles de potencia bajo, debido a que esta poco ocupado.
- **Segmento desocupado o white spaces:** Este segmento es el que no está siendo utilizado por los usuarios de un emisor local y además los niveles de potencia son prácticamente nulos. Por lo tanto, se lo puede catalogar como segmento del espectro libre de interferencias [17].

Para poder [17] realizar uso de este espectro, es necesario realizar las siguientes etapas:

- **Detectar el espectro:** En esta etapa la radio cognitiva detecta una porción de espectro que pudiera tener disponibilidad, estableciendo la presencia o no de usuarios en esta porción de espectro que más adelante los llamaremos usuarios primarios de alguna banda licenciada, esto lo consigue gracias a un análisis en los niveles de potencia dentro de su entorno de radio.
- **Analizar el espectro:** En esta etapa se realiza un análisis del canal, para ello ya tiene información suficiente del mismo, y con ello va a predecir si dicho canal pueda ser usado por el transmisor.
- **Decidir sobre el espectro:** En esta etapa la radio cognitiva establece la tasa de datos, de qué manera va a transmitir y cuál es el ancho de banda para transmitir, dependiendo de las características del espectro y las necesidades del usuario.

Esta secuencia anteriormente mencionada es denominada ciclo cognitivo [17], que se encuentra representado en la figura 2.2:



FIGURA 2.2. Secuencia del ciclo Cognitivo

Luego de establecer [17] el ancho de banda para transmitir, se inicia una comunicación sobre ella. Pero esto no quiere decir que la radio cognitiva deja de retroalimentarse, ella continúa recibiendo información de su entorno porque puede aparecer un usuario primario, puede haber variaciones en el tráfico o cambios entre usuarios dentro del espectro. Para satisfacer estas eventualidades la radio cognitiva tiene que tener movilidad dentro del espectro para poder establecer la mejor transmisión.

2.2.1.2 Reconfigurabilidad

Ayuda [17] a la radio cognitiva a adaptarse más fácilmente a un entorno radio dinámico y tener la capacidad de ajustar sus parámetros de operación en plena transmisión sin tener que hacer modificaciones en sus componentes de hardware. Los

parámetros que una radio cognitiva tiene que reconfigurar son [17]:

- **La frecuencia de trabajo:** De acuerdo a la información recibida dentro de su entorno de radio, la radio cognitiva puede reacomodar su frecuencia de operación hacia la que sea más adecuada para realizar la transmisión.
- **Tipo de modulación:** La radio cognitiva debe reajustar la modulación dependiendo de las condiciones del canal y que necesidades tenga el usuario. Puede haber situaciones en que ciertas aplicaciones sean sensibles a los retardos, entonces debe realizarse una modulación que establezca el mejor uso del espectro.
- **Nivel de potencia para transmitir:** Lo que hace la radio cognitiva en esta reconfiguración, es establecer el mejor nivel de potencia mínimo, para que no haya interferencia entre usuarios de un mismo canal. Para ello hace reajustes a los parámetros del nivel de potencia del transmisor.
- **Comunicación entre tecnologías:** La radio cognitiva realiza reajustes para poder operar sistemas de comunicaciones diferentes.

2.2.2 Red de radio cognitiva

Los elementos que [17] forman una red de radio cognitiva pueden ser clasificados en dos grupos: La red licenciada o primaria (RP) y la red no licenciada o secundaria (RS), a esta última también se la denomina red de radio cognitiva, red de acceso dinámico al espectro o red no licenciada.

2.2.2.1 Red licenciada

Es aquella que ha obtenido previamente una licencia para transmitir. Tiene una infraestructura de red, agregada a ella un ancho de banda del espectro radioeléctrico de uso exclusivo para ella, como es el caso de la telefonía móvil y televisión. Dentro de los elementos que integran una red licenciada o RP (red primaria), tenemos:

- **Usuarios primarios:** Son los usuarios que reciben la señal dentro de un determinado ancho de banda espectral. Para ello utilizan una antena receptora adecuada para recibir frecuencias dentro de este ancho de banda, por ejemplo, de televisión o telefonía móvil.
- **Estación primaria:** Esta es la estación base que previa a la obtención de una licencia del espectro puede transmitir, toma también el nombre de estación base licenciada. Este tipo de infraestructura no tienen la capacidad de compartir espectro con usuarios no licenciados del espectro, tal como lo hacen las radios cognitivas.

2.2.2.2 Red no licenciada

Son redes que no poseen licencias para operar en una banda específica, teniendo un acceso al espectro solo de manera oportunista. Las redes secundarias tienen dos formas de ser desplegadas: como una infraestructura de red o como una red *ad hoc*. Los componentes de la RS son:

- **Usuario no licenciado:** Son conocidos también como usuarios secundarios o usuarios no licenciados de una radio cognitiva. Estos usuarios no tienen espectro asignado, y están esperando la oportunidad de compartir

algún ancho de banda licenciada, pero sin causar interferencia a los usuarios licenciados, para ello usan algoritmos para este propósito.

- **Estación secundaria:** Denominada también como estación no licenciada o estación base de una radio cognitiva. Tiene una infraestructura fija, que brinda una conexión a los usuarios no licenciados o secundarios. Cabe mencionar que si no existiera esta estación no podrían los usuarios no licenciados tener conexión con otras redes.
- **Administrador del espectro:** Es aquel que se encarga de compartir recursos espectrales, entre las redes no licenciadas o secundarias que existan. Es decir, permite que existan varias redes dentro del espectro, esto lo puede realizar gracias a un enlace que tiene con cada una de ellas.

La figura 2.3 nos muestra los elementos que estructuran una red de radio cognitiva, también nos muestra los accesos que podrían hacer los usuarios no licenciados o secundarios [17]:

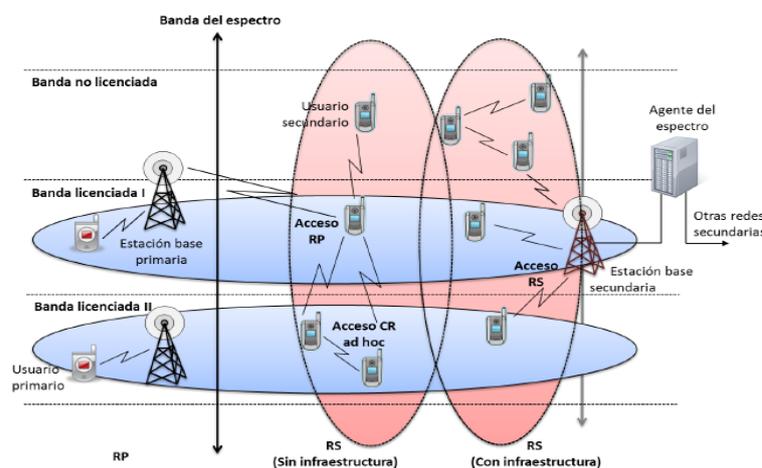


Figura 2.3. Estructura de una Red de Radio Cognitiva

- **Ingreso a una red no licenciada o secundaria:** Los usuarios no licenciados pueden ingresar en su misma estación secundaria tanto en bandas con espectro con licencia y sin licencia. Todas las iteraciones se dan en el interior de la red no licenciada o secundaria. La forma de compartir la banda espectral es diferente a la de una red licenciada.
- **Forma de ingreso de un dispositivo de radio cognitiva:** Los usuarios no licenciados con su respectivo dispositivo de radio no cognitiva se comunican entre sí en tiempo real gracias a una conexión ad hoc sea en espectro sin licencia o con licencia en tiempo real.
- **Ingreso a una red licenciada:** Los usuarios no licenciados están en capacidad de ingresar a una estación base licenciada a través de su respectiva banda licenciada. Para ello los usuarios no licenciados necesitan de un protocolo de control que permita el acceso al medio (MAC), de tal forma que exista una iteración con redes licenciadas y que tienen diferentes tecnologías.

Cabe mencionar, que además de todo lo expuesto anteriormente, para que puedan coexistir las redes no licenciadas con las redes licenciadas, tienen que cumplirse los siguientes puntos [17]:

- **No existencia de interferencia:** los usuarios no licenciados no deben interferir a los usuarios licenciados.
- **Calidad de servicio (QoS):** La red no licenciada debe de brindar una calidad de servicio y soportar la calidad de servicio por parte de otras redes no licenciadas con respecto al espectro, ya que este se encontrará siempre dinámico y heterogéneo.

- **Comunicación sin interrupción:** Esta debe ser dada por la red no licenciada sin considerar a los usuarios licenciados [17].

2.3 Espectro desocupado en la banda de televisión UHF. -

En nuestros días, el espectro concesionado, asignado para la transmisión de señales de televisión en la banda UHF, no está siendo eficiente en su uso, debido a la manera de cómo fueron configuradas y asignadas dichas frecuencias. Cabe mencionar que esta es la señal que reciben los denominados usuarios licenciados. Esta ineficiencia se refleja en la banda de frecuencias UHF, donde en ciertos instantes de tiempo se nota que no está siendo utilizada. Adoptando el nombre de espacios en blanco, a las frecuencias que no están siendo usadas por los usuarios licenciados o primarios [12].

Esto quiere decir, que, haciendo un análisis al tráfico de los datos en dichas bandas en ciertos instantes de tiempo, podemos determinar, que banda y en que instante no está siendo utilizada. Brindando la oportunidad de que equipos de radio cognitiva, de los denominados usuarios no licenciados, puedan hacer uso de dicha banda mientras no esté en uso dicha banda.

A nivel mundial se están realizando estudios, para aprovechar esta disponibilidad del espectro de televisión UHF, ya que este posee excelentes condiciones de propagación para poder brindar otros servicios y poder con ello darle un uso del 100% a dicha porción de espectro.

2.4 Estandarización. -

En el caso del IEEE [14], realizó la estandarización para que pueda existir coordinación entre redes que tienen acceso dinámico a una banda espectral, la cual se resume y se muestra en la Tabla 1 y Tabla 2, respectivamente:

Stándar	Objetivo
1900.1	Términos y conceptos de redes que tienen acceso dinámico al espectro radioeléctrico de próxima generación.
1900.2	Documento técnico, que ayuda en el análisis de interferencia y la coexistencia de dispositivos de radio que trabajan sobre el mismo espectro.
1900.3	Se refiere al análisis y pruebas que deben tener los sistemas de radio cognitiva al acceder al espectro.
1900.4	Se refiere a la forma de optimizar el uso de los recursos de una radio cognitiva en redes licenciadas y no licenciadas.
1900.4.1	Se refiere a la forma de optimizar interfaces y protocolos de una radio cognitiva en redes licenciadas y no licenciadas.
1900.5	Se refiere al lenguaje de arquitecturas de control que permite administrar Las redes de acceso dinámico al espectro.
1900.6	Se refiere a interfaces y estructuras de datos, que ayudan en el intercambio de información para detectar espectro.

Tabla 1: Estándar de una radio cognitiva (IEEE SCC 41)

Stándar	Objetivo
802.22	Se refiere a los lineamientos para operar en bandas de televisión.
802.11y	Se refiere al método de coexistir entre redes inalámbricas en el ancho de banda que va desde 3650 a 3700MHZ.
802.11af	Se refiere al cambio realizado a ciertas especificaciones de capas física y MAC en el estándar 802.11, para poder cumplir ciertos requisitos legales en las bandas de televisión.
802.22.1	Se refiere a la forma de proteger a los dispositivos de bajo nivel de potencia en las bandas de televisión.

Tabla 2: Estándar de una radio cognitiva (IEEE 802)

Cabe mencionar que en la norma IEEE 802.22 se dan especificaciones de las interfaces inalámbricas, de las capas físicas y de control de acceso hacia las redes inalámbricas de área regional. Las cuales tienen estaciones bases, dispositivos móviles, fijos, que están operando en la banda VHF/UHF de televisión correspondiente al ancho de banda entre los 54MHz y 862 MHz.

2.5 Televisión analógica y digital. -

2.5.1 Televisión analógica

Este sistema [16] consiste en transmitir imágenes y sonidos en movimiento que se encuentran a largas distancias. La recepción y captura de dichas imágenes y sonidos se lo hace gracias a decodificadores ubicados en los equipos receptores. Dicha transmisión y decodificación de las imágenes y sonidos se lo hace de acuerdo a los siguientes pasos:

1. **Captura:** Se debe enfocar la imagen sobre un plano fotosensible, es decir [16] es capturada con ayuda de cámaras, las mismas que toman unas treinta imágenes cada segundo. Luego éstas se convierten en líneas y puntos que les serán asignados un color e intensidad. también les serán asignados otros parámetros de sincronía vertical y sincronía horizontal. Estos parámetros son establecidos para que el receptor pueda mostrar las imágenes que fueron capturadas, esto se lo consigue gracias a un circuito integrado foto receptor que le asigna un nivel de brillo en cada punto de la imagen.
2. **Transmisión:** Luego de realizarse la captura de la intensidad de brillo de cada punto de la imagen, se genera un nivel de tensión directamente proporcional al brillo de cada punto. Cabe mencionar [16] que a este conjunto de líneas y la sincronización vertical y horizontal toma el nombre Video Compuesto. Para poder hacer la emisión al aire

se necesita de la ayuda de un modulador de radio frecuencia, adicional a este se necesita de una antena que me disperse la señal en forma de ondas hercianas. Cabe mencionar que dentro del espectro las bandas para dicho propósito son la banda UHF (Ultra Alta Frecuencia) y la banda VHF (Muy Alta Frecuencia), las mismas que tienen canales que van desde el 14 al 83 para UHF y desde el 2 al 13 para VHF. Esta es la forma en que el video compuesto es emitido al aire, teniendo una portadora de amplitud modulada (AM) y el audio como una onda de frecuencia modulada (FM).

3. **Decodificación:** Para poder hacer la selección de un canal [16], no importa si es con un televisor antiguo de perillas o con un televisor HD con control remoto, el método consiste en saltar un segmento de 6 millones de ciclos por segundo a otro. Esto quiere decir, por ejemplo, el canal 2 en la banda de VHF emite su señal en los 54 MHz; hasta el canal 6 se llega a los 88 MHz; mientras que los canales 7 al 13 ocupan el espectro comprendido entre 174 y 216 MHz, en tanto, la banda de UHF oscila entre los 470 y 890 MHz.

En el caso de la televisión [16] a color hay que hacer la codificación de colores mientras que en blanco y negro solo se daba una tensión proporcional a la luminancia de cada punto de la imagen, de acuerdo a como se lo representa la siguiente figura 2.4:

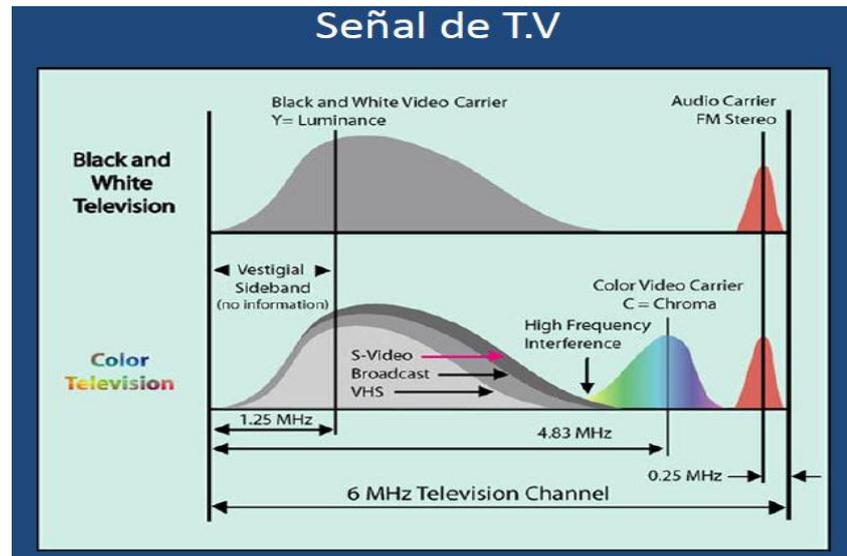


Figura 2.4: Señal de Televisión Analógica en B/N y a color

2.5.1.1 Codificación de colores en la Tv analógica

Para la codificación [16] de colores en la Tv analógica se mantienen los 3 pasos mencionados para el caso de TV blanco y negro (Monocromo), codificador (captura), transmisión (canal) y decodificador, de acuerdo [20] a como se representa en la figura 2.5:

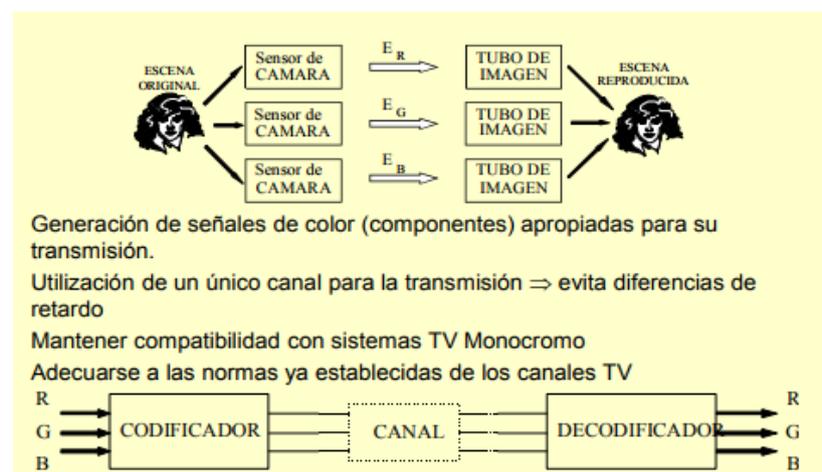


Figura 2.5: Codificación de los Componentes de Color

2.5.1.2 Desventaja de la Tv analógica

La tecnología de televisión analógica sólo permite la transmisión de un único programa de televisión por cada canal UHF (ya sea de 6MHz, 7Mhz u 8MHz de ancho de banda). Además, los canales adyacentes al que tiene lugar una emisión han de estar libres para evitar las interferencias.

2.5.2 Televisión digital terrestre

La televisión digital terrestre (TDT) [21] es el resultado de la aplicación de la tecnología digital a la señal de televisión para luego transmitirla por medio de ondas hercianas terrestres, es decir, aquellas que se transmiten por la atmósfera sin necesidad de cable o satélite y se reciben por medio de antenas UHF convencionales.

En el caso de la televisión analógica no se pueden usar canales adyacentes, pero en el caso de la televisión digital pueden existir canales alternados, es decir, un canal digital y un canal analógico.

2.5.3 Ventajas y desventajas de la TDT

Mejora [16] de la calidad de imagen y de sonido, pero puede haber en una transmisión la pérdida total de la señal, tal como lo muestra la figura 2.6:

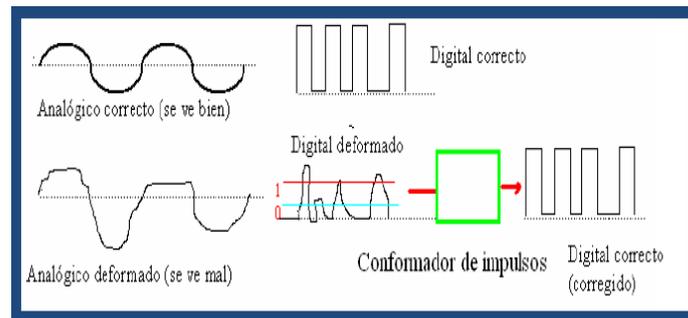


Figura 2.6: Señal TV Analógico y Digital

2.6 La televisión en el Ecuador. -

De acuerdo [18][19] a la resolución de la norma técnica del 2015 emitida por la ARCOTEL, en nuestro país el espectro radioeléctrico que esta concesionado para la transmisión de televisión abierta se encuentra distribuido en las bandas de frecuencias que se presentan en la Tabla 3 y Tabla 4:

VHF:

BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS	CANALES
BANDA I	52-72 MHZ	2,3,4
	76-88 MHZ	5 y 6
BANDA III	174-216 MHZ	1,8,9,10,11,12,13

Tabla 3: Rangos de frecuencias de TV VHF en el Ecuador

UHF:

BANDA	RANGO DE FRECUENCIAS	CANALES
BANDA IV	500-608 MHZ	19,20,21,22,.....,36
	614-644 MHZ	38,40,41,42
BANDA V	644-686 MHZ	43,44,45,46,47,48,49

Tabla 4: Rangos de frecuencias de TV UHF en el Ecuador

2.6.1 Canalización de las bandas

La distribución [18][19] de las bandas de frecuencias en el Ecuador es de la siguiente manera: 42 canales de TV abierta VHF/UHF, con un ancho de banda de 6 MHz para cada canal. A continuación, se muestra dicha distribución en las Tablas 5, 6 y 7 que se muestran continuación:

RANGO DE FRECUENCIAS					
BANDA	CANAL	PORTADORAS			
MHZ	MHZ	Video(MHZ)	Sonido(MHZ)		
VHF(54-72 MHZ)	I	2(54-60)	55,25	59,75	
		3(60-66)	61,25	65,75	
		4(66-72)	67,25	71,75	
		VHF(76-88 MHZ)	5(76-82)	77,25	81,75
			6(82-88)	83,25	87,75
			VHF (174 216 MHZ)	III	7(174-180)
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 5: Canalización de TV / VHF en el Ecuador

RANGO DE FRECUENCIAS				
BANDA	CANAL	PORTADORAS		
MHZ	MHZ	Video(MHZ)	Sonido(MHZ)	
UHF(500-608 MHZ)	IV	19(500-506)	501,25	505,75
		20(506-512)	507,25	511,75
		21(512-518)	513,25	517,75
		22(518-524)	519,25	523,75
		23(524-530)	525,25	529,75
		24(530-536)	531,25	535,75
		25(536-542)	537,25	541,75
		26(542-548)	542,25	547,75
		27(548-554)	548,25	553,75
		28(554-560)	554,25	559,75
		29(560-566)	560,25	565,75
		30(566-572)	566,25	571,75
		31(572-578)	572,25	577,75
		32(578-584)	578,25	583,75
		33(584-590)	584,25	589,75
		34(590-596)	590,25	595,75
		35(596-602)	596,25	601,75
		36(602-608)	602,25	607,75

Tabla 6: Canalización de TV / UHF en el Ecuador

RANGO DE FRECUENCIAS MHZ	BANDA	CANAL MHZ	PORTADORAS	
			Video(MHZ)	Sonido(MHZ)
UHF(614-644 MHZ)	IV	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
UHF(644-686 MHZ)	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

Tabla 7: Canalización de TV / UHF en el Ecuador

La asignación de canales [19] en la banda VHF/UHF se encuentra bajo el cargo del Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) de acuerdo a cada zona geográfica, de conformidad con los grupos de canales y más especificaciones técnicas que se encuentran contempladas en la Norma Técnica.

2.6.2 Cambio de TV analógica a digital en el Ecuador

Actualmente [18], ya existen señales con la tecnología digital (estándar de televisión ISDB-T Internacional) en el país, que están funcionando gracias al trabajo coordinado entre el Gobierno y la empresa privada.

El nombre de las estaciones y el área servida son: Ecuador TV (Quito, Guayaquil y Cuenca), Teleamazonas (Quito y Guayaquil), RTS (Quito y Guayaquil), Ecuavisa (Quito y Guayaquil), Telesucesos (Quito), Supertel (Quito), TC (Guayaquil), TV MÁS (Guayaquil), UNIMAX

(Ambato y Latacunga), Color TV (Ambato y Latacunga), Oromar (Manta y Portoviejo) y Tele Atahualpa (Santo Domingo).

La primera fase de la transición a la TDT se cumplió hasta diciembre de 2016, en las ciudades de mayor población y hasta diciembre de 2018 se realizará el cambio definitivo a la llamada era digital.

CAPÍTULO 3

3. ESCENARIO Y DISEÑO DE ALGORITMOS.

En esta parte de nuestro trabajo mostraremos por menores del escenario donde se realizó el estudio de nuestro proyecto considerando el ambiente RF sobre el cual se realizaron las mediciones. Además, se describen los algoritmos que fueron diseñados en los procesos de adquisición, grabado y procesamiento de los datos, así como los equipos y software utilizados en cada fase de los procesos mencionados anteriormente.

3.1 Descripción y ubicación geográfica del escenario. –

El requisito principal del proyecto es que el edificio se encuentre en una zona urbana donde esté rodeado de otras edificaciones y conste de al menos 4 pisos para poder distinguir el efecto entre los diferentes pisos.

Las mediciones se realizaron en la ciudad de Guayaquil debido a la gran cantidad de habitantes y equipos de transmisión y recepción inalámbricos que tiene en comparación con otras ciudades de Ecuador. El edificio seleccionado fue la Torre del Norte B de la ciudad de Guayaquil, el cual se ubica al norte de la ciudad y donde existe una gran concentración de edificios empresariales con una alta densidad de usuarios. El edificio consta de 11 pisos y está ubicado en la Avenida Miguel H. Alcívar entre las calles Víctor Hugo Sicouret y Nahim Isaías Barquet como se aprecia en la figura 3.1:

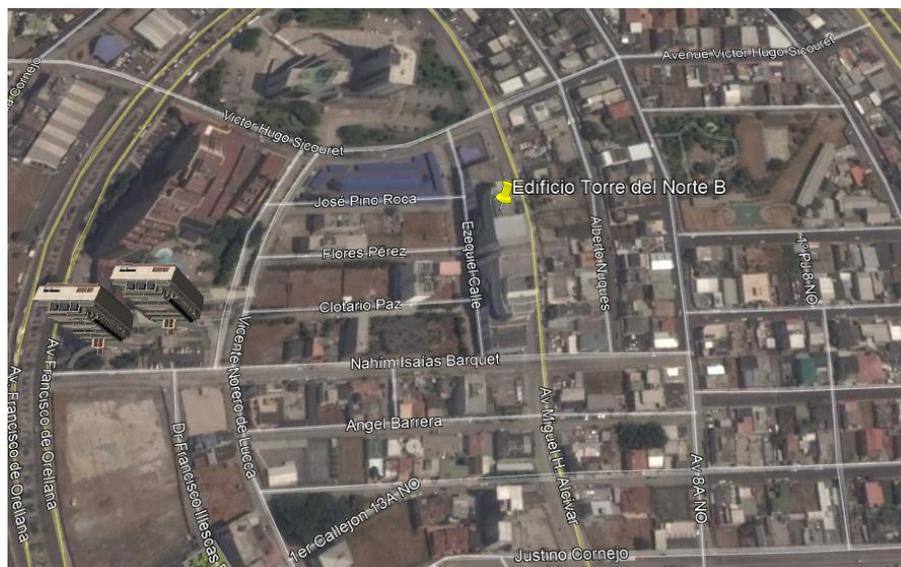


Figura 3.1: Ubicación del Edificio

Las mediciones se realizaron en 3 lugares estratégicos del edificio: piso 1 (planta baja), piso 8 (planta media) y piso 11 (planta alta) para observar la variación del comportamiento de las señales en la banda UHF-TV en cada piso. Los equipos de medición y grabado de datos se colocaron dentro de las oficinas de cada piso, lo cual permite que no exista línea de vista directa entre los transmisores de las señales de TV y nuestro equipo de recepción.

3.2 Equipos de Medición y Proceso de Grabado de Datos.-

El equipo que se utilizará para la recepción de la señal en la banda UHF-TV (512 – 698 MHz) es el RTL-SDR, el cual es una radio definida por software que consta de un chip RTL2832U. Una de las principales ventajas del dispositivo es su costo, el cual es de aproximadamente \$ 20, lo cual es mucho más económico que un USRP o un analizador de

espectro. Las principales descripciones del equipo RTL-SDR son como lo muestra la Tabla 8:

Nombre	RTL-SDR (820T)
Frecuencia Baja	24 MHz
Frecuencia Alta	1766 MHz
Ancho de Banda de Rx	3.2 MHz
Resolución ADC	8 bits

Tabla 8: Descripción del equipo utilizado en la medición

El RTL-SDR se lo conecta a una antena omnidireccional pequeña que le da una ganancia no mayor a 3 dB y por el otro lado se lo conecta al puerto USB de una laptop, la cual mediante un algoritmo define la frecuencia en la que el RTL realiza la medición, toma los valores de potencia de la señal y los almacena en un archivo Excel junto con tiempo en que se realizó la medición. En la figura 3.2 se muestran los equipos que componen el sistema de medición y almacenamiento de los datos:



Figura 3.2: Equipos utilizados en la adquisición de datos

Las mediciones se las realizó en cada piso durante una semana, las 24 horas del día, por lo que el proceso de medición tomó en total 3 semanas.

3.3 Algoritmo de Medición y Almacenamiento de los datos. -

El objetivo del algoritmo es monitorear la banda UHF-TV (512 MHz – 698 MHz) y grabar el nivel de potencia que sensa el RTL-SDR. El algoritmo fue desarrollado en Matlab utilizando la librería Communication System Toolbox que permite manejar al RTL-SDR con comandos.

En cada barrido el algoritmo toma 768 muestras por cada canal de TV de 6 MHz. La figura 3.3 muestra el diagrama e flujo del algoritmo de medición y grabado de los datos:

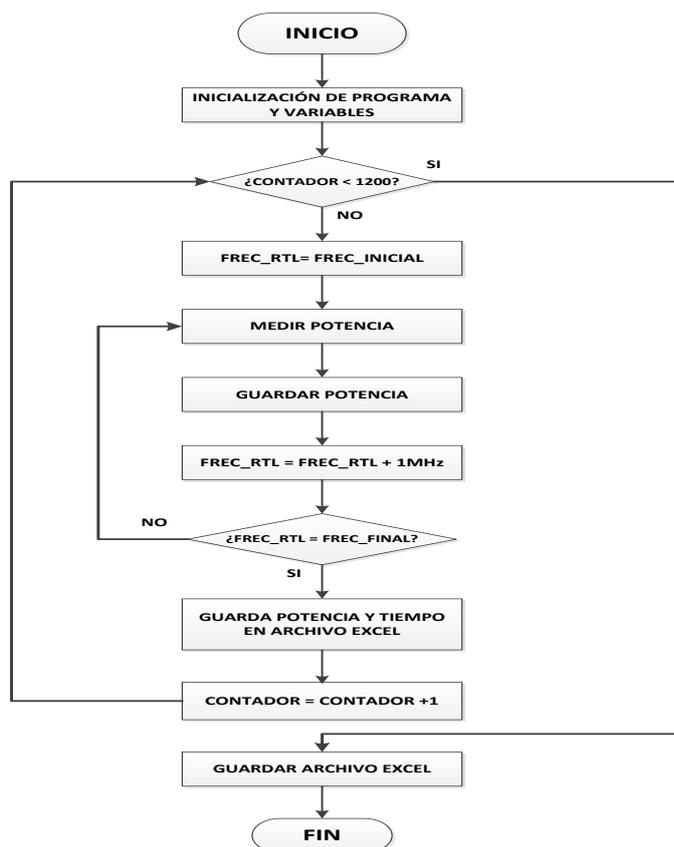


Figura 3.3: Diagrama de Flujo Algoritmo de Medición

Cabe indicar que el número de canales que mide en un barrido es de 31 canales obteniendo un total de 23808 mediciones en cada barrido. Los datos que se almacenan en el archivo Excel son niveles de potencia y tiempo en que se realizó la medición.

Los parámetros que se configuran en el equipo para realizar grabación de los niveles de potencia se los detalla en la Tabla 9:

Parámetro	Valor
Ancho de Banda Total	512-698 MHz
Ancho de Banda del Canal	6 MHz
Frecuencia Inicial	512 MHz
Frecuencia Final	698 MHz
Canal Inicial	21
Canal Final	51
Número de Canales	31
Threshold de Potencia	Piso de Ruido + 4 dB Piso de Ruido + 10 dB
Número de muestras para disponibilidad	13

Tabla 9: Parámetros de Configuración del Equipo

3.4 Procesamiento de los datos. -

El objetivo es elaborar las matrices de disponibilidad de canales individuales y conjuntos para las mediciones realizadas en cada piso y de esta forma obtener los canales que se encuentran libres la mayor cantidad de tiempo.

Para el procesamiento de los datos utilizamos los programas Matlab y Excel. Primero agrupamos todas las mediciones en un solo archivo y calculamos un solo valor de potencia por cada canal. El cálculo de la potencia depende si el canal es analógico o digital. Para canales

analógicos se tomará el promedio de los 2 valores de potencia más altos cercanos a la portadora de video (1.25 MHz). Para canales digitales se tomará el valor promedio de potencia de las mediciones tomadas en los 6MHz del ancho de banda total del canal, es decir, se promediará los valores de potencia de las 768 mediciones que se realiza por cada canal.

Aplicando el procedimiento anterior para cada canal y para cada medición, obtenemos la Matriz de Potencia donde las columnas representan el número de canales medidos, en nuestro caso 31. Las filas de la matriz son cada una de las mediciones que se realizó en el periodo de una semana. De esta forma obtenemos un valor de potencia para cada canal y por cada medición realizada durante el transcurso de la semana. El algoritmo de este procedimiento se representa en la figura 3.4:

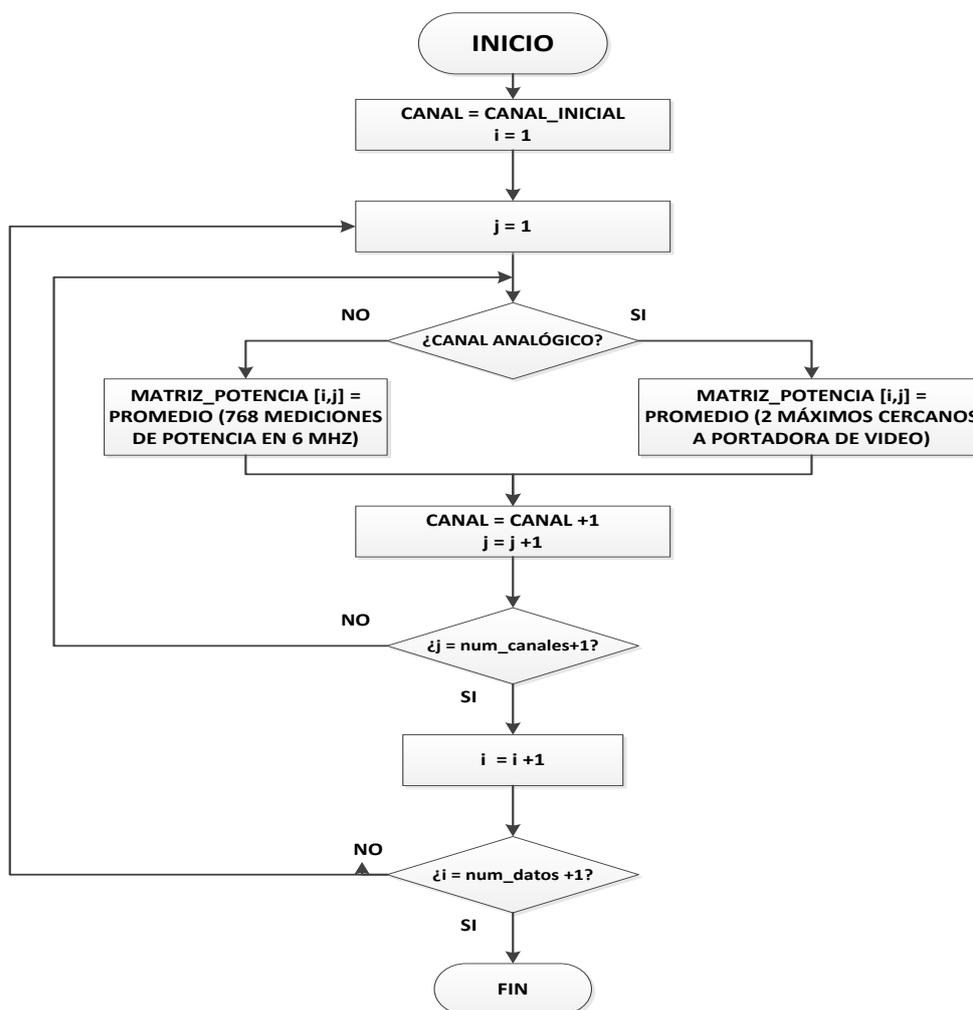


Figura 3.4: Diagrama de flujo de cálculo de potencia por canal

Una vez que se obtiene la matriz de potencia de los canales se procede a calcular el piso de ruido por día de cada piso. Este valor se obtiene calculando la potencia promedio por día de los canales desocupados de cada piso y tomando el menor de esos promedios.

Luego de esto se realiza el análisis para el primer threshold. Se compara la medición de potencia de cada canal de la Matriz de Potencia con el primer valor de threshold (piso de ruido + 4dB). Si el valor de potencia del canal está por encima de ese valor, se considera al canal ocupado y se coloca un 1 en la nueva matriz que denominaremos Matriz de Disponibilidad. Si al contrario, el valor de potencia del canal está por debajo de ese threshold,

se considera al canal disponible y se coloca un 0 en la Matriz de Disponibilidad. De esta manera generamos la matriz de disponibilidad comparando cada valor de potencia de cada canal con el threshold_1 .

A continuación, hacemos el mismo análisis para el segundo threshold . Se compara la medición de potencia de cada canal con el segundo valor de threshold (piso de ruido + 10dB). Si el valor de potencia del canal está por encima de ese valor, se considera al canal ocupado y se coloca un 1 en la Matriz de Disponibilidad₂. Si, al contrario, el valor de potencia del canal está por debajo de ese threshold , se considera al canal disponible y se coloca un 0 en la Matriz de Disponibilidad₂. De esta manera generamos la Matriz de Disponibilidad₂ comparando cada valor de potencia de cada canal con el threshold_2 .

El algoritmo de la Figura 3.5 representa el procedimiento realizado para calcular las Matrices de Disponibilidad:

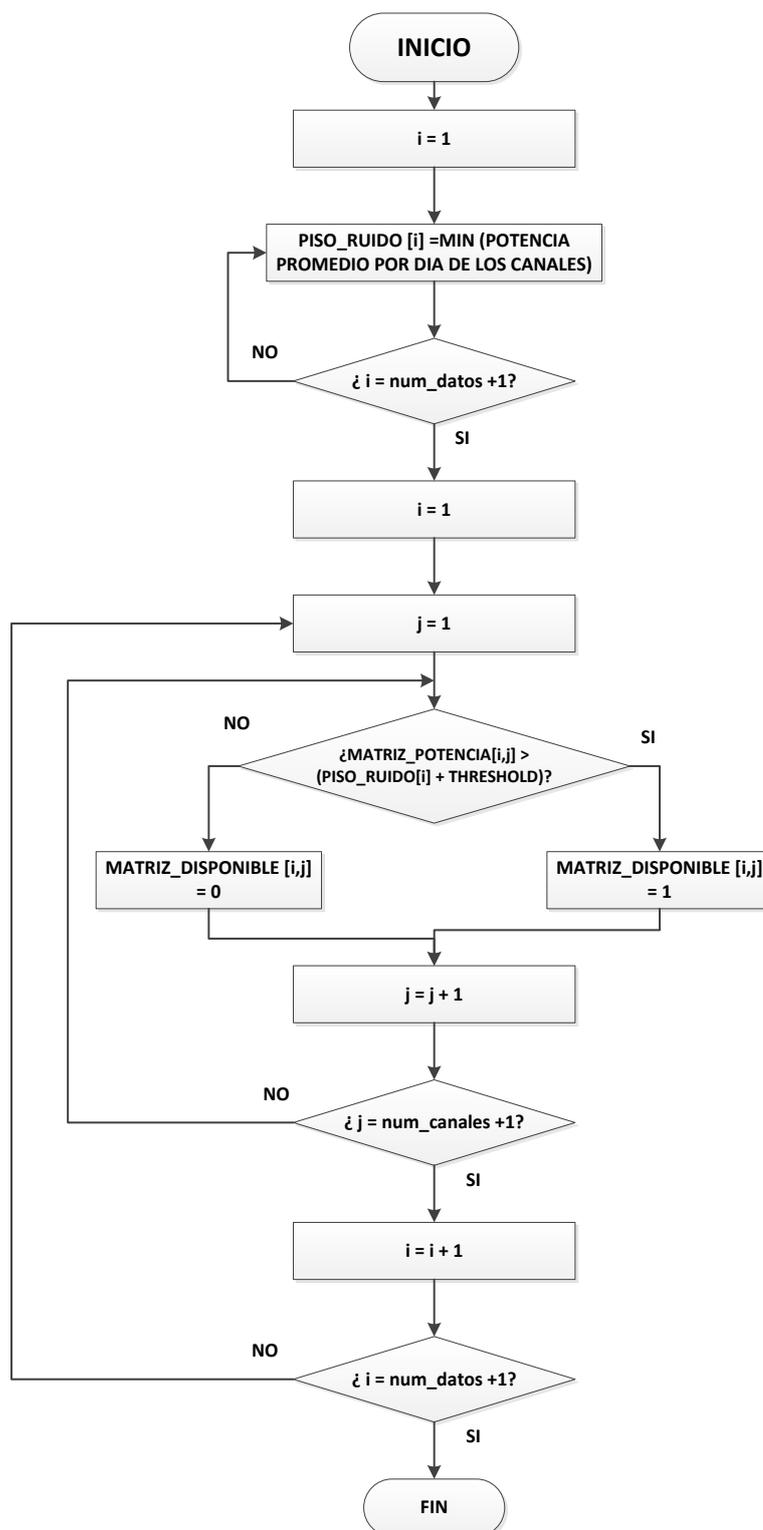


Figura 3.5: Diagrama de flujo, algoritmo matriz de disponibilidad

Una vez obtenidas las matrices de disponibilidad individual de cada piso procedemos a calcular la densidad de probabilidad acumulada de canales individuales disponibles, cuyos resultados serán mostrados en el siguiente capítulo. De la misma forma, luego procedemos a generar las Matrices de Disponibilidad de Canales Conjuntos considerando primero 2 canales continuos, luego 3 canales continuos, hasta llegar al máximo de canales continuos por cada piso. Finalmente calcularemos la densidad de probabilidad de canales conjuntos por cada piso y procederemos a analizar los resultados obtenidos.

En la figura 3.6 se muestra el algoritmo para la generación de las matrices de disponibilidad de canales conjuntos:

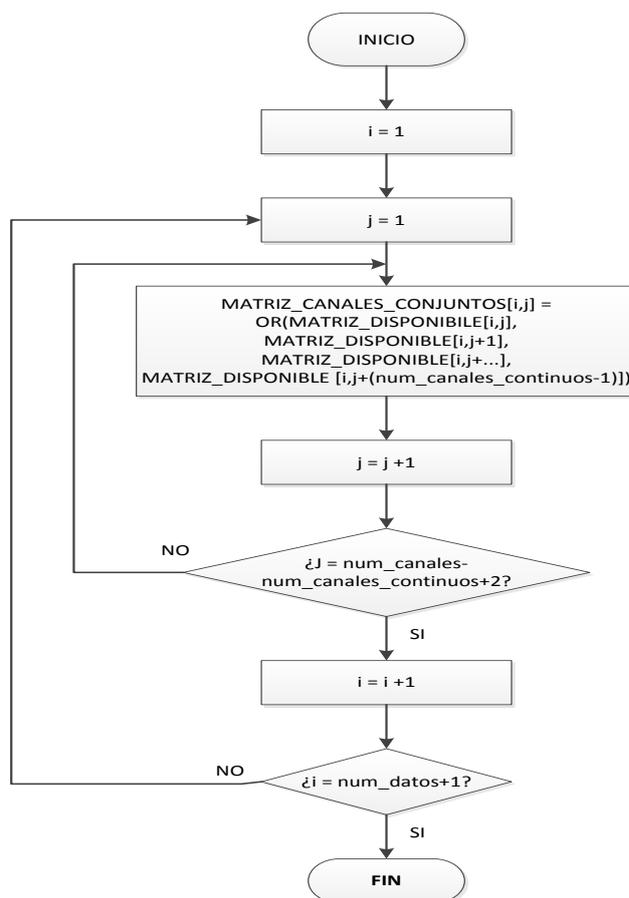


Figura 3.6: Diagrama de flujo, algoritmo matriz canales conjuntos

CAPÍTULO 4

4. Análisis y resultados.

En este capítulo se describe los detalles del escenario en el cual se realizó el estudio del proyecto considerando el ambiente RF sobre el cual se realizaron las mediciones. Además, se describen los algoritmos que fueron diseñados en los procesos de adquisición, grabado y procesamiento de los datos, así como los equipos y software utilizados en cada fase de los procesos mencionados anteriormente.

4.1 Análisis de los Niveles de Potencia

Una vez que se obtuvo la matriz de los niveles de potencia se grafican los datos de cada piso, obteniendo una gráfica de potencia de cada canal a través del tiempo. La figura 4.1 corresponde a los niveles de potencia del piso 1, la figura 4.2 corresponde al piso 8 y la figura 4.3 al piso 11. En la leyenda utilizada el color rojo significa el mayor valor de potencia y el color azul significa el menor valor de potencia.

Analizando la figura 4.1 que corresponde a la planta baja se puede observar que los canales 47, 49, 50 y 51 poseen la menor potencia en todo el tiempo de mediciones por lo que se puede concluir que estos 4 canales se encuentran disponibles para posible uso de Sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA).

En la misma figura 4.1 se observa que los canales 37, 39 y 41 poseen un porcentaje superior al 50% con muestras azules que indica bajos niveles de potencia y además poseen poca variabilidad, estos canales dependiendo del valor de threshold podrían estar disponibles la mayor cantidad de tiempo. Adicionalmente se observa que en promedio los valores de los otros canales se encuentran alrededor de los 40dB (color verde):

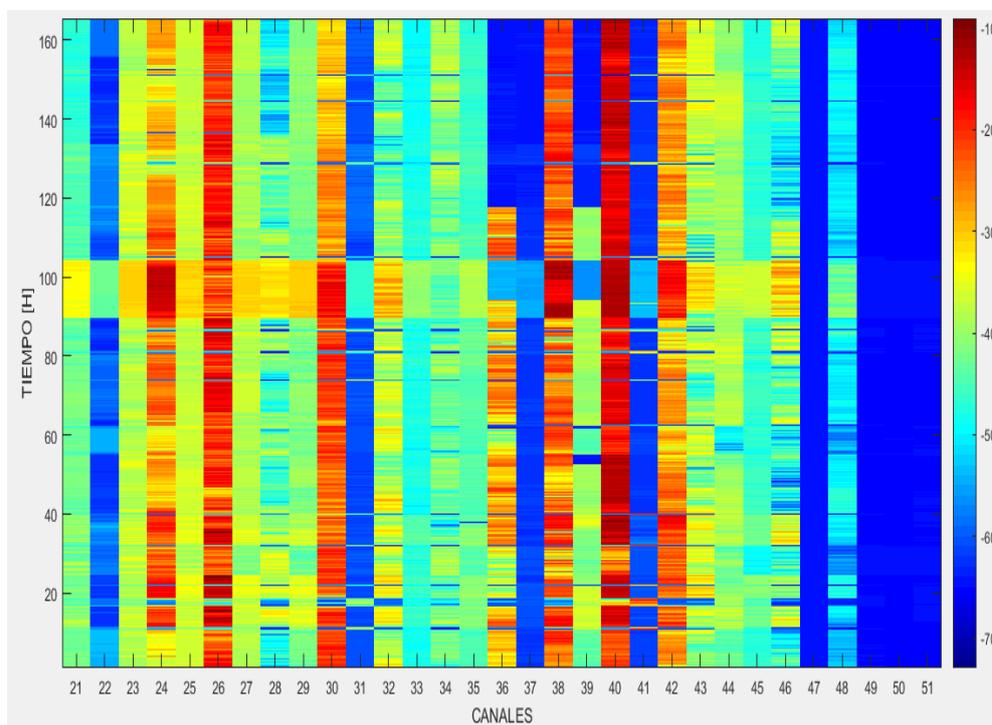


Figura 4.1: Niveles de Potencia de la banda UHF-TV (Planta Baja)

Analizando la figura 4.2 que corresponde a la planta media se puede observar que los canales 47, 49, 50 y 51 poseen la menor potencia en todo el tiempo de mediciones por lo que se puede concluir que estos 4 canales se encuentran disponibles también en la planta media para posible uso de Sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA).

En la misma figura 4.2 se observa que los canales 31, 37 y 41 poseen un porcentaje superior al 50% con muestras celestes que indica bajos niveles de potencia lo cual nos puede indicar que dependiendo del valor de threshold, podrían estar disponibles la mayor cantidad de tiempo. Adicionalmente se observa que en promedio los valores de los otros canales se encuentran alrededor de los 30dB (color amarillo):

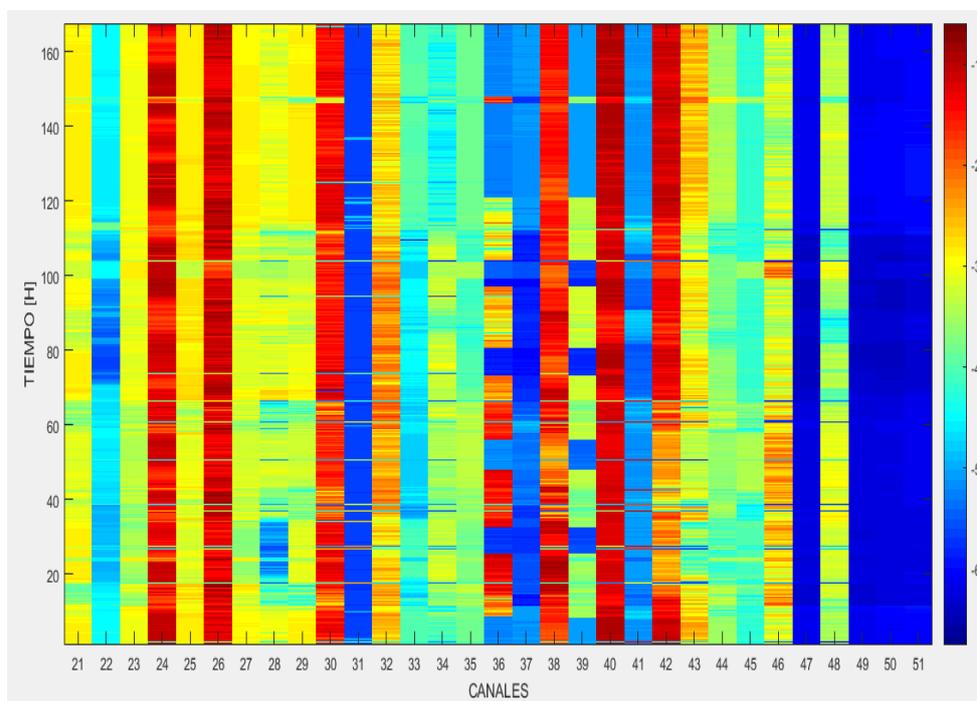


Figura 4.2: Niveles de Potencia de la banda UHF-TV (Planta Media)

Analizando la figura 4.3 que corresponde a la planta alta se puede observar que los canales 47, 49, 50 y 51 poseen la menor potencia en todo el tiempo de mediciones por lo que se puede concluir que estos 4 canales se encuentran disponibles también en la planta alta para posible uso de sistemas con acceso oportunista al espectro (OSA).

En la misma figura 4.3 se observa que no existen más canales con muestras azules predominantes que indican bajos niveles de potencia, como era de esperarse, la planta alta presenta poca disponibilidad de canales y en promedio los valores de potencia de los canales se encuentran alrededor de los 20dB (colores entre rojo y naranja):

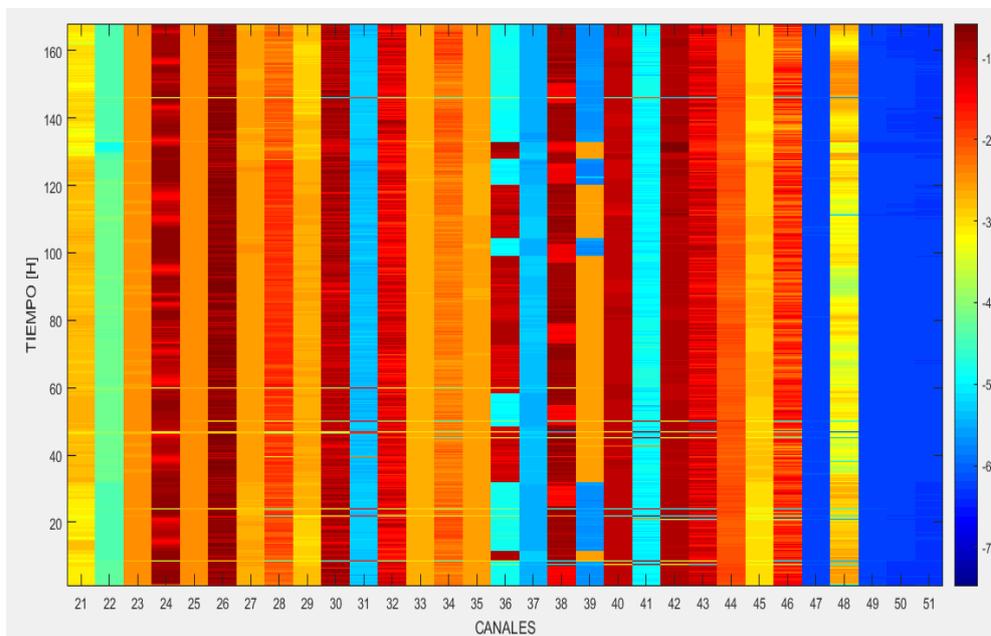


Figura 4.3: Niveles de Potencia de la banda UHF-TV (Planta Alta)

En la figura 4.4 se muestra la disponibilidad de canales en la planta baja utilizando como threshold el Piso de Ruido + 4dB. En la figura 4.4, el color rojo indica alta disponibilidad mientras que el color azul indica que el canal se encuentra ocupado. Como mencionamos anteriormente, en la planta baja se observa que en color rojo se encuentran los canales 47, 49, 50 y 51 lo que indica que se encuentran completamente disponibles. Los canales 37 y 41 tienen una disponibilidad de 79.57% y 73%, respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que utilizando un threshold de 4dB, los canales 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles 100% en la planta baja para posible uso de Sistemas con acceso oportunista al espectro (OSA):

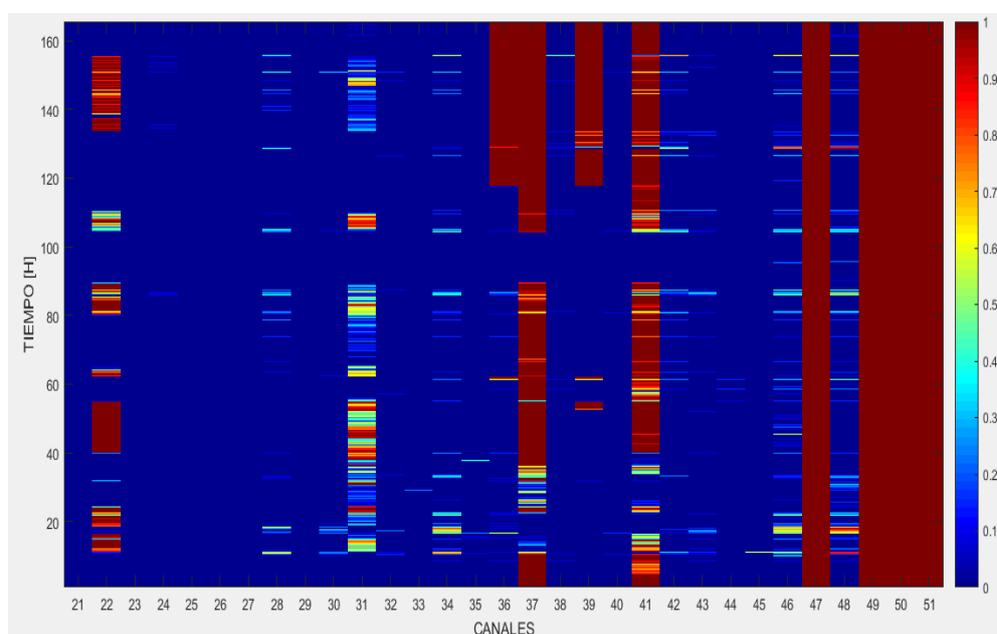


Figura 4.4: Disponibilidad de Canales UHF-TV (Planta Baja, $\lambda=4\text{dB}$)

En la figura 4.5 se muestra la disponibilidad de canales en la planta media utilizando como threshold el Piso de Ruido + 4dB. En la planta media se observa que en color rojo se encuentran los canales 47, 49, 50 y 51 lo que indica que se encuentran completamente disponibles. El resto de canales presentan mayormente color azul, lo que indica que se encuentran ocupados. Por lo tanto, se puede concluir que utilizando un threshold de 4dB, los canales 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles 100% en la planta media para posible uso de Sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA):

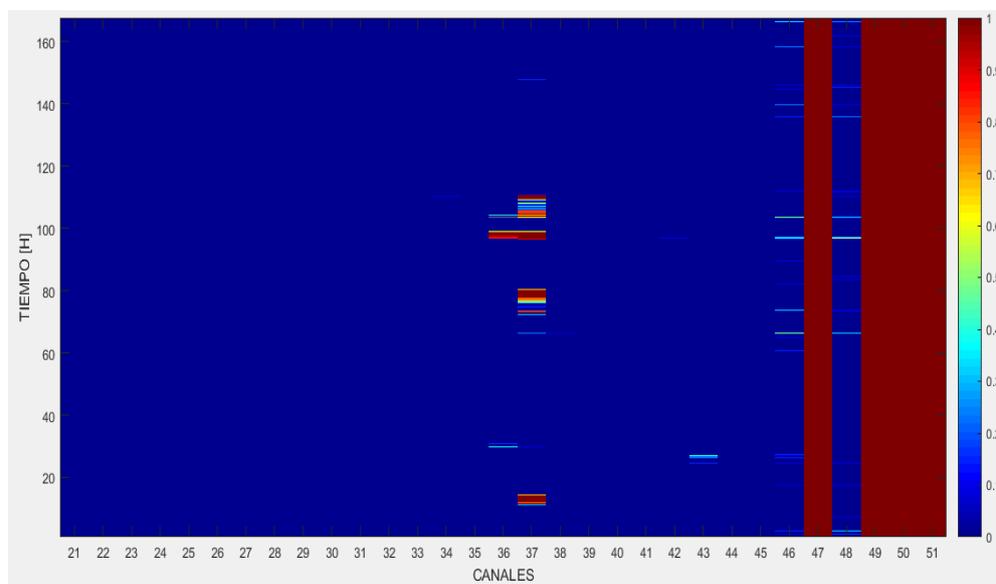


Figura 4.5: Disponibilidad de Canales UHF-TV (Planta Media, $\lambda=4\text{dB}$)

En la figura 4.6 se muestra la disponibilidad de canales en la planta alta utilizando como threshold el Piso de Ruido + 4dB. En la planta alta se observa que en color rojo se encuentran los canales 47, 49, 50 y 51 lo que indica que se encuentran completamente disponibles. El resto de canales presentan color azul, lo que indica que se encuentran ocupados. Por lo tanto, se puede concluir que utilizando un threshold de 4dB, los canales 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles 100% en la planta alta para posible uso de Sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA).

Comparando los 3 pisos, con un threshold de 4dB se observa que la planta baja presenta mayor disponibilidad de canales, y la planta media y alta presentan un comportamiento muy similar en cantidad de canales disponibles:

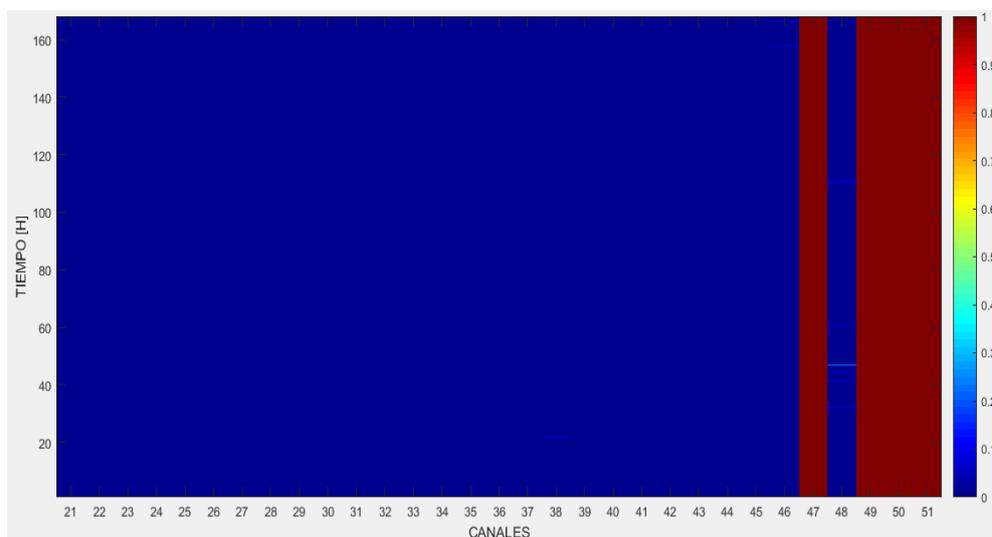


Figura 4.6: Disponibilidad de canales UHF-TV (Planta Alta, $\lambda=4\text{dB}$)

En la figura 4.7 se muestra la disponibilidad de canales en la planta baja utilizando como threshold el Piso de Ruido + 10dB. En la gráfica, el color rojo indica alta disponibilidad mientras que el color azul indica que el canal se encuentra ocupado. En la planta baja se observa que en color rojo se encuentran los canales 47, 49, 50 y 51 lo que indica que se encuentran completamente disponibles. Los canales 22, 31, 37 y 41 tienen una disponibilidad de 80.6%, 86.4%, 93.7% y 86.4%, respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que utilizando un threshold de 10dB, en la planta baja, los canales 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles 100% y los canales 22, 31, 37 y 41, presentan una disponibilidad superior al 80% para posible uso de Sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA):

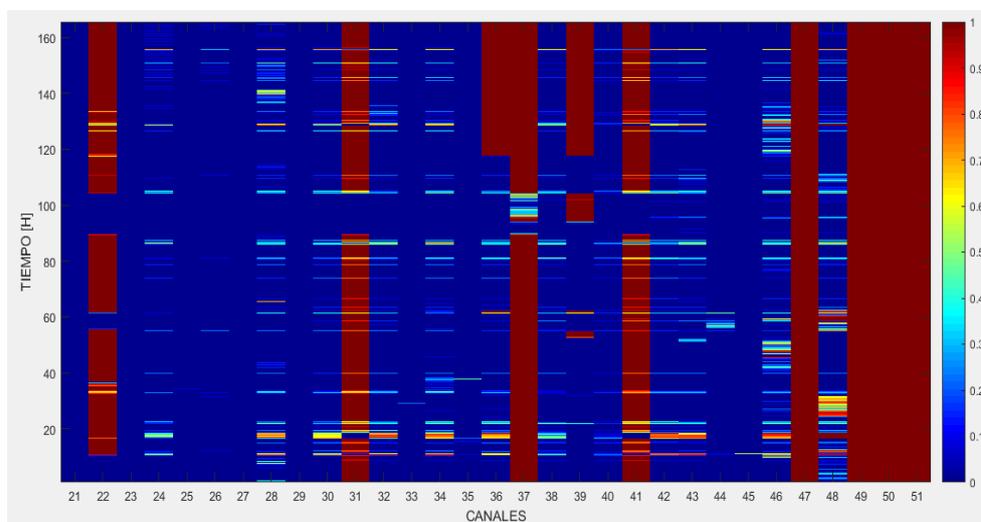


Figura 4.7: Disponibilidad de Canales UHF-TV (Planta Baja, $\lambda=10\text{dB}$)

En la figura 4.8 se muestra la disponibilidad de canales en la planta media utilizando como threshold el Piso de Ruido + 10dB. En la planta media se observa que en color rojo se encuentran los canales 47, 49, 50 y 51 lo que indica que se encuentran completamente disponibles. Los canales 31 y 37 presentan una disponibilidad de 94.6% y 72.9%. El resto de canales presenta mayormente un color azul, lo que indica que se encuentran ocupados. Por lo tanto, se puede concluir que utilizando un threshold de 10dB, en la planta media, los canales 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles 100% y los canales 31 y 37 presentan una disponibilidad mayor al 72.9% para posible uso de Sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA):

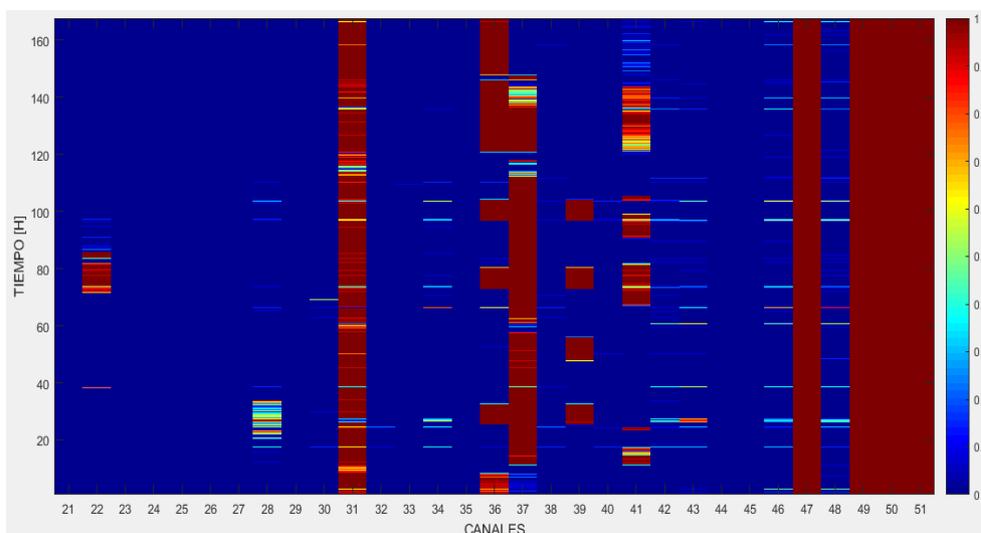


Figura 4.8: Disponibilidad de Canales UHF-TV (Planta Media, $\lambda=10\text{dB}$)

En la figura 4.9 se muestra la disponibilidad de canales en la planta alta utilizando como threshold el Piso de Ruido + 10dB. En la planta alta se observa que en color rojo se encuentran los canales 47, 49, 50 y 51 lo que indica que se encuentran completamente disponibles. El canal 37 presenta una disponibilidad de 95.5%, el resto de canales presentan mayormente color azul, lo que indica que se encuentran ocupados. Por tanto, se puede concluir que utilizando un threshold de 10dB, en la planta alta, los canales 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles 100% y el canal 37 presenta una disponibilidad del 95.5% para posible uso de Sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA).

Comparando los 3 pisos, con un threshold de 10dB se observa que la planta baja presenta mayor disponibilidad de canales, luego la planta media y finalmente la planta alta. Adicionalmente se observa que, al aumentar de un threshold de 4 dB a un threshold de 10 dB, la disponibilidad de canales aumenta:

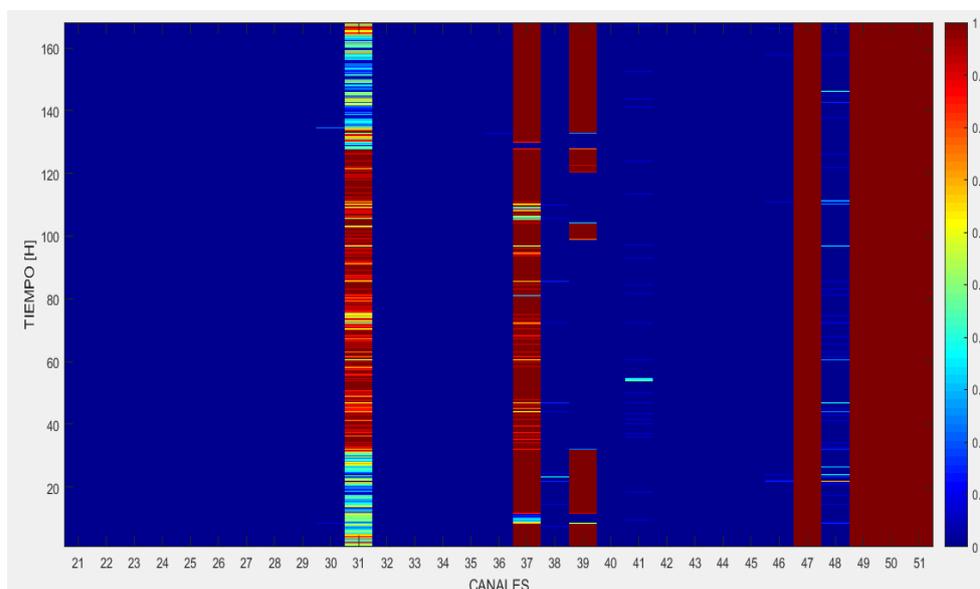


Figura 4.9: Disponibilidad de Canales UHF-TV (Planta Alta, $\lambda=10\text{dB}$)

4.2 Análisis Estadístico de Canales Unitarios Disponibles

Luego de haber analizado la disponibilidad de los canales en función de tiempo se analizará la cantidad de canales simultáneos disponibles por cada piso.

En la figura 4.10 se muestra la distribución de probabilidad acumulada de canales unitarios disponibles en la planta baja utilizando un λ de 4dBs y 10dBs. Se observa que en la planta baja con $\lambda = 4\text{dB}$ el promedio de canales disponibles es 6.87 canales y con un $\lambda = 10\text{dB}$ el promedio es de 8.69 canales, lo que equivale a 36MHz y 48 MHz de ancho de banda en promedio disponibles para uso con sistemas de Acceso Oportunista al Espectro (OSA). El mínimo de canales disponibles en ambos casos es de 4 canales y el máximo para $\lambda = 4\text{ dB}$ es de 14 canales y para $\lambda = 10\text{ dB}$ es de 20 canales. Se observa que para $\lambda = 4\text{ dB}$ hay entre 4 y 9 canales disponibles, es decir existe entre 24 MHz y 54 MHz de ancho de banda disponibles para uso con sistemas de Acceso Oportunista al Espectro (OSA) con una probabilidad de 84.8%. Se observa que para $\lambda = 10\text{ dB}$ hay entre 4 y 11 canales disponibles, es decir existe entre 24 MHz y 66 MHz de

ancho de banda disponible para uso con sistemas de acceso oportunista al espectro (OSA) con una probabilidad de ocurrencia de 92.8%:

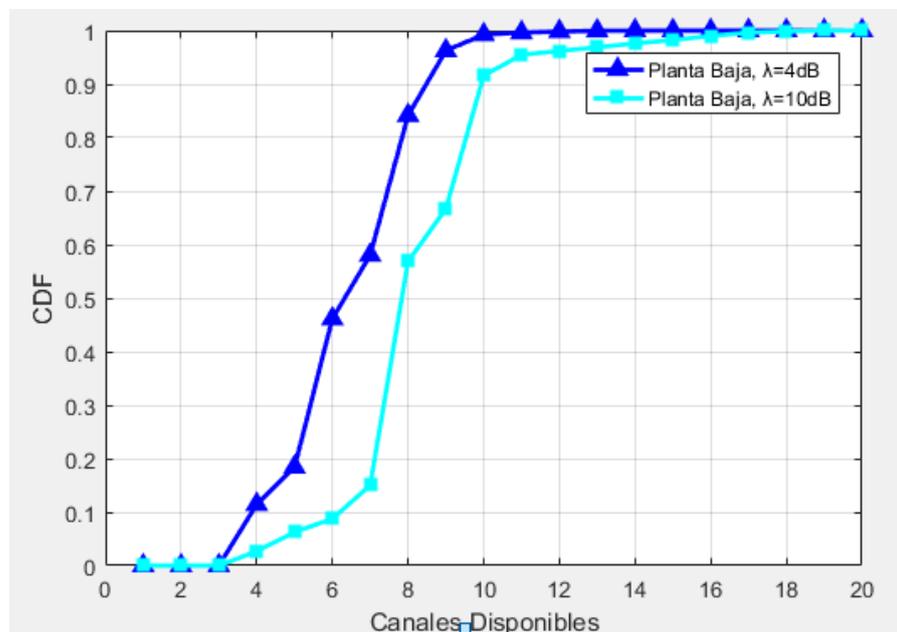


Figura 4.10: Disponibilidad de Canales UHF-TV (Planta Baja)

En la figura 4.11 se muestra la distribución de probabilidad acumulada de canales unitarios disponibles en la planta media utilizando un λ de 4dBs y 10dBs. Se observa que en la planta media con $\lambda = 4$ dB el promedio de canales disponibles es 4.13 canales y con un $\lambda = 10$ dB el promedio es de 6.80 canales, lo que equivale a 24 MHz y 36 MHz de ancho de banda en promedio disponibles para uso con sistemas de Acceso Oportunista al Espectro (OSA). El mínimo de canales disponibles en ambos casos es de 4 canales y el máximo para $\lambda = 4$ dB es de 9 canales y para $\lambda = 10$ dB es de 16 canales. Se observa que para $\lambda = 10$ dB hay entre 4 y 8 canales disponibles, es decir existe entre 24 MHz y 48 MHz de ancho de banda disponible para uso con sistemas de Acceso Oportunista al Espectro (OSA) con una probabilidad de ocurrencia de 89.2%:

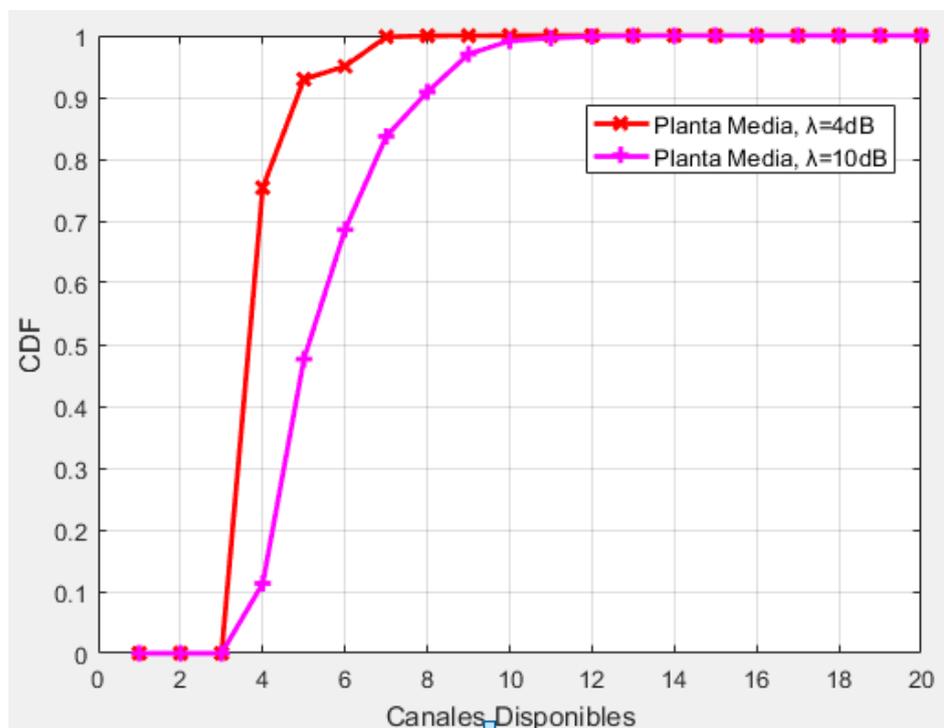


Figura 4.11: Disponibilidad de Canales UHF-TV (Planta Media)

En la figura 4.12 se muestra la distribución de probabilidad acumulada de canales unitarios disponibles en la planta alta utilizando un λ de 4dBs y 10dBs. Se observa que en la planta alta con $\lambda = 4$ dB el promedio de canales disponibles es 4.0 canales y con un $\lambda = 10$ dB el promedio es de 6.13 canales, lo que equivale a 24 MHz y 36 MHz de ancho de banda en promedio disponibles para uso con sistemas de Acceso Oportunista al Espectro (OSA). El mínimo de canales disponibles en ambos casos es de 4 canales y el máximo para $\lambda = 4$ dB es de 5 canales y para $\lambda = 10$ dB es de 9 canales. Se observa que para $\lambda = 10$ dB hay entre 4 y 7 canales disponibles, es decir existe entre 24 MHz y 42 MHz de ancho de banda disponible para uso con sistemas de Acceso Oportunista al Espectro (OSA) con una probabilidad de 97.9 de ocurrencia de 97.9%:

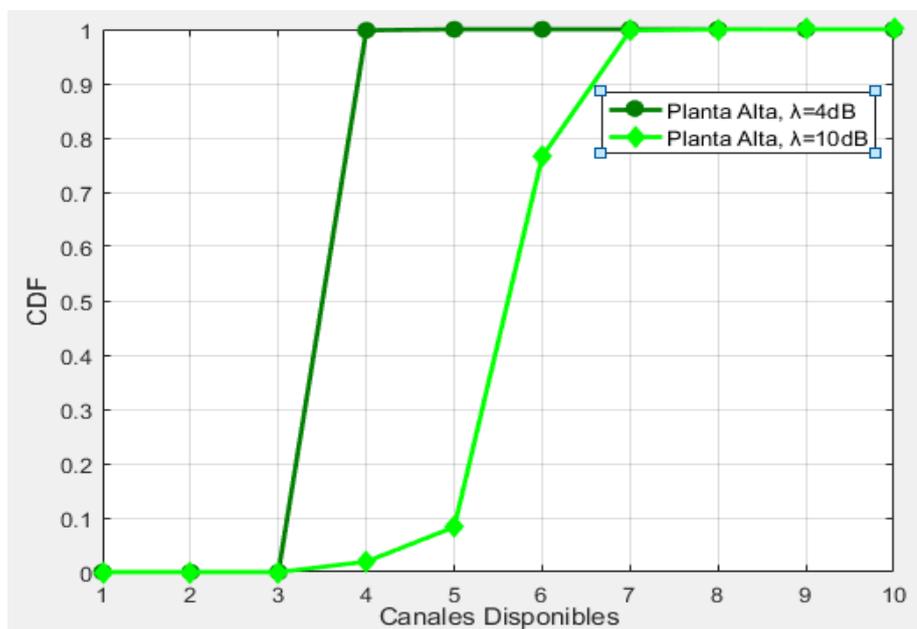


Figura 4.12: Disponibilidad de Canales UHF-TV (Planta Alta)

Observando los resultados en los 3 pisos, se concluye que se presenta una mayor cantidad de canales disponibles en la planta baja, comparado con la plana media y la planta alta. Además, se observa que en los 3 pisos con $\lambda = 10\text{dB}$, se obtiene en promedio 12 MHz más de ancho de banda comparado con los resultados de $\lambda = 4\text{dB}$.

4.3 Análisis estadístico del máximo número de canales conjuntos disponibles (N).

En la figura 4.13 se muestra la densidad de probabilidad acumulada de tener un máximo de n canales adyacentes disponibles en la planta baja utilizando dos valores de referencia λ , 4 dB y 10dB. Se observa que el máximo para ambos valores de λ es de 7 canales adyacentes disponibles y que un ancho de banda de 6 canales de TV contiguos (36 MHz) pueden ser obtenidos con una probabilidad de 2.6% para $\lambda = 4\text{dB}$ y con una probabilidad de 4.2% si el valor de $\lambda = 10\text{dB}$:

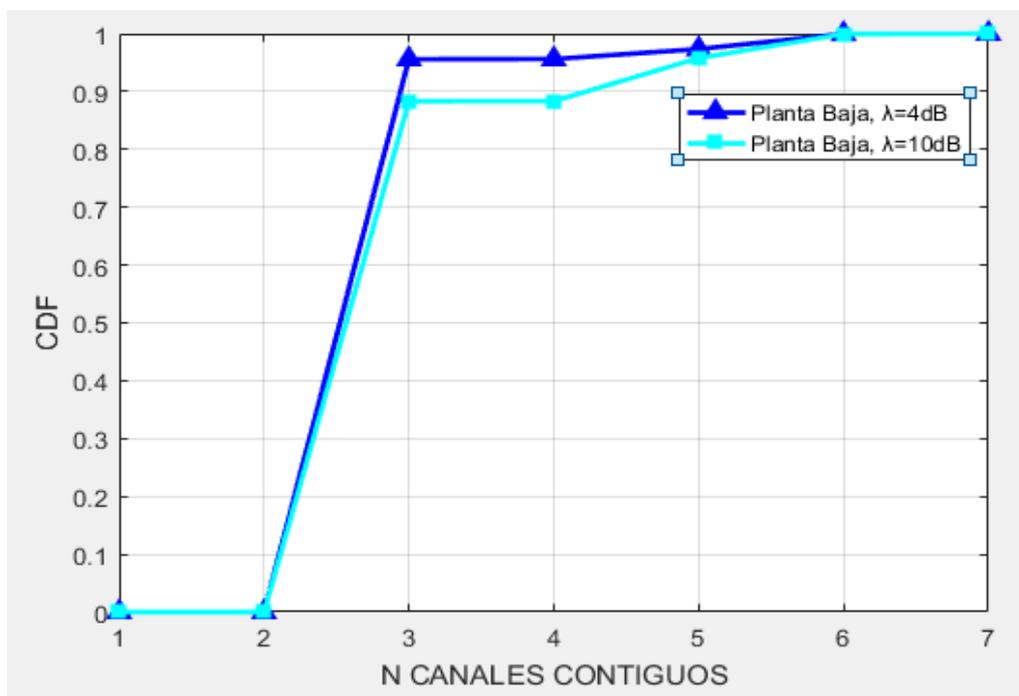


Figura 4.13: Máximo de N Canales Contiguos Disponibles (Planta Baja)

4.4 Análisis estadístico de grupos de N canales conjuntos disponibles

En las figuras 4.14 y 4.15 se muestran el comportamiento de grupos de canales en la planta baja. Con un $\lambda = 10\text{dB}$, con una probabilidad de 95% se puede encontrar hasta 5 diferentes anchos de banda de 12 MHz (2 canales contiguos), o hasta 3 diferentes anchos de banda de 18 MHz (3 canales contiguos), o hasta 2 diferentes anchos de banda de 24 MHz (4 canales contiguos) o si se necesita más ancho de banda, hasta 1 ancho de banda de 30 MHz (5 canales contiguos). En contraste, con un $\lambda = 4\text{dB}$, con la misma probabilidad se puede encontrar solamente 3 diferentes anchos de banda de 12 MHz, 2 diferentes anchos de banda de 18 MHz, y 1 ancho de banda de 24 MHz:

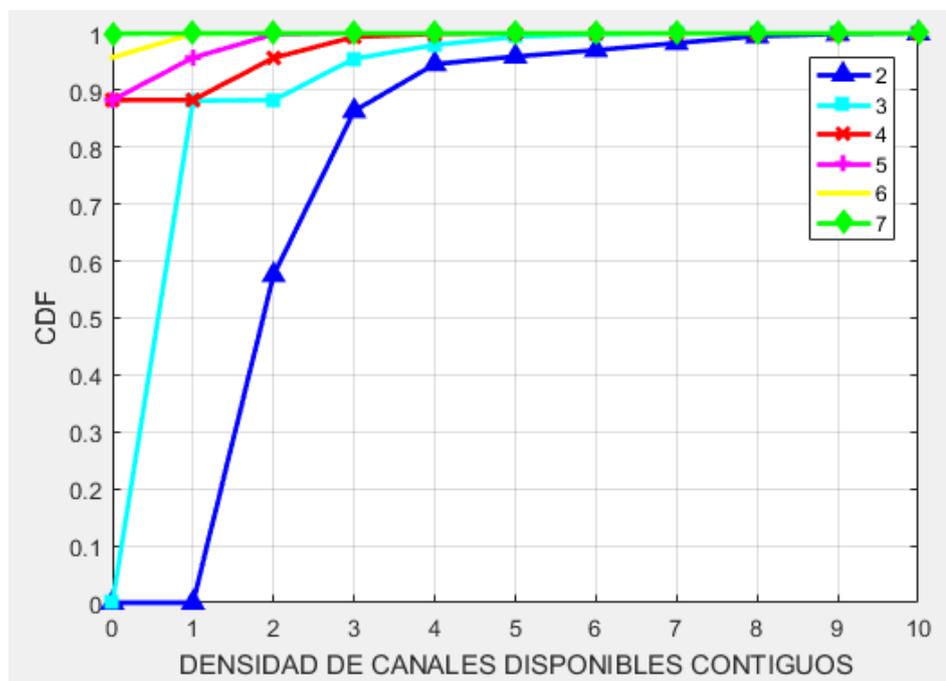


Figura 4.14: Canales Conjuntos Disponibles (Planta Baja, $\lambda=10\text{dB}$)

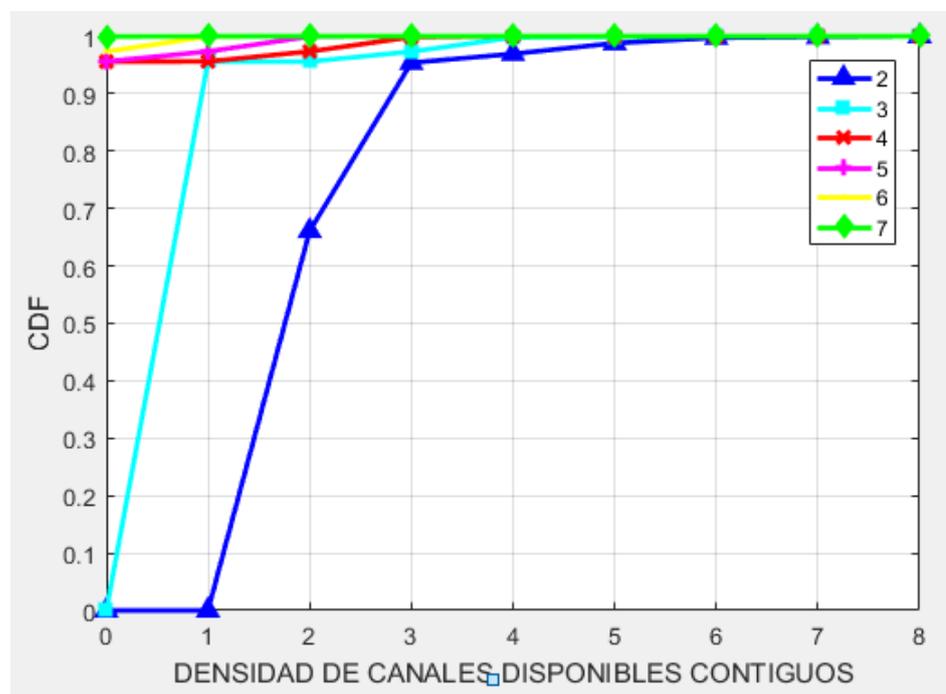


Figura 4.15: Canales Conjuntos Disponibles (Planta Baja, $\lambda=4\text{dB}$)

En las figuras 4.16 y 4.17 se muestran el comportamiento de grupos de canales en la planta media. Con un $\lambda = 10\text{dB}$, con una probabilidad de 99% se puede encontrar hasta 5 diferentes anchos de banda de 12 MHz (2 canales contiguos), o hasta 4 diferentes anchos de banda de 18 MHz (3 canales contiguos), o hasta 3 diferentes anchos de banda de 24 MHz (4 canales contiguos) o si se necesita más ancho de banda, hasta 2 diferentes anchos de banda de 30 MHz (5 canales contiguos). En contraste, con un $\lambda = 4\text{dB}$, con la misma probabilidad se puede encontrar solamente 3 diferentes anchos de banda de 12 MHz, 1 ancho de banda de 18 MHz, y 1 ancho de banda de 24 MHz:

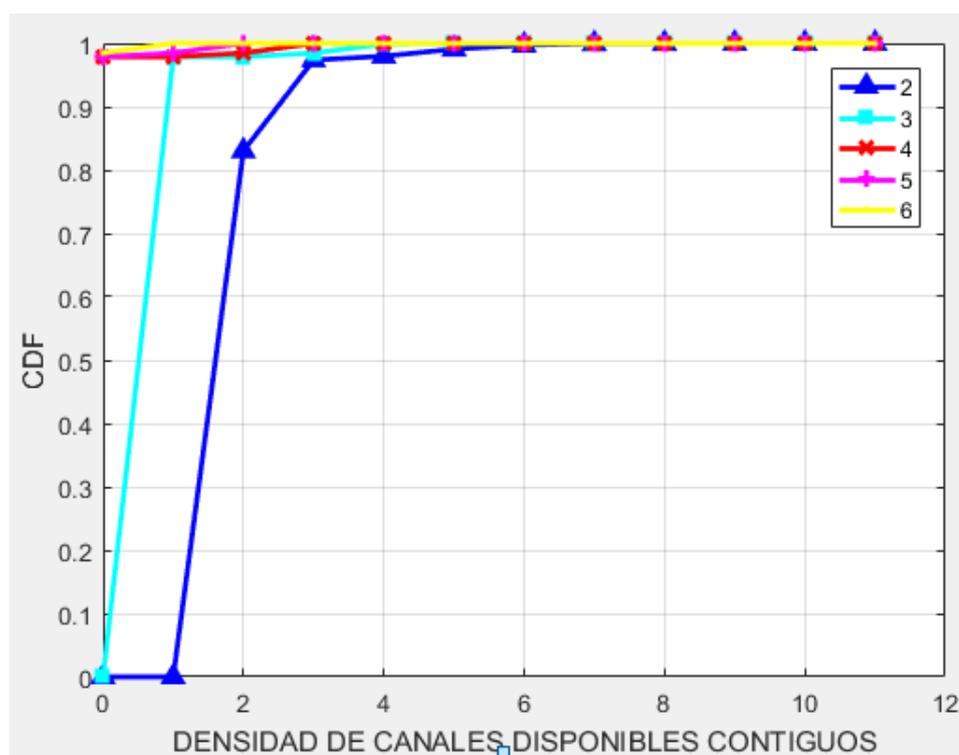


Figura 4.16: Canales Conjuntos Disponibles (Planta Media, $\lambda=10\text{dB}$)

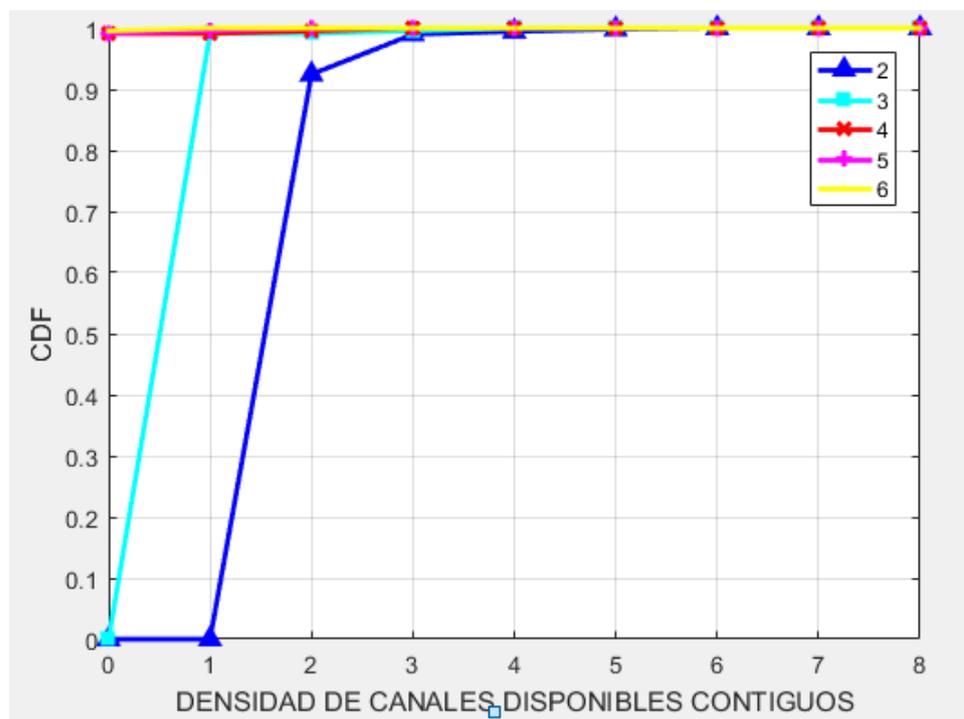


Figura 4.17: Canales Conjuntos Disponibles (Planta Media, $\lambda=4\text{dB}$)

En las figuras 4.18 y 4.19 se muestran el comportamiento de grupos de canales en la planta alta. Con un $\lambda = 10\text{dB}$, con una probabilidad de 99% se puede encontrar hasta 4 diferentes anchos de banda de 12 MHz (2 canales contiguos), o hasta 3 diferentes anchos de banda de 18 MHz (3 canales contiguos), o hasta 2 diferentes anchos de banda de 24 MHz (4 canales contiguos) o si se necesita más ancho de banda, hasta 1 ancho de banda de 30 MHz (5 canales contiguos). En contraste, con un $\lambda = 4\text{dB}$, con la misma probabilidad se puede encontrar solamente 2 diferentes anchos de banda de 12 MHz y 1 ancho de banda de 18 MHz.

En comparación los 3 pisos, se observa que en la planta baja existe una mayor cantidad de N canales contiguos disponibles en comparación con la planta media y la planta alta. Adicionalmente al utilizar un $\lambda = 10\text{dB}$, se tiene un mayor grupo de N canales contiguos disponibles en comparación con $\lambda = 4\text{dB}$:

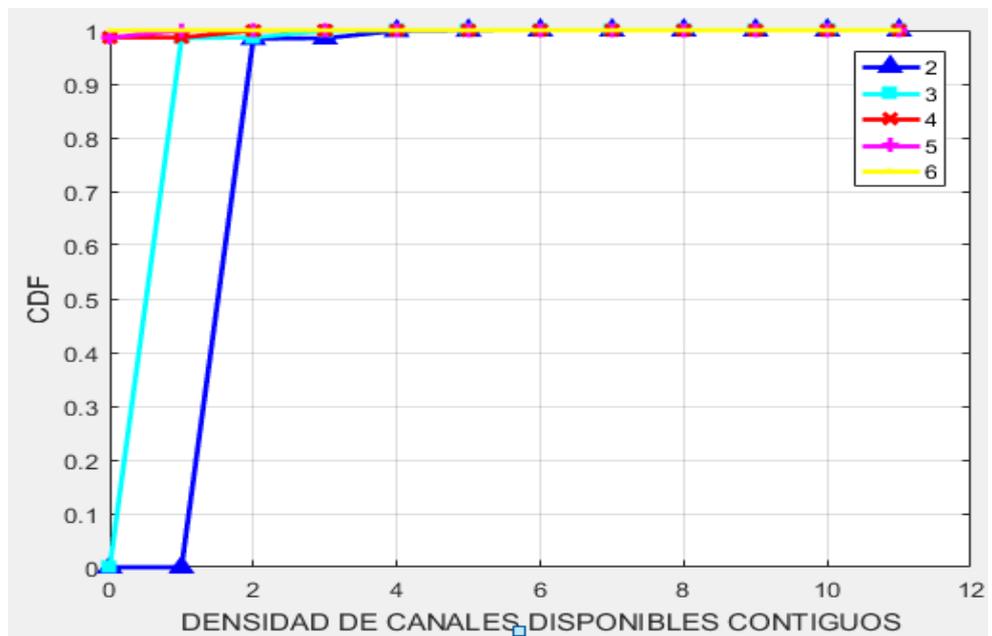


Figura 4.18: Canales Conjuntos Disponibles (Planta Alta, $\lambda=10\text{dB}$)

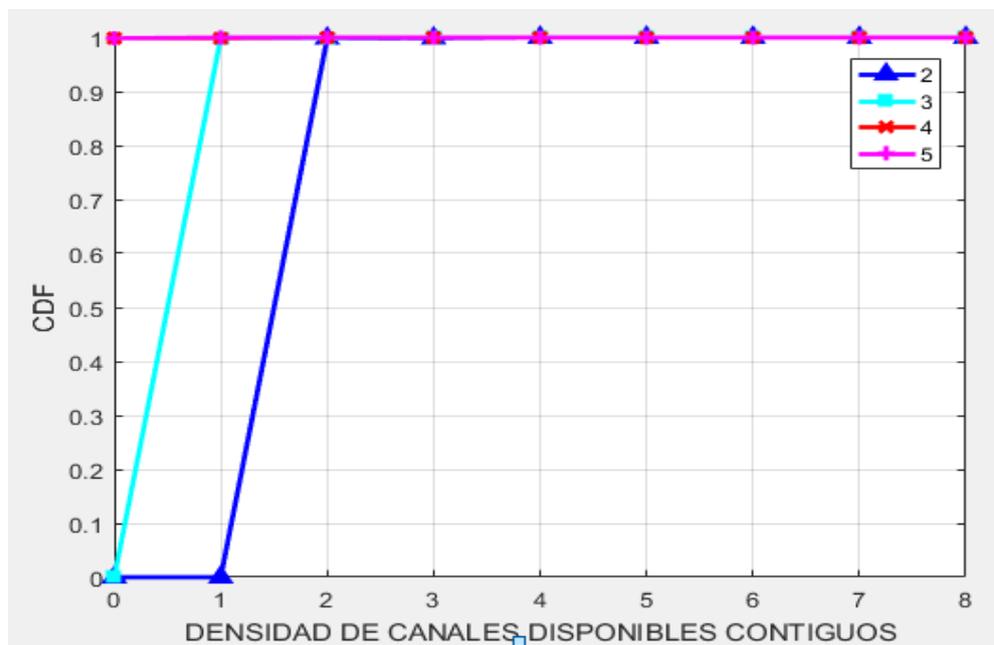


Figura 4.19: N Canales Conjuntos Disponibles (Planta Alta, $\lambda=4\text{dB}$)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se ha determinado la disponibilidad para canales individuales y conjuntos en cada uno de los pisos del edificio Torres del Norte B de la ciudad de Guayaquil, y se observó que en los pisos más bajos se presenta una mayor disponibilidad de canales tanto individuales como conjuntos debido a que los pisos inferiores presentan mayores obstáculos, pérdidas y menor línea de vista con los transmisores de la señal de TV, en comparación con los pisos superiores.

Se diseñó un algoritmo en Matlab para realizar mediciones de niveles de potencia en la banda UHF-TV (512 MHz – 698 MHz) usando un dispositivo RTL-SDR y que graba los datos en un archivo Excel. El algoritmo puede ser modificado para realizar mediciones en un mayor ancho de banda cuyas frecuencias se encuentren dentro del rango de recepción del dispositivo.

Se diseñaron 3 algoritmos en Matlab para procesar los datos: un algoritmo calcula el nivel de potencia por canal, otro algoritmo genera la Matriz de Disponibilidad de Canales Individuales y el tercer algoritmo genera la Matriz de Disponibilidad de N Canales Conjuntos. Estos algoritmos con pequeñas modificaciones pueden ser utilizados para procesar información de más canales, un mayor periodo, o de otras bandas diferentes a UHF-TV.

En la planta baja se presenta mayor cantidad de canales conjuntos disponibles (7 canales) en comparación con la planta media (6 canales) y la planta alta (5 canales). Además, en la planta baja se presenta mayor cantidad de canales individuales disponibles en promedio (6 y 8 canales equivalentes a 36 MHz y 48 MHz de ancho de banda) en comparación con la planta media y la planta alta (4 y 6 canales equivalentes a 24 MHz y 36 MHz de ancho de banda), es decir, la planta baja presenta disponibles 12 MHz más de ancho de banda comparado con la planta media y alta.

En la planta baja, con una probabilidad de 98% se encuentran hasta 5 diferentes anchos de banda de 12 MHz (2 canales contiguos) en contraste con la planta

media que presenta 4 diferentes anchos de banda de 12 MHz y con la planta alta que presenta únicamente 2 diferentes anchos de banda de 12 MHz con la misma probabilidad.

En el presente trabajo, mediante los análisis realizados se demostró que existen canales disponibles los mismos que pueden ser utilizados por sistemas OSA. Los canales 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles 100% en los 3 pisos. Lo que equivale a tener 1 canal de 6 MHz y 1 canal de 18 MHz de ancho de bandas disponibles para uso con sistemas de Acceso Oportunista al Espectro (OSA) con una probabilidad de ocurrencia de 100%. Del canal 47 se podría utilizar 5 MHz para una portadora 3G y 1 MHz para 5 portadoras GSM. De los canales 49, 50 y 51 se podrían utilizar 15 MHz para una portadora LTE y 3 MHz para 15 portadoras GSM.

Se recomienda para futuros estudios reducir el número de muestras por canal, puesto que el actual número de muestras (768 muestras) implica un mayor tiempo de procesamiento de los datos.

Se recomienda que para futuros estudios se extienda el estudio a todos los pisos del edificio para observar el comportamiento en cada piso.

Se recomienda el uso del dispositivo RLT-SDR para futuras campañas de medición de disponibilidad de espectro debido a su precisión y bajo costo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ARCOTEL Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, “Reporte de Cuentas Internet Fijos y Móviles”, Ecuador, Marzo. 2017.
- [2] 5G Américas, “Annual Global Technology Forecast Suscriptions”, Septiembre. 2016.
- [3] Universidad Politécnica de Catalunya, PROYECTO FINAL DE CARRERA “Identificación de white spaces en la Banda de Televisión para la Futura Implementación de Redes de Radio Cognitiva”, España, Julio 2011. Disponible:
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12749/Proyecto_Final_de_Carrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] F. H. Sanders, “Broadband spectrum surveys in Denver, CO, San Diego, CA, and Los Angeles, CA: methodology, analysis, and comparative results”, in Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 24–28 agosto 1998, vol. 2, pp. 988–993.
- [5] M. A. McHenry, K. Steadman, “Spectrum Occupancy Measurements, Location 1 of 6: Riverbend Park, Great Falls, Virginia”, Shared Spectrum Company report, agosto 2005. Disponible en:
<http://www.sharespectrum.com/measurements/>
- [6] T. Erpek, M. Lofquist, K. Patton, “Spectrum Occupancy Measurements: Loring Commerce Centre, Limestone, Maine, September 18-20, 2007”, Shared Spectrum Company report, noviembre 2007. Disponible en:
<http://www.sharespectrum.com/measurements/recent.html/>.
- [7] A. Petrin, P. G. Steffes, “Analysis and Comparison of Spectrum Measurements performed in Urban and Rural Areas to Determine the Total Amount of Spectrum Usage”, in Proceedings of the International Symposium on Advanced Radio Technologies (ISART 2005), 1–3 marzo 2005, pp. 9–12.

- [8] A. Petrin, "Maximizing the utility of radio spectrum: broadband spectrum measurements and occupancy model for use by cognitive radio", Ph.D. Thesis, School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, agosto 2005.
- [9] S. W. Ellingson, "Spectral occupancy at VHF: implications for frequency-agile cognitive radios", in Proceedings of the IEEE 62nd Vehicular Technology Conference (VTC 2005-Fall), 25–28 septiembre 2008, vol. 2, pp. 1379–1382.
- [10] S. D. Jones, E. Jung, X. Liu, N. Merheb, I.-J. Wang, "Characterization of spectrum activities in the U.S. public safety band for opportunistic spectrum access", in Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN 2007), 17–20 abril 2007, pp. 137–146.
- [11] Universidad Politécnica de Catalunya, PROYECTO DE FIN DE CARRERA, "Ocupación de la banda de televisión digital terrestre en un escenario INDOOR", España, 2014. Disponible en:
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21942/PFC_JFRANCE_SCHI.pdf .
- [12] J. Gómez, "Modelado de la disponibilidad de canales de la banda UHF-TV para el uso potencial de sistemas con acceso oportunista al espectro (OSA) en una zona urbana", Master Thesis, ESPOL, Ecuador, septiembre. 2015
- [13] Novillo, F.; Galeana, H.; Ferrus, R.; Agusti, R., "Spectrum Availability in Indoor Locations for Opportunistic Spectrum Access in Dense Urban Scenarios," Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th, vol., no., pp.1,5, 26-29 April 2009
- [14] S. M. S. Raikel Bordón López, «La Radio Cognitiva y su Impacto en el Uso Eficiente del Espectro de Radio,» Scielo-Cuba, vol. vol.36, nº 1, p. 8, 10 Enero 2015.
- [15] A. G. Quintero, «ACCESO DINAMICO AL ESPECTRO: ESTADO ACTUAL, TENDENCIAS Y RETOS,» Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 2, nº 4, pp. 38-52, 24 Noviembre 2008

- [16] U. S. M. d. Porres, Universidad San Martín de Porres, 2011. [En línea]. Disponible en:
<http://www.usmp.edu.pe/vision2011/exposiciones/19.Tv%20Analogica.pdf>.
- [17] J. C. L. Gutiérrez, «Diseño e implementación de una metodología para representar White Spaces con una herramienta de planificación de radiofrecuencia,» Barcelona, 2012.
- [18] E. D. T. Chanta, «“IDENTIFICACIÓN DE WHITE SPACES EN LA BANDA VHF/UHF PARA LA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE RADIO COGNITIVA EN LA CIUDAD LOJA”,» Loja, 2015.
- [19] ARCOTEL, «Proyecto-resolución-norma-tecnica-tv-analoga-final,» 2 Abril 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resolución-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf>.
- [20] J. M. Martínez, «TVD2009_Tema1.2TVAnalogica,» Universidad Autónoma de Madrid, 2009. [En línea]. Disponible en:
http://arantxa.ii.uam.es/~jms/tvd/temas09/TVD2009_Tema1.2TVAnalogica.pdf.
- [21] T. y. A. D.-E. Ministerio de Energía, «Televisión digital - TDT,» [En línea]. Disponible en: <http://www.televisiandigital.gob.es/TDT/Paginas/tdt.aspx>.
- [22] C. P. Vega, «TELEVISION DIGITAL TERRESTRE,» [En línea]. Disponible en: <http://eventos.ula.ve/sitel/expo/TV%20Digital%20Terrestre.pdf>.
- [23] RTL-SDR.com. (s.f.). RTL antenna. Recuperado el 30 de Julio de 2017, de RTL antenna:
<https://www.rtl-sdr.com/wp-content/uploads/2017/06/RTL-SDR-Blog-V3-Datasheet.pdf>