



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE ALGORITMOS PARA EL ANÁLISIS Y LA DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD ESPECTRAL DE CANALES INDIVIDUALES Y EN CONJUNTOS DE LA BANDA UHF DE TELEVISIÓN QUE PUEDE SER USADA EN SISTEMAS DE ACCESO OPORTUNISTA AL ESPECTRO (OSA), BASADO EN UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE BAJO COSTO QUE UTILIZA UN DISPOSITIVO RTL-SDR, EN EL INTERIOR DEL CONDOMINIO "EDIFICIO CENTRAL" DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

INGRID GEOVANNA ALLAUCA COBEÑA
KARLA LIZBETH LÓPEZ MURILLO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a Dios por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria y por brindarme las fuerzas necesarias para día a día no rendirme ante cada obstáculo de la vida. A mis padres que me han instado y brindado todo a su alcance para llegar hasta donde estoy, siendo el soporte necesario para mi desarrollo, a cada maestro por inculcar sus conocimientos y experiencias valiosas para mi desenvolvimiento en el ámbito profesional y finalmente a mis amigos por estar siempre a mi lado.

Ingrid Geovanna Allauca Cobeña

Como todo en mi vida mi más grande agradecimiento es a mi Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida, a mis padres por sus incansables esfuerzos y aquellas llamadas de atención que me hicieron entrar en razón, a mis hermanos por ser mi energía y el mejor abrazo, a mi Ronnie quien es mi mejor compañía, a mis familiares y a mis amigos quienes estuvieron conmigo apoyándome.

Agradezco a mi tutor y a mi compañera por el esfuerzo y la dedicación a lo largo de este tiempo. Por último y no menos importante quiero agradecer a todos los profesores que me brindaron sus conocimientos a lo largo de toda mi carrera.

Karla Lizbeth López Murillo

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo durante mis años de estudio, lo dedico a toda mi familia, en especial a mis padres, quienes durante todos estos años me han apoyado incondicionalmente y brindado sus buenos consejos, que con mucho cariño me motivaron hasta en los momentos más difíciles para cumplir mis metas.

Dedicado para ustedes Luis y Leticia.

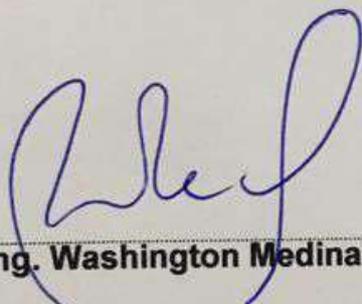
Ingrid Geovanna Allauca Cobeña

Este proyecto no podría ser dedicado a nadie más que a los seres que han confiado en mí a lo largo de mi vida.

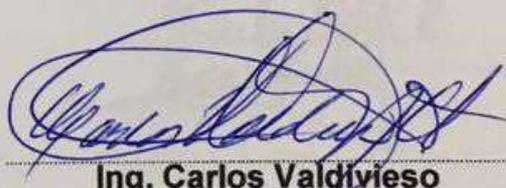
A mi Señor Jesús que siempre camina de mi mano ayudando a abrir puertas que parecen estar cerradas, a mis padres quienes me enseñaron a prepararme para enfrentar la vida, a mis hermanos que son la razón por la que me importa el buen ejemplo, a mi Ronnie por llegar en el momento preciso a mi vida, a mis familiares que son los que desde las gradas gritan mi nombre para que termine el juego y a mí porque me demostré una vez más que si se puede.

Karla Lizbeth López Murillo

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Ing. Washington Medina
PROFESOR EVALUADOR

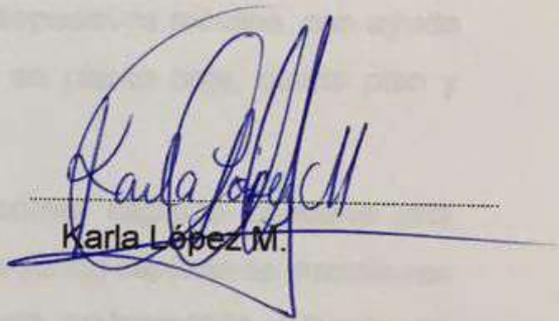


Ing. Carlos Valdivieso
PROFESOR EVALUADOR

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"

Ingrid Allauca
Ingrid Allauca C


Karla López M.
Karla López M.

RESUMEN

En la actualidad el espectro de radio frecuencias se encuentra limitado debido al aumento de dispositivos que utilizan un canal de comunicación inalámbrico, esto provoca saturación en los sistemas de comunicación, como solución a este gran problema se realizan estudios de tecnologías con sistemas de acceso oportunista al espectro, que permite usar cierto ancho de banda sin interferir al usuario primario.

Para poder hacer uso de estas nuevas tecnologías primero se debe determinar la disponibilidad de canales de la banda UHF-TV en una zona urbana de la ciudad con una gran cantidad de edificios y alta concentración de dispositivos móviles, con ayuda de un dispositivo de bajo costo (RTL-SDR) midiendo en planta baja, quinto piso y octavo piso por 7 días en cada posición.

El presente trabajo consta de 4 capítulos, en el primer capítulo contiene una explicación detallada de la problemática a tratar, en el segundo capítulo se mencionan otros trabajos realizados anteriormente acerca de esta problemática además de contener las bases teóricas para entender el tema a tratar, en el capítulo tres se realiza la descripción del escenario y los parámetros a considerar para realizar las mediciones necesarias, en el último capítulo se muestran los resultados obtenidos en base a las mediciones donde, obteniendo como resultado que el número de canales disponibles disminuye conforme el piso aumenta esto debido a que existe menor interferencia entre la trayectoria del haz y la antena receptora.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
CAPÍTULO 1.....	1
1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.	1
1.1 Identificación del problema.	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Solución	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivos Generales	3
1.4.2 Objetivos Específicos	3
1.5 Metodología.....	4
1.6 Alcance	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. ESTADO DEL ARTE.	6
2.1 Canal de radiocomunicación	7
2.2 Tecnologías Inalámbricas.....	8
2.2.1 Wi-Fi.....	8

2.2.2	Bluetooth	10
2.3	Disponibilidad del canal de radiocomunicación.....	11
2.4	Acceso Dinámico al Espectro	12
2.4.1	Modelo Dinámico de Uso Exclusivo.....	13
2.4.2	Modelo de compartición abierta.....	13
2.4.3	Modelo de acceso jerárquico	14
2.5	Sistema de Radio Cognitivos.....	15
2.6	Acceso Oportunista del Espectro.....	15
2.7	Mecanismos de monitoreo del medio inalámbrico	16
2.8	TV White Space	17
2.9	Sistema de Televisión en el Ecuador.....	17
CAPÍTULO 3.....		20
3.	MODELADO DEL ESCENARIO.....	20
3.1	Definición del Escenario	20
3.2	Criterio de reuso de canal.....	22
3.3	Modelo matemático	23
3.4	Mecanismo de medición, procesamiento y decisión	25
3.5	Pseudocódigo.....	28
CAPITULO 4.....		31
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
4.1	Localización geográfica del edificio	31
4.2	Parámetros de Configuración	32
4.3	Análisis de los resultados	33
4.3.1	Análisis temporal de los datos	33
4.3.2	Primer Análisis.....	38
4.3.3	Segundo Análisis	43
4.3.4	Análisis estadístico	48

4.3.5 Análisis de Canales Conjuntos	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1. Canalización de la Banda ISM operando en un Rango de 2.4 GHz....	9
Figura. 2.2. Diagrama del Acceso Dinámico al Espectro.....	13
Figura. 3.1. Escenario de Estudio Edificio en Ambiente urbano.....	20
Figura. 3.2. Vista en 3D del Escenario.....	22
Figura. 3.3. Modelo de Nivel de Potencia Recibido.....	23
Figura. 3.4. Diagrama de Bloques del Proceso.....	25
Figura. 3.5. Diagrama Esquemático del Proceso.....	27
Figura. 3.6. Algoritmo Interactivo Empleando el Dispositivo RTL.....	29
Figura. 4.1. Ubicación Geográfica del edificio.....	31
Figura 4.2 Niveles de potencia de primer piso.....	34
Figura 4.3 Niveles de potencia de quinto piso.....	35
Figura 4.4 Niveles de potencia de octavo piso.....	37
Figura 4.5: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del primer piso primer análisis.....	39
Figura 4.6: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del quinto piso primer análisis	40
Figura 4.7: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del octavo piso primer análisis	42
Figura 4.8: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del primer piso segundo análisis	44

Figura 4.9: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del quinto piso segundo análisis	45
Figura 4.10: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del octavo piso segundo análisis	47
Figura 4.11: PDF de Canales Libres.....	48
Figura 4.12: CDF de Canales Libres.....	49
Figura 4.13: CDF de Canales Conjuntos Libres primer piso del primer análisis....	50
Figura 4.15: CDF de Canales Conjuntos Libres quinto piso del primer análisis....	51
Figura 4.16: CDF de Canales Conjuntos Libres octavo piso del primer análisis....	51
Figura 4.13: CDF de Canales Conjuntos Libres primer piso del segundo análisis.....	52
Figura 4.14: CDF de Canales Conjuntos Libres quinto piso del segundo análisis.....	53
Figura 4.15: CDF de Canales Conjuntos Libres octavo piso del segundo análisis.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Rango de Frecuencia del Espectro Radioeléctrico.....	7
Tabla 2.2. Tasa de Datos de una Transmisión WiFi.....	9
Tabla 2.3. Arreglo de Antenas para Enlaces Ascendentes y Descendentes.....	11
Tabla 2.4. Bandas de Frecuencia y su Respectiva Canalización.....	19
Tabla 4.1: Parámetros de configuración.....	32

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.

1.1 Identificación del problema.

Actualmente el aumento de dispositivos de corto alcance que utilizan un canal de comunicación inalámbrico es evidente. Un estudio realizado por CISCO predice que aproximadamente el 70 % de la población en el 2020 contarán con un dispositivo móvil, es decir, 5.500 millones de usuarios, aumentando 8 veces el tráfico de datos móviles [1]. Cuando muchos dispositivos inalámbricos trabajan en la misma banda generan saturación del espectro radioeléctrico, ocasionando una comunicación ineficiente, por el momento esto ocurre generalmente en lugares de alta concurrencia de dispositivos móviles tales como estadios, coliseos, hospitales, etc. Pero el aumento de dispositivos móviles para los siguientes años genera preocupación debido a que no solo se verán afectados los lugares de alta concurrencia sino también zonas urbanas densas del centro de la ciudad donde se podría generar saturación del espectro debido al aumento masivo de dispositivos móviles. [2]

Además, no es solo el incremento de usuarios móviles lo que afecta a las comunicaciones inalámbricas sino también todas las nuevas tecnologías que usan un sistema de comunicación inalámbrica. De acuerdo con estudios realizados por la SUTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones de Costa Rica), “gran parte del espectro radioeléctrico se encuentra subutilizado”, debido a que no se está haciendo uso eficiente y efectivo del espectro. [3]

Al tener mal uso del espectro y aumento de tráfico de datos, la comunicación podría volverse ineficiente, es decir perder comunicación y no poder enviar ni recibir datos de manera inalámbrica.

1.2 Justificación

Hoy en día existen nuevos estudios que se realizan para poder aprovechar de mejor manera el espectro, el Acceso Dinámico al Espectro (DSA) es uno de los últimos estudios realizados para mitigar la escasez e ineficiencia de espectro radioeléctrico, queriendo implementar de forma practica la asignación dinámica del espectro [7].

El Acceso oportunista al espectro (OSA), constituye uno de los enfoques de Acceso Dinámico del Espectro, para OSA los usuarios secundarios pueden acceder y explotar las porciones del espectro no utilizadas por los usuarios primarios [8]. La tecnología más utilizada para desarrollar este tipo de sistemas con capacidad OSA es la Radio Cognitiva(CR), pues permite compartir un canal inalámbrico con usuarios no licenciados de una manera oportunista.

Se necesita identificar los espacios en blanco “White Spaces”, pues en estos espacios se podrán transmitir información, con dispositivos de capacidad OSA.

1.3 Solución

Una de las soluciones para mejorar el uso del espectro, y no tener problema en las comunicaciones inalámbricas, que se ha planteado hasta el momento es el uso dinámico del espectro, que nos permite reutilizar las frecuencias que están libres sin interferir al usuario principal bajo el sistema de acceso oportunista del espectro (OSA) y así mejorar el uso del espectro. [2]

Considerando lo anterior, se identificará los espacios libres del espectro en las bandas UHF de televisión dentro del Condominio en “EDIFICIO CENTRAL”, ubicado en el centro de Guayaquil, puesto que es un área con alta concentración de dispositivos de corto alcance inalámbricos y llena de edificios.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Generales

- Determinar la disponibilidad de la banda UHF de televisión y canales conjuntos, en el interior del Condominio “Edificio Central”.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Medir la densidad de potencia espectral, en el primer piso, cuarto piso y octavo piso en el condominio “Edificio Central”.
- Determinar el nivel de referencia (“Threshold”) de cada canal.
- Diseñar un algoritmo, determinístico de disponibilidad de la banda UHF.
- Diseñar algoritmo que evalúe los canales conjuntos que se encuentra disponibles en la banda UHF de televisión.
- Proponer el tipo de tecnologías más óptimo para el rango de frecuencias disponibles dentro del condominio.

1.5 Metodología

El presente trabajo consistirá en diseñar un conjunto de algoritmos en MATLAB que permita identificar los espacios libres en las bandas de frecuencias UHF de televisión, disponibles para sistemas de acceso oportunista al espectro (OSA).

Para comenzar con nuestro proyecto primero, se realizaran las mediciones en el condominio “EDIFICIO CENTRAL” ubicado en las calles García Avilés 520 entre Luque y Aguirre, el edificio consta de 8 pisos y se encuentra dentro de un área con alta densidad de dispositivos inalámbricos de corto alcance, por lo cual en un periodo de siete días durante las 24 horas, se medirá la densidad de potencia mediante un analizador de espectro RTL–SDR en las bandas comprendidas en UHF – TV entre 470Mhz a 698 Mhz, además se conoce que cada canal tiene un ancho de banda de 6 Mhz, es decir, analizaremos 38 canales, los RTL-SDR estarán ubicados en 3 pisos diferentes del edificio, en el primer piso, cuarto piso y octavo piso del edificio, a una distancia de 1.20 metros del suelo, y a 1 metros de la pared más cercana. Con la ayuda de un algoritmo los datos obtenidos serán guardado en una hoja de Excel, para poder seguir con el análisis de la densidad de potencia.

Luego debemos de definir el nivel de referencia de cada canal para poder realizar el análisis de disponibilidad. Se diseñará un algoritmo que permita analizar cada canal dependiendo si este es analógico o digital, cuando el canal es analógico debemos conocer a que frecuencia se encuentra la portadora de video y poder analizar la densidad de potencia a los alrededores de esa frecuencia, en el canal digital se debe sacar el promedio de las densidades de potencia medidas, al comparar la densidad

de potencia promedio con el nivel de referencia se podrá determinar si el canal se encuentra disponible.

Además, se creará un algoritmo para generar un Matriz donde se pondrá 0 y 1 dependiendo si el canal está disponible o no, esto nos permitirá identificar la existencia y cantidad de canales adyacentes que se encuentren disponibles.

1.6 Alcance

Las mediciones de densidad de potencia espectral se realizarán en el condominio "EDIFICIO CENTRAL" ubicado en las calles García Avilés 520 entre Luque y Aguirre, en tres pisos diferentes, planta baja, cuarto piso y noveno piso, durante siete días las veinticuatro horas del día para los tres pisos del edificio.

El dispositivo para el sistema de mediciones es el RTL- SDR que nos permite medir las potencias para canales digitales y analógicos, los datos serán procesados con MATLAB para obtener la densidad promedio de potencia que al comparar con el nivel de referencia nos va a permitir conocer si se encuentra libre u ocupado. Además, con un algoritmo creado en MATLAB se genera una matriz para determinar la cantidad de canales adyacentes disponibles.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

Debido al incremento de los sistemas de comunicaciones inalámbricos el espectro radioeléctrico sufre una saturación, para resolver este problema en algunos países se ha realizado estudios acerca de los espacios libre de TV en el espectro radioeléctrico el que puede ser utilizado para brindar otros servicios.

Estudiantes del Instituto Indio de Tecnología Deli elaboraron un paper basado en la detección de espacios libres y caracterización del espectro en zonas urbanas y rurales de la India, para lo cual se realizaron mediciones de espectro durante 1 día en varias zonas urbanas y rurales de la Región Capital Nacional de la India, utilizando un analizador de espectro de bajo costo llamado RF Explorer, los resultados mostraron que alrededor del 85% de la banda de tv en las gama de 470 – 698 Mhz, no se utilizan en el centro de la ciudad de Delhi y 95% no se utiliza en zonas rurales.[4]

En Ecuador, Ingenieros de la Escuela Superior Politécnica del Litoral realizaron un paper acerca de “Modeling Channel Availability in TV Bands for Devices with OSA Capabilities in Urban Zones”, para determinar los canales libres dentro de un edificio, la banda que analizaron fue la banda UHF-TV desde canal 21 hasta el 51, obteniendo como resultados que existen canales con alta disponibilidad más de 180 segundos, otro grupo de canales pueden ofrecer entre 28 y 38 segundos, lo que nos permite utilizar esos canales para otras tecnologías. [5]

Un estudiante de la Universidad de Loja elaboró su tesis de grado sobre “Identificación de White Spaces en la Banda VHF/UHF para la Futura Implementación de Redes de Radio Cognitiva en la Ciudad de Loja”, implementando un sistema de medición con un analizador de espectro, antena

y una portátil, las medidas fueron tomadas en varios puntos céntricos de la ciudad de Loja, obteniendo como resultados que aproximadamente un 70 % de espectro en la banda de frecuencia comprendida entre los 54 -648Mhz se encuentra disponible o subutilizado.[6]

2.1 Canal de radiocomunicación

Dentro de las comunicaciones inalámbricas, [9] describe el canal como el medio de propagación por el cual viaja la onda electromagnética desde la antena transmisora hasta ser captada por el receptor, las características principales de las ondas electromagnéticas son frecuencia, longitud y amplitud, según [10], las ondas electromagnéticas pueden ser clasificadas en:

- Ondas de Radio
- Microondas
- Infrarrojo

Las ondas electromagnéticas componen el espectro radioeléctrico tal como se muestra en la Tabla 2.1 [10] a continuación:

Banda	Rango de Frecuencia	ITU Región 2
HF	3 - 30 MHz	
VHF	30 - 300 MHz	138-145, 216-225 MHz
UHF	300 - 1000 MHz	420-450, 890-942 MHz
L	1 - 2 GHz	1215-1400 MHz

S	2 - 4 GHz	2.3-2.5, 2.7-3.7 GHz
C	4 - 8 GHz	5.25-5925 GHz
X	8 - 12 GHz	8.5-10.68 GHz
Ku	12 - 18 GHz	13.4-14, 15.7-17.7 GHz
K	18 - 27 GHz	24.05-24.25 GHz
Ka	27 - 40 GHz	33.4-36 GHz
R	26,5 - 40 GHz	
Q	33 - 50 GHz	
V	40 - 75 GHz	
W	75 - 110 GHz	

Tabla 2.1 Rango de Frecuencia del Espectro Radioeléctrico

2.2 Tecnologías Inalámbricas

En los últimos años han aparecido una gran cantidad de tecnologías de comunicación que emplean canales de radiocomunicación, aquellas tecnologías que son aprovechadas para satisfacer los servicios de telecomunicaciones de la comunidad actual se presentan a continuación:

2.2.1 Wi-Fi

Es una red de conexión entre dispositivos por medio de puntos de acceso dentro de un área corta [10], opera en la banda no licenciada ISM 2.4 GHz o 5 GHz de acuerdo al estándar IEEE 802.11 a/b/g/n mediante canales solapados, cada canal tiene 22 MHz de ancho de banda mientras la separación entre canales adyacentes es de 5MHz, de tal modo que existirán solo 3 canales sin solapamiento, la siguiente Figura 2.1 [11] muestra la canalización de la banda ISM cuando opera en el rango de 2.4 GHz [12]:

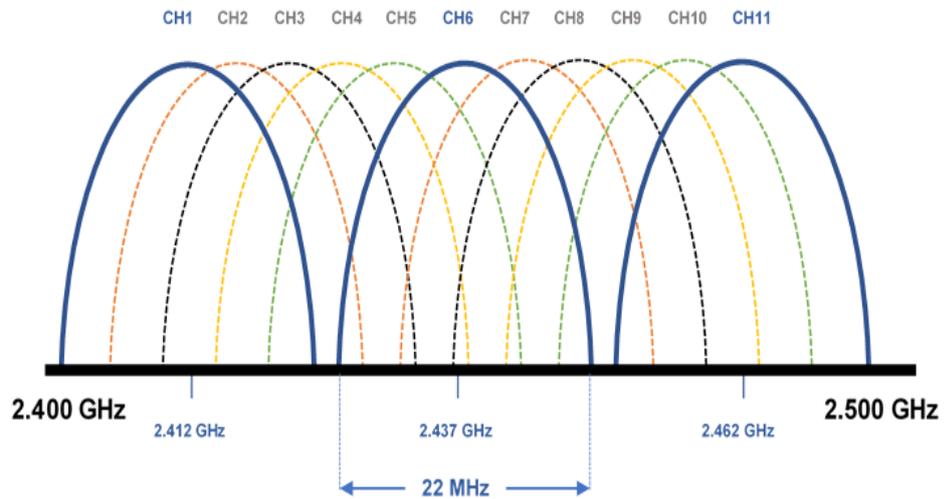


Figura. 2.1 Canalización de la Banda ISM operando en un Rango de 2.4 GHz

En [11] se establece la sensibilidad de recepción como una relación entre el nivel de señal de potencia recibido y la calidad de servicio, de acuerdo a este criterio la siguiente Tabla 2.2 [13], muestra cómo varía la tasa de datos de una transmisión Wi-Fi respecto a la sensibilidad del receptor:

Tasa de Datos	Sensibilidad RX 802.11g
6 Mbps	-82 dBm
9 Mbps	-81 dBm
12 Mbps	-79 dBm
18 Mbps	-77 dBm
24 Mbps	-74 dBm
24 Mbps	-70 dBm
48 Mbps	-66 dBm
54 Mbps	-65 dBm

Tabla 2.2 Tasa de Datos de una Transmisión WiFi.

2.2.2 Bluetooth

Con base a [12], esta tecnología permite enlaces *P2P* o *P2MP* entre dispositivos móviles, teléfonos celulares, cámaras digitales y PDAs a bajo consumo de potencia, costos mínimos y una moderada tasa de transferencia de datos en un entorno de corto alcance, según [13], la tecnología Bluetooth formará parte integral de las aplicaciones para sistemas domóticos y zonas inteligentes, permitiendo conectar nuestro hogar, oficinas y edificios.

Esta tecnología opera en la Banda ISM 2.4 GHz, utiliza 79 canales de 1 MHz de ancho de banda, estos canales no se encuentran solapados y se multiplexan en intervalos de tiempo para realizar una transmisión, garantizando la transferencia de datos al identificar la disponibilidad del canal a partir de umbrales de potencia y niveles de interferencia percibidos en el medio radioeléctrico dentro de su banda.

2.2.3 LTE 4G

Es un sistema de comunicación que surge de la evolución de la telefonía móvil [14], relacionada a la demanda de mayores tasas de datos para ofrecer y soportar una variedad de servicios como acceso a internet, chat, video, transferencia de archivos, entre otros. Mediante esta tecnología [15] se consigue integrar estos servicios sobre el protocolo IP, obteniendo altas velocidades de transferencia a bajo costo y despliegue factible. Su interfaz radio emplea técnicas de múltiples antenas para mejorar la capacidad del sistema de acuerdo a la Tabla 2.3 [15], aprovechando los canales estadísticamente independientes que se originan por efecto de multitrayectos de la señal propagada.

La transmisión del enlace descendente se realiza empleando OFDMA segmentando el ancho de banda en un gran número de subportadoras ortogonales e independientes entre sí de 15 KHz, de modo similar para transmitir el enlace ascendente el sistema LTE utiliza SC-FDMA, el cual requiere de menor potencia para salvaguardar la vida útil de la batería del dispositivo móvil. Para realizar una transmisión sea esta del enlace ascendente o descendente, el sistema utiliza todo el ancho de banda, por esta razón el parámetro de reuso de frecuencia para sistemas LTE es 1, debido a esto se emplean técnicas de transmisión OFDM [16] para contrarrestar los efectos de la interferencia intracelular y estrategias de coordinación entre los nodos de la red para mitigar las señales de interferencia intercelular proveniente de células vecinas.

Ancho de banda	Enlace Descendente		Enlace Ascendente
	Arreglo de Antenas		
	2x2	4x4	1x2
5 MHz	37 Mbps	72 Mbps	18 Mbps
10 MHz	73 Mbps	147 Mbps	36 Mbps
20 MHz	150 Mbps	300 Mbps	75 Mbps

Tabla 2.3 Arreglo de Antenas para Enlaces Ascendentes y Descendentes.

2.3 Disponibilidad del canal de radiocomunicación

El espectro radioeléctrico se ha convertido en un escaso recurso para satisfacer la demanda de calidad de los servicios que ofrecen las tecnologías inalámbricas actuales, según [17] estas tecnologías presentan inconvenientes de pérdidas de niveles de potencia que

generan disminución de su cobertura, señales de interferencias o ruido provenientes de otros sistemas de comunicación desplegados , problemas de saturación por una alta concentración de usuarios y transferencias de datos condicionadas por la limitada disponibilidad del espectro.

Por otro lado, aunque las entidades regulatorias de telecomunicaciones dentro de sus normativas de control y administración de bandas de frecuencia establecen una asignación fija del espectro para los servicios que ofrecen las tecnologías inalámbricas, prohibiendo el uso de otras frecuencias que no sean las concesionadas, presentes estudios en [18] indican que una asignación de frecuencias estática no es adecuada debido a la congestión o subutilización de canales de frecuencia en ciertos intervalos de tiempo y zonas espaciales.

Con base a lo anterior se plantean soluciones tales como una asignación dinámica del espectro que permitan optimizar los recursos del espectro radioeléctrico.

2.4 Acceso Dinámico al Espectro

Es evidente que ante un recurso limitado y un mecanismo de asignación que no se adapta a la necesidad de los sistemas actuales, se busca determinar nuevas formas de gestionar el espectro de manera más eficiente, de este modo en [16] se definen un conjunto de técnicas para el acceso a bandas de frecuencia dependientes del comportamiento y estructura del sistema de comunicación.

La Figura 2.2 [19], a continuación, muestra las técnicas de acceso dinámico al espectro [19]:

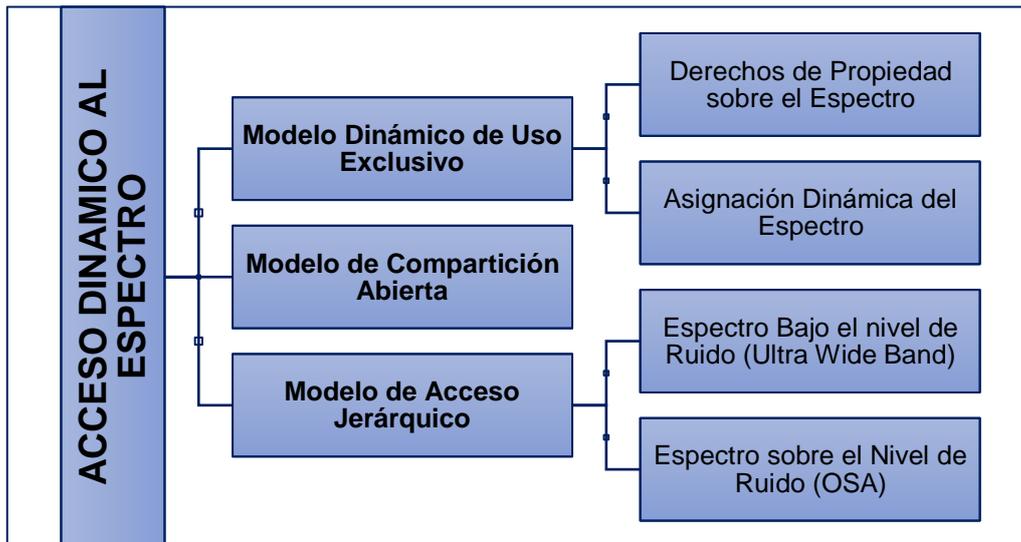


Figura. 2.2 Diagrama del Acceso Dinámico al Espectro.

2.4.1 Modelo Dinámico de Uso Exclusivo

Este modelo [20] sostiene los mecanismos de asignación fija realizado por los organismos reguladores del espectro, pero introduce criterios de flexibilidad con el propósito de optimizar el uso del espectro, esto se logra a partir de:

- Subcontratar o alquilar porciones de aquellas bandas de frecuencias que fueron concesionadas a otros sistemas, el arrendatario tiene derecho de elegir la tecnología a implementarse. Sin embargo, este enfoque no está permitido por los organismos reguladores.
- Asignación dinámica basada en estadística de tráfico de señales, la cual permite compartir el espectro en intervalos de tiempo y espacio entre varios sistemas.

2.4.2 Modelo de compartición abierta

Conocido como modelo de espectro común [21], permite a los sistemas coordinar el uso de la banda, gestionar la congestión e interactuar con señales de interferencia mientras coexisten sin un organismo que los regule. Un ejemplo de esto es la banda ISM donde tecnologías tales como Wi-Fi, Bluetooth, entre otros, operan.

2.4.3 Modelo de acceso jerárquico

Basado en una estructura jerárquica [22] en este modelo se identifican dos tipos de usuarios, licenciados o primarios y no licenciados o secundarios, el objetivo del modelo es controlar los niveles de interferencia percibidos por los usuarios licenciados a través de subyugar o superponer el espectro. El criterio de subyugar el espectro propone restringir los niveles de potencia que emplean los usuarios secundarios por debajo del umbral percibido de los usuarios primarios a modo de ruido, la factibilidad de este criterio establece que no existe necesidad de detectar los niveles de señal de potencia proveniente de los usuarios primarios.

Por otra parte la superposición del espectro, no implica controles en los niveles de potencia de transmisión de los SU, aunque si obedece a parámetros de tiempo y frecuencia de transmisión determinados.

Estas técnicas implican a diversos sistemas de comunicación operando sobre una misma banda de frecuencias mediante la implementación de protocolos de compartición de recursos, en [20] se clasifican estas técnicas de la siguiente forma:

- Centralizados o Distribuidos de acuerdo a la estructura del sistema.

- Cooperativos o No cooperativos de acuerdo al comportamiento del sistema.

2.5 Sistema de Radio Cognitivos

En [21] se define como Sistemas Radio Cognitivo a aquellos sistemas inteligentes capaces de cambiar sus parámetros de operación a partir del monitoreo de su entorno, este proceso se denomina ciclo cognitivo, el cual consiste en censar el espectro, recopilar información, analizarla, procesarla y finalmente basados en un algoritmo tomar decisiones de acceso a determinada banda del espectro.

2.6 Acceso Oportunista del Espectro

Hoy en día, existen criterios como el Acceso Oportunista al espectro, orientados a reducir los problemas de disponibilidad del canal de radiocomunicación, estos criterios establecen un modelo jerárquico que realiza una discriminación de tipos de usuarios:

- Usuarios primarios (PU) o usuarios cuya banda de banda de frecuencias ha sido concedida mediante licencia por un ente regulatorio.
- Usuarios secundarios (SU) o usuarios que no se encuentran licenciados.

De acuerdo a este modelo los SU pueden acceder y hacer uso de las bandas de frecuencia que se encuentran asignadas a los PU en algún intervalo de tiempo o en una determinada zona espacial si estas bandas no se encuentran utilizadas, o si los niveles de interferencia recibidos por los PU por parte de los SU estén dentro del rango preestablecido para dichas bandas licenciadas, para garantizar este ambiente los SU deberán cumplir con el ciclo cognitivo mencionado anteriormente, monitoreando la banda de los PU para recopilar las características del espectro en relación

a niveles de interferencia e intervalos de disponibilidad, de este modo se provee de información a un mecanismo que decidirá cuándo acceder al espectro, coordinará el acceso a la banda licenciada con otros SU y desocupará las bandas licenciadas en caso de que los PU requieran operar.

2.7 Mecanismos de monitoreo del medio inalámbrico

La oportunidad de acceder a una banda licenciada puede obtenerse a partir de la información preestablecida que podría estar disponible en una base de datos de los PU o a través de mecanismos de monitoreo empleados por los SU para identificar aquellas porciones espectrales libres, los cuales se describen a continuación:

- **Monitoreo Pasivo:** Las frecuencias son negociadas entre los SU y PU en relación a la información previamente distribuida por los PU, aquella negociación puede incluir parámetros de potencia de transmisión, umbrales de interferencia y calidad de servicio, así mismo los entes regulatorios pueden liberar la banda estableciendo políticas y restricciones en el caso que las frecuencias asignada para los PU sea usada de manera ineficiente, de tal modo que los SU deberán adaptar sus parámetros de operación para utilizar dichas bandas.
- **Monitoreo local:** Este mecanismo se relaciona con la probabilidad de la disponibilidad u ocupación de una banda a partir de los niveles de potencia recibido, esquema de modulación, tiempo y ángulo de arriba de la señal, entre otras características. La interfaz de detección de las características de los PU pueden ser llevadas a cabo a partir de interfaces de Hardware, mientras los algoritmos de detección deben equilibrar la oportunidad de acceso al espectro en relación a la detección eficaz de las características de los PU. Las transmisiones de los PU pueden ser identificadas a través de, la detección de

energía, el cual compara el nivel de energía percibido con umbral, la detección de la periodicidad de la señal recibida o la detección de filtro adaptado en base a la información parcial de los PU y monitoreo de corta duración.

- **Monitoreo cooperativo:** Cuando el monitoreo local no funciona debido a la interferencia o problemas de ruido en la señal recibida, se opta por la colaboración de varios SU el dominio espacial, lo cual eleva la probabilidad de detección de transmisiones PU. El monitoreo cooperativo puede realizarse de manera centralizada cuando un administrador central identifica todas las frecuencias disponibles a partir de toda la información que recibe por parte de los nodos auxiliares, de otro modo para un monitoreo cooperativo y distribuido se comparte la información individual de detección pero la estimación de la banda disponible se realiza de manera independiente.

2.8 TV White Space

En relación a lo antes mencionado, se deriva la definición de White Space para aquellas bandas de frecuencias que por razones técnicas se asignan como bandas de protección entre canales adyacentes o que han sido concedidas a un determinado sistema de telecomunicación mediante licencias pero se encuentran ociosas, como lo denota [24], en el Ecuador la digitalización de la televisión terrestre ha generado 'TV White Space', convirtiéndose en uno de los principales temas de interés para [25] buscando aprovechar de manera eficiente dichas bandas de TV en desuso.

2.9 Sistema de Televisión en el Ecuador

Desde hace varios años el medio de comunicación más común que existe en nuestro país es la televisión, de acuerdo con [26], el estándar NTSC nos ha permitido estar informados y entretenidos, por medio de señales

analógicas que viajan transportando audio y video dentro un ancho de banda de 6 MHz.

Nuevas tecnologías desarrolladas para sistemas de televisión adoptan estándares digitales, en el Ecuador el ISDB-T permite transmitir varios canales digitales optimizando el ancho de banda típico para canal analógico, mejora la calidad de imagen y audio al disminuir interferencias y ruidos, servicios e interacción remota como guía de programación o compras online, disminución en el consumo de potencia y menor coste de transmisión.

Hoy en día en nuestro país se encuentra en una etapa de transición donde se transmite señales analógicas y digitales de televisión de manera simultánea [14] y para el año 2018 se tiene planificada una completa migración a la tecnología digital.

2.10 Bandas de frecuencias VHF y UHF para televisión

Las bandas VHF y UHF son porciones del espectro radioeléctrico utilizadas para transportar señales de televisión debido a sus características de propagación, las cuales permiten disponer de cobertura en zonas lejanas y penetrar lugares con alta densidad de obstáculos a bajo costo.

En el Ecuador, el Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión en su norma técnica para servicios de televisión analógica y plan de distribución de canales, establecen las bandas de frecuencias con su respectiva canalización, como se muestra a continuación en la Tabla 2.4 [25 - 26].:

Banda de Televisión	No. Banda	Rangos de Frecuencias MHz	Grupo de canales
VHF	I	54 – 72	2 – 4
VHF	I	76 – 88	5 – 6
VHF	III	174 – 216	7- 12
UHF	IV	500 – 608	13 – 36
UHF	IV	614 – 644	38 – 42
UHF	V	644 – 686	43 – 49

Tabla 2.4 Bandas de Frecuencia y su Respectiva Canalización.

CAPÍTULO 3

3. MODELADO DEL ESCENARIO.

En este capítulo se explica el proceso de medición de niveles de señal de potencia en la banda UHF, su procesamiento permite proveer de métricas a un mecanismo de decisión que determina la disponibilidad de un canal del espectro dentro de un escenario urbano con alta densidad de usuarios.

3.1 Definición del Escenario

Para el presente estudio se ha considerado un edificio dentro de un ambiente urbano con alta concentración de usuarios, donde se presentaría una gran demanda de uso del espectro, tal como se muestra en la Figura 3.1:



Figura. 3.1 Escenario de Estudio Edificio en Ambiente urbano

Por otro lado, los niveles de señal de potencia de sistemas de telecomunicaciones de amplia cobertura que son percibidos en el interior

de dicho edificio podrían verse afectados por pérdidas de señal debido a penetración de paredes, pisos y/o ventanas, de tal modo que un canal ch_j se podría considerar como desocupado por el bajo nivel de señal que este presenta.

El análisis se realizará dentro de una porción del espectro asignado a los sistemas licenciados UHF-TV con ancho de banda B_w , de tal manera que N_{TV} canales operan en esta banda, donde cada canal ch_j opera en una frecuencia f_j , dentro del espectro y los N_{TV} canales del sistema licenciado se encuentran separados por $\Delta_{BW_{f_i}}$.

Como se mencionó anteriormente, cada canal ch_j puede presentar pérdidas debido al tipo de arquitectura de la edificación y a la zona donde se encuentra ubicado el edificio de altura h , ancho w y n_p pisos, pues para que los niveles de señal de potencia puedan ser recibidos por un determinado usuario PU_{ch_j} la señal acorde a su trayectoria deberá atravesar N_{floor} pisos, N_{wall} paredes y N_{window} , cada oficina en el interior del edificio tiene dimensiones tales como, h_{office} de alto, ancho w_{office} y longitud l_{office} .

Para obtener la información acerca del desempeño y comportamiento dentro de la banda que se analizará, en el presente trabajo y proveer de ciertas métricas a un mecanismo de decisión que permita determinar la disponibilidad de algún canal ch_j , se ha considerado medir por un intervalo de tiempo t_j los niveles de señal de potencia recibidos en el interior del edificio en la banda licenciada, variando la posición del objeto detector para $i(p) = \{p \mid p = 1, 5, 8\}$ pisos en el interior de la edificación y dividiendo cada $\Delta_{BW_{f_i}}$ en $m(i, t)$ muestras.

A continuación, se presenta el escenario antes mencionado a través de la Figura 3.2:

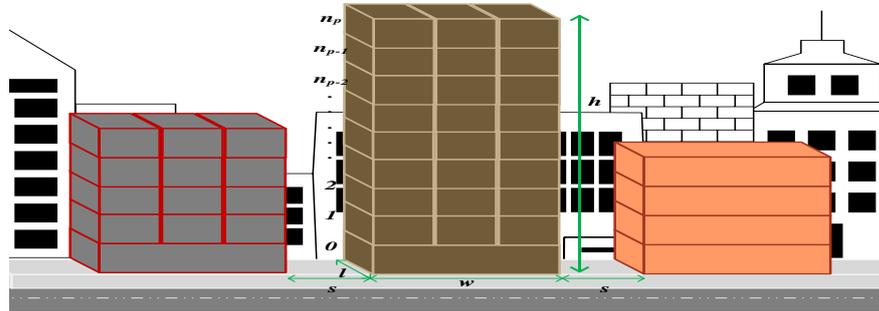


Figura 3.2 Vista en 3D del Escenario

3.2 Criterio de reúso de canal

Para el análisis de este trabajo se empleará el criterio de modelo de acceso jerárquico descrito en el Capítulo 2, el cual establece que un SU puede reusar un canal ch_j si el nivel de potencia recibido por los usuarios del sistema primario $P_{PU_{ch_j}}$ en dicho canal, se encuentra por debajo del umbral $P_{Throughput_k}$ en el que operan los usuarios de PU, como si se tratase de ruido, tal como lo indica la siguiente expresión:

$$P_{PU_{ch_j}} < P_{Throughput_k} \quad (3.1)$$

Donde k corresponde al tipo de tecnología de televisión digital o analógica del canal ch_j . En ese orden de ideas, para considerar un canal ch_j como disponible, el nivel de señal de potencia recibido dentro de la banda licenciada debe ser menor al umbral que se ha establecido.

Para representar este modelo de niveles de señal de potencias recibidas en el interior del edificio desde las estaciones base correspondiente a cada canal, se dispone de la siguiente figura 3.3:

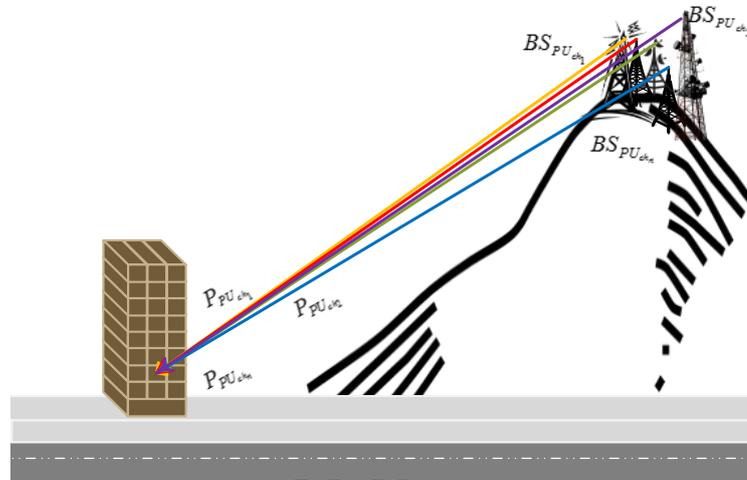


Figura 3.3 Modelo de Nivel de Potencia Recibida.

3.3 Modelo matemático

Para explicar de manera más sencilla el proceso de medición dentro de este escenario se representa cada muestra de señal de potencia captada en el interior del edificio, como la superposición de la señal transmitida desde la estación base del sistema licenciado BS_{PU} , la señal de ruido y la señal de interferencia propia de un ambiente donde coexisten diversos sistemas de telecomunicaciones, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$P_{PU_{ch_j}} = P_{BS_{PU_j} \rightarrow PU_j} + N + I \quad (3.2)$$

Estas señales se caracterizan por ser independientes, distribuidas idénticamente y ergódicas.

Por otro lado se ha considerado que la señal de ruido N cumpla una distribución gaussiana con media cero y varianza σ^2 , además la señal I se asume igual a cero debido a que el estudio se realiza en una banda licenciada donde se restringe cualquier interferencia. En base a lo anterior la señal de potencia recibida en el interior del edificio puede ser representada de la siguiente manera:

$$P_{PU_{ch_j}} \sim (\mu_{BS_{PU_j \rightarrow PU_i}}, \sigma_N^2) \quad (3.3)$$

Donde $\mu_{P_{BS_{PU \rightarrow PU}}}$ representa el nivel de señal de potencia promedio recibido desde BS_{PU} en el interior del edificio y σ_N^2 la varianza en los niveles de señal recibido debido a la presencia del ruido.

Para representar la disponibilidad de un canal ch_j , a partir de $P_{PU_{ch_j}}$, se determina una matriz de transformación lineal que cumple con la condición dada por (3.4), de la siguiente manera:

$$M_{Channel_disponible}(ch_j, m(i, t)) = \begin{cases} 1 & Si \quad P_{PU_{ch_j}} < P_{Throughput_k} \\ 0 & Si \quad P_{PU_{ch_j}} \geq P_{Throughput_k} \end{cases} \quad (3.4)$$

Cuando el nivel de potencia $P_{PU_{ch_j}}$ en un determinado canal se encuentre por debajo del umbral $P_{Throughput_k}$, este se considerará como desocupado, siendo $M_{Channel_disponible}(ch_j, m(i, t)) = 1$, caso contrario se descartará la disponibilidad de dicho canal, de modo que $M_{Channel_disponible}(ch_j, m(i, t)) = 0$, por lo cual

$M_{Channel_disponible}(ch_j, m(i, t))$ posee un comportamiento que puede expresarse mediante una distribución Bernoulli, la misma que permite modelar a partir de una variable Gaussiana, una función probabilística para disponibilidad de canal, de la siguiente manera:

$$F(P_{PU_{ch_j}} < P_{Throughput_k}) = 1 - Q\left(\frac{P_{Throughput_k} - \mu_{P_{BS_{PU_j} \rightarrow PU_j}}}{\sigma_N}\right) \quad (3.5)$$

3.4 Mecanismo de medición, procesamiento y decisión

Con la finalidad de realizar las mediciones en los diferentes canales de la banda licenciada dentro del edificio para cierto número de pisos, se empleará un dispositivo que permite ajustar de manera automática a través de programación mediante software, los parámetros de adquisición de datos en términos de radiofrecuencia, para luego con la asistencia de una computadora guardar, procesar y administrar la información recolectada para dicha banda licenciada, a continuación se muestra el diagrama que describe este proceso Figura 3.4 :

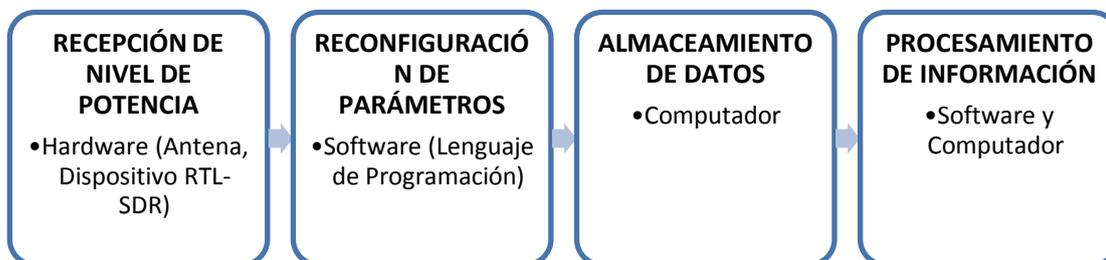


Figura 3.4 Diagrama de Bloques del Proceso

En la primera parte del diagrama, una antena omnidireccional tipo barra compuesta de aleación de aluminio y acero, cuyo rango de operación está

orientado a sintonizar de manera precisa la banda UHF, permite al RTL-SDR que es un dispositivo de medición de bajo costo en la segunda etapa del proceso, percibir los niveles de señal de potencia $P_{PU_{ch_j}}$ para cada canal ch_j dentro de su correspondiente ancho de banda $\Delta_{BW_{f_i}}$ segmentado en $m(i, t)$ muestras, las cuales relacionan el piso donde es colocado el dispositivo RTL-SDR con el tiempo de adquisición t_j en ese piso determinado, este nivel de señal que es captado en el interior del edificio luego de atravesar obstáculos y perder potencia por la geometría de la trayectoria entre la estación base BS_{PU} y el edificio, es compensado mediante la parametrización del dispositivo RTL.

A través de la herramienta MATLAB se desarrolla un algoritmo de medición que establece los parámetros de configuración y programan al dispositivo RTL-SDR para sintonizar cada frecuencia f_j respecto al canal ch_j , realizando un barrido en frecuencia de toda la banda UHF, generando $m(i, t)$ muestras predefinidos a través de $N_{muestras}$ dentro del rango que se establece a través de las frecuencias de inicio f_{inicio} y final f_{final} correspondientes a este análisis.

El parámetro T_s se ajusta para que luego de cierto intervalo de tiempo el algoritmo guarde los datos de los niveles de señal de potencia $P_{PU_{ch_j}}$ que han sido recibidos de cada canal en archivos de Excel.

Este proceso de adquisición se muestra mediante la siguiente Figura 3.5 y se repite en el interior de cada piso donde es colocado el RTL-SDR hasta que se detenga la ejecución del programa de manera manual, de tal

manera que se obtendrá una matriz $M_{Channel_disponible}(ch_j, m(i, t))$ de niveles de señal de potencia por cada piso:

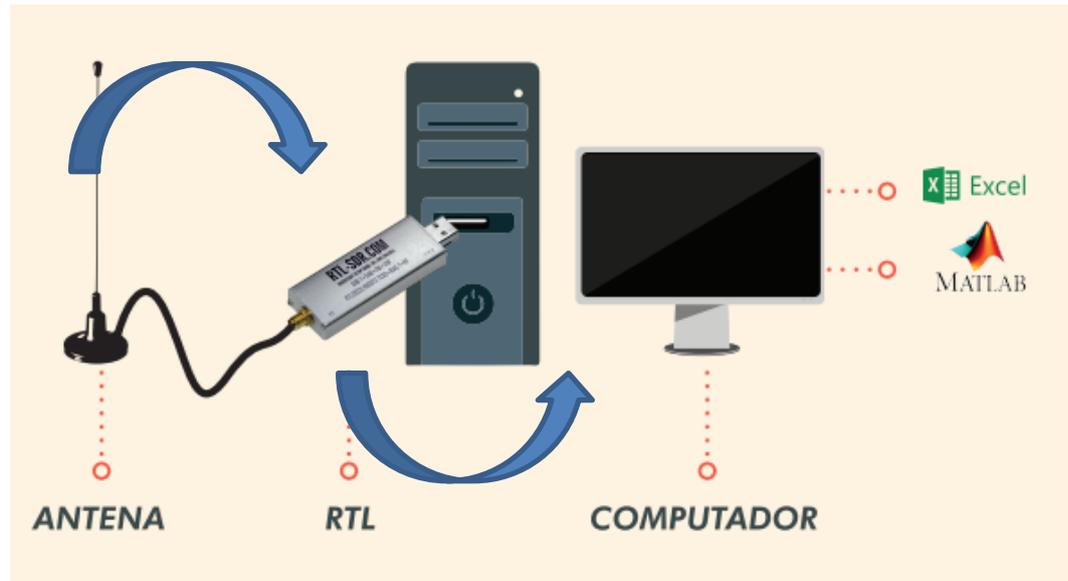


Figura 3.5 Diagrama Esquemático del Proceso

A partir de $M_{Channel_disponible}(ch_j, m(i, t))$ se determina la disponibilidad de canal y canales adyacentes de acuerdo a la expresión en (3.2), con lo cual se establecen los valores de probabilidad de disponibilidad de canal en base a la expresión (3.3), además se calcula la probabilidad de disponibilidad de canales contiguos tal como se muestra a continuación:

$$p_x = \frac{\sum_{i=1}^{\max(i) N_{TV}} \sum_{n=1}^{N_{TV}} (M_{Channel_disponible}(ch_n, m(i, t)) \wedge M_{Channel_disponible}(ch_{n+1}, m(i, t)))}{dim(M_{Channel_disponible}(ch_j, m(i, t)))} = 1 \quad (3.6)$$

De tal manera que $x \in \{1, 2, 3, \dots, N_{TV}\}$ donde x puede tomar valores que representan el número de canales contiguos disponibles en determinada posición y en cierto intervalo de tiempo.

3.5 Pseudocódigo

En la Figura 3.6 se presenta el algoritmo que se ejecuta de manera iterativa empleando el dispositivo RTL-SDR, permitiendo obtener los niveles de señal de potencia de los diferentes canales que se despliegan para el sistema de televisión en la banda UHF.

El objetivo es determinar la disponibilidad de un canal o de canales conjuntos para ser reutilizados por otros sistemas debido a la congestión de sus propias bandas, al agotamiento de recursos radioeléctricos o al método de asignación que ha sido establecido en nuestro país.

El algoritmo se comporta del siguiente modo: Inicia asignando los parámetros de configuración que permitirá sintonizar el dispositivo RTL-SDR los canales de la banda UHF (línea: 1-4), donde se establece la frecuencia de inicio f_{inicio} , la frecuencia final para la banda licenciada f_{final} , el tamaño de la muestra por canal $N_{muestras}$ y el intervalo de tiempo T_s que el algoritmo deberá esperar para almacenar los datos en archivos de Excel sin afectar los recursos de memoria ni disminuir el procesamiento del algoritmo de medición.

```

1. Set  $f \leftarrow f_{inicio}$  ; frecuencia inicial
2. Set  $f_s \leftarrow f_{final}$  ; frecuencia final
3. Set  $T \leftarrow T_s$  ; intervalo de almacenamiento
4. Set  $m \leftarrow N_{muestras}$  ; número de muestras por canal
5. while no se detenga ejecución
6.     while  $f \leq f_s$ 
7.         Obtiene  $P_{PU_{ch_j}}$ , sintonizando  $f_j$ ;

```

```

8.         next  $f$ 
9.
10.        end while
11.
12.        if  $execution\ time = T$  then
13.            Guardar datos en EXCEL
14.        end if
15.
16.         $f \leftarrow f_{inicio}$  ; reinicializar sintonía de frecuencia
17.
18.        if  $P_{PU_{ch_j}} < P_{Throughput_k}$  then
19.
20.             $M_{Channel\_disponible}(ch_j, m(i, t)) = 1$ 
21.
22.        Else
23.
24.             $M_{Channel\_disponible}(ch_j, m(i, t)) = 0$ 
25.
26.        end if
27.
28.        Compute  $\mu_P_{BS_{PU_j} \rightarrow PU_j}$  ,  $\sigma_N^2$ 
29.
30.        Compute  $F(P_{PU_{ch_j}} < P_{Throughput_k})$ 
31.
32.        Obtiene Disponibilidad de  $ch_{j, j+1, \dots, j+n}$ 
33.
34.        Compute  $P_x$ 
35.
36.    end while

```

Figura. 3.6 Algoritmo Interactivo Empleando el Dispositivo RTL

Mientras f no alcance el valor máximo f_s , para las frecuencias de interés de la banda UHF (línea: 6), el dispositivo RTL-SDR sintoniza el canal ch_j correspondiente a la transmisión en la frecuencia f_j de la estación base $BS_{PU_{ch_j}}$ y captura el nivel de señal de potencia $P_{PU_{ch_j}}$ obteniendo m muestras por canal.

Una vez sintonizada todas las muestras para todos los canales, si el tiempo de ejecución del programa iguala a T (línea: 10-11), el algoritmo guardará los datos en archivos utilizando la aplicación Excel, para luego reinicializar la variable de sintonía de frecuencia f (línea: 13), de tal manera que el proceso de medición solo se detendrá hasta que se requiera por usuario y se efectúe de modo manual.

El nivel de señal de potencia $P_{PU_{ch_j}}$ medido en el canal es comparado con el nivel de señal umbral $P_{Throughput_k}$ (línea: 14) de acuerdo a la expresión (3.1), determinando la disponibilidad de dicho canal si el nivel de potencia medido en el canal se encuentra por debajo del umbral de potencia para dicha banda (línea: 15), caso contrario se considera el canal como ocupado (línea: 16).

A partir de los datos recolectados el algoritmo calcula los valores de $\mu_{P_{BS_{PU_j} \rightarrow PU_j}}$ y σ_N^2 (línea: 19) mediante los cuales se obtiene la probabilidad de disponibilidad para que un canal de la banda licenciada de TV-UHF pueda ser reutilizado por otro sistema, siempre que dicho sistema no licenciado opere con niveles de potencia por debajo del umbral establecido para la banda TV-UHF (línea: 20).

Finalmente el algoritmo procesa la matriz de transformación lineal $M_{Channel_disponible}(ch_j, m(i, t))$ (línea: 21) obteniendo la probabilidad de disponibilidad de canales adyacentes o conjuntos dentro de la banda TV-UHF (línea: 22), los cuales pueden ser aprovechados por otros sistemas cuya banda presente problemas de saturación y necesiten mayor cantidad de recursos radioeléctricos y requieran un determinado ancho de banda de acuerdo a su tipo de canalización para transferencia de datos y mecanismos de control de operación.

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Localización geográfica del edificio

El edificio se encuentra ubicado en una zona urbana densa, en el centro de la ciudad de Guayaquil, con una latitud de $2^{\circ}11'33.25''\text{S}$ y Longitud de $79^{\circ}53'8.47''\text{O}$. La edificación consta de 8 pisos de los cuales se realizaron las medidas en el primero, quinto y octavo piso.

La mayoría de antenas transmisoras de televisión UHF se encuentran ubicadas en el Cerro del Carmen a una latitud de $2^{\circ}10'50.10''\text{S}$ y Longitud de $79^{\circ}52'57.98''\text{O}$

La figura 4.1 muestra la distancia entre el edificio escogido donde se colocó el equipo receptor y las antenas transmisoras que es aproximadamente 1.4 Km.

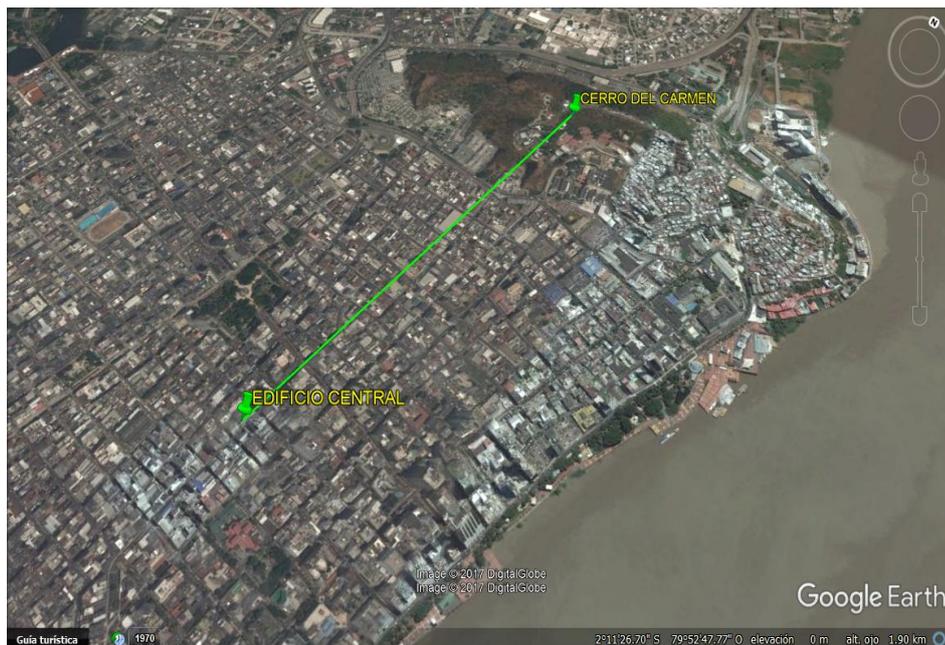


Figura 4.1 Ubicación Geográfica del edificio.

4.2 Parámetros de Configuración

Las mediciones fueron tomadas en 3 pisos específicos del condominio "EDIFICIO CENTRAL". En la banda UHF-TV, los canales tienen un ancho de banda de 6 MHz, a continuación, se muestran los parámetros que se consideró al momento de tomar las mediciones.

Parámetros	
Ancho de banda (BW)	(512-698) MHz
Ancho de banda del canal (Δf)	6 MHz
Frecuencia Inicial (f_1)	512 MHz
Frecuencia Final (f_n)	698MHz
Canal inicial (Ch_1)	21
Canal final (Ch_N)	51
Numero de canal, N	30
Tiempo de muestro por canal (T_s)	1.84s

Tabla 4.1: Parámetros de configuración.

La tabla 4.1 muestra que el ancho de banda a analizar contiene 30 canales, donde cada canal tiene un ancho de banda de 6 MHz, el canal inicial es el 21 y el final 51, en el código de Matlab la ganancia utilizada fue de 40dB.

4.3 Análisis de los resultados

4.3.1 Análisis temporal de los datos

Las figuras 4.2, 4.3 y 4.4 muestran los niveles de potencia del primer, quinto y octavo piso respectivamente. Las variaciones de niveles de potencia recibidas se muestran en una gráfica representada por una gama de colores, donde el color azul representa los niveles más bajos de potencia y el color rojo las potencias más elevadas.

En el primer piso se observa que varios de los canales se encuentran de tonos en color azul, lo que indica que existe una gran disponibilidad de canales en este piso.

La figura 4.2 muestra que los canales 36, 39, 42, 44, 47, 49, 50, 51 tienen niveles de potencias muy bajos, debido a que están representados de color azul sin casi tener variaciones del color, lo cual indica que están disponibles para el uso de sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA). Por otro lado, los canales 25, 27, 31 y 41 tienen niveles de potencia más altos que al compararlos con el piso de ruido más 4 dB se determina que por lo general estos canales no están disponibles.

Además, algunos canales se encuentran siempre variando los niveles de potencia, los canales 21, 22, 24, 33, 35 y 37 tienen esta cualidad, es decir tiene intermitencia, por momentos se encuentran disponibles y a veces no.

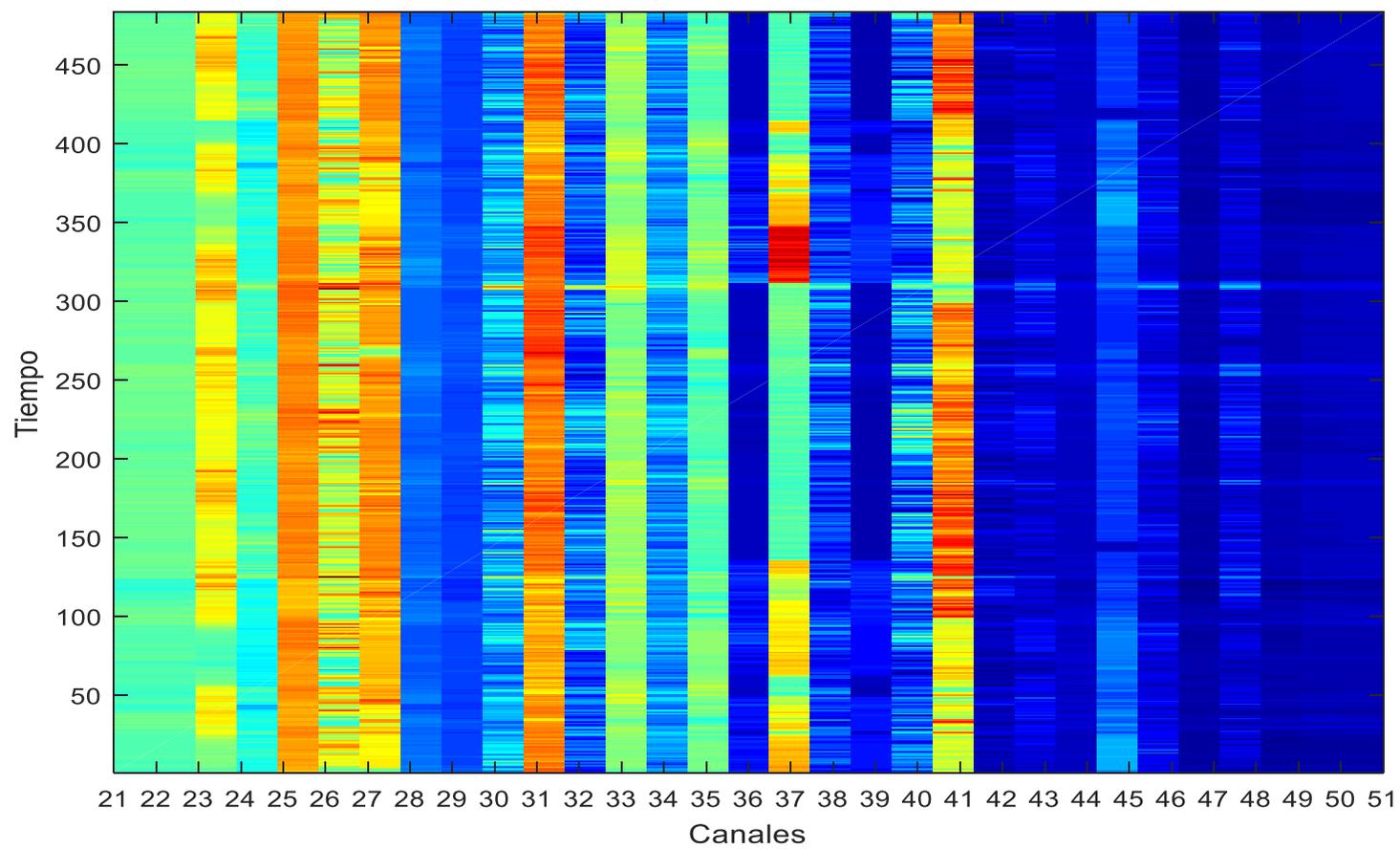


Figura 4.2 Niveles de potencia de primer piso

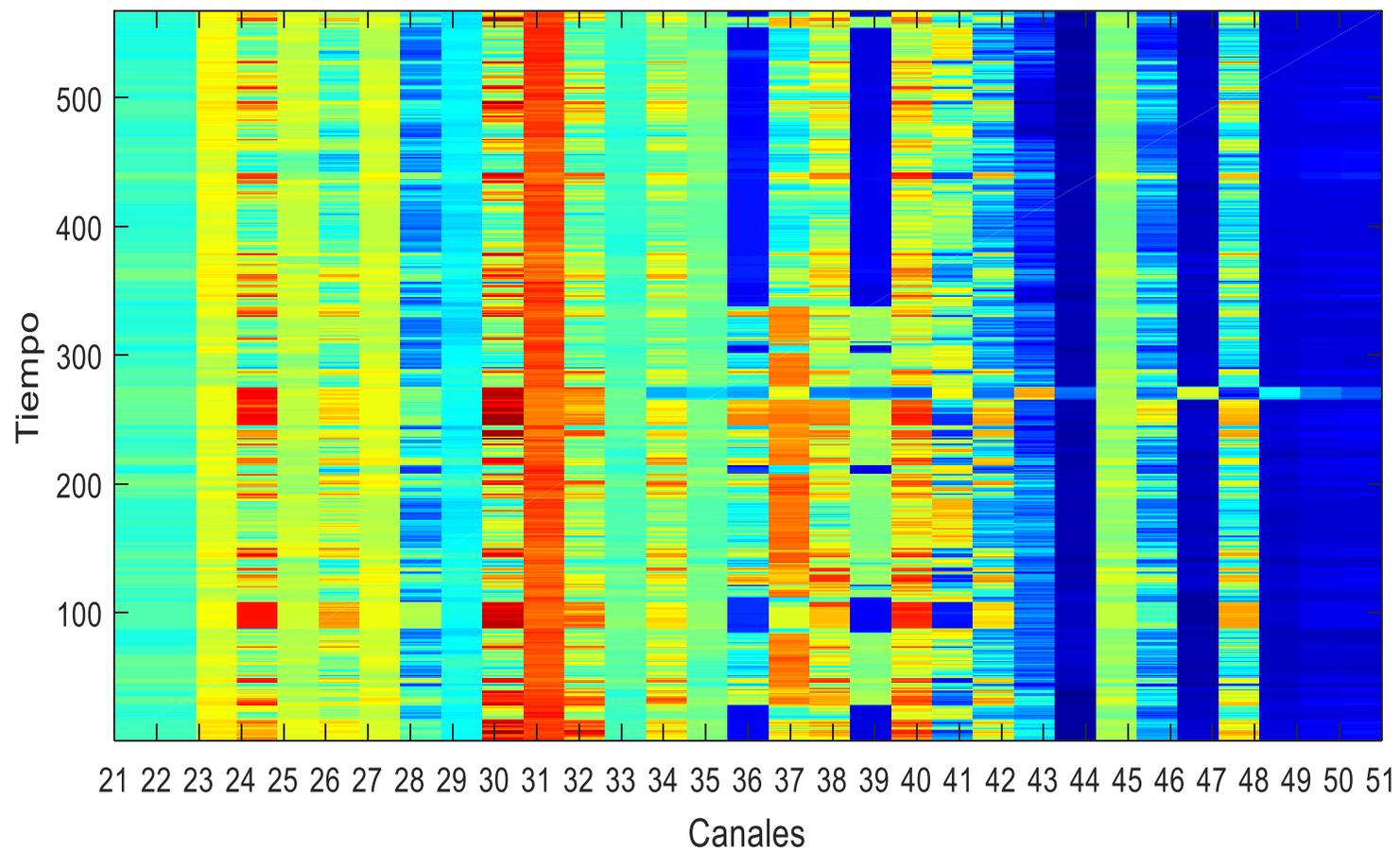


Figura 4.3 Niveles de potencia de quinto piso

La figura 4.3 muestra los niveles de potencia del quinto piso basados en el mismo análisis para el primer piso se obtuvo que los niveles de potencia son más altos esto debido a que el lugar de medición es diferente.

En este piso los canales muestran bastante intermitencia pues los canales 24, 30, 32, 37 y 40 se encuentran representados por tonos verde rojo y azul es decir que solo por momentos están disponibles, por otro lado, el canal 31 está representado por tonos rojos por lo que se puede concluir que siempre se encuentra transmitiendo es decir no está disponible.

Los canales 28, 43, 44, 46, 47, 49, 50 y 51 casi siempre están disponibles por eso se encuentran representado por tonos de color azul.

La figura 4.4 muestra los niveles de potencia del octavo piso basados en el mismo análisis para el primer y quinto piso se obtuvo que los niveles de potencia son más altos que en los pisos anteriores.

Aproximadamente 15 canales tienen potencias elevadas es decir que estos canales estarán disponibles menos tiempo en comparación a los canales del primer y quinto piso, Los canales 24, 26, 30, 32, 37 y 40 tienen niveles de potencias elevados es decir están representados por los colores rojo naranja y amarillo teniendo poca disponibilidad por otro lado los canales 44, 47, 49, 50 y 51 están representados por tonos azul, por lo tanto, tienen una mayor disponibilidad. Observando que en el primer piso se obtienen mayor disponibilidad de canales comparado con el quinto y octavo piso.

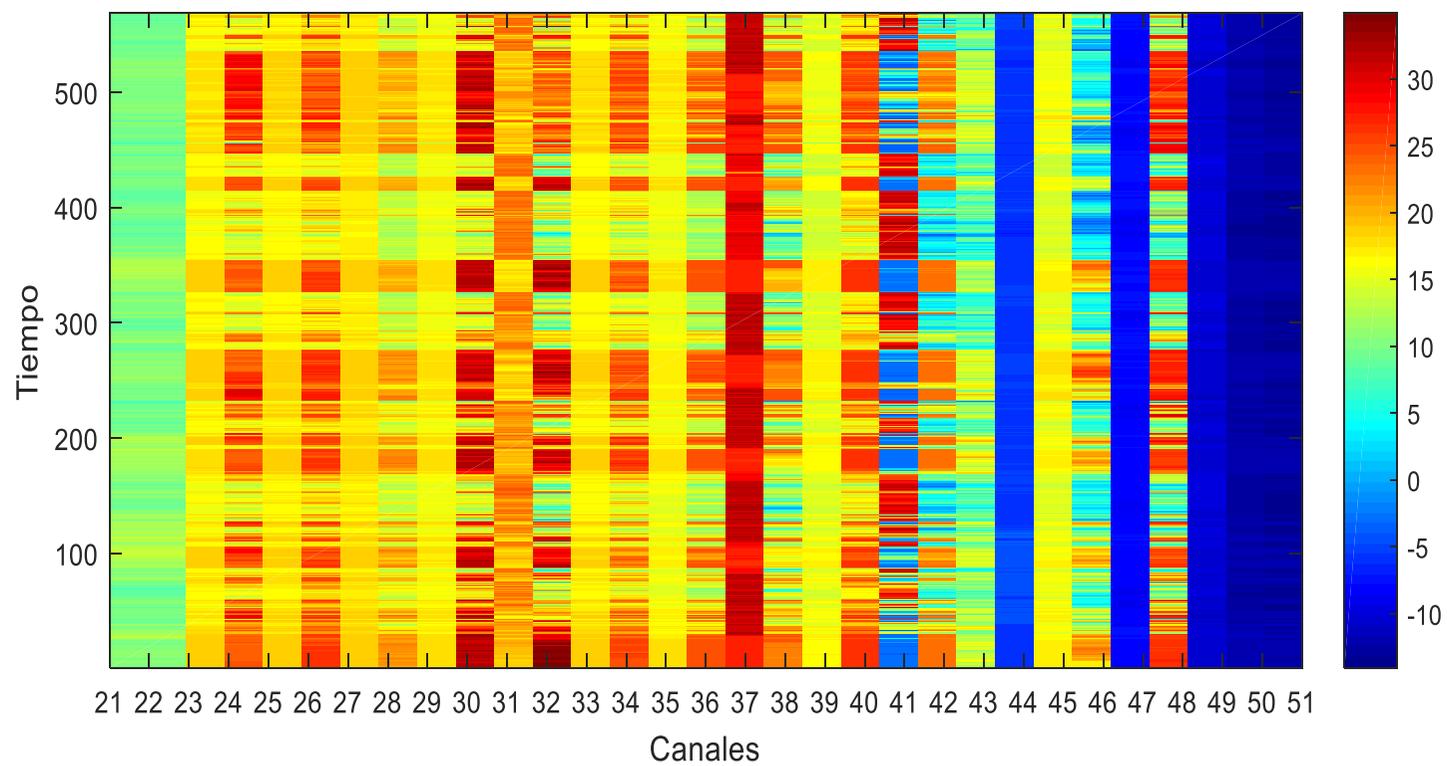


Figura 4.4 Niveles de potencia de octavo piso.

4.3.2 Primer Análisis

Luego de realizar el análisis para los niveles de potencia se pueden determinar la disponibilidad de canales en los diferentes pisos comparando a la densidad de potencia con el piso de ruido más 4db.

Las figuras 4.5, 4.6 y 4.7 muestran la disponibilidad de canales al comparar los niveles de potencia con respecto al piso de ruido más 4 dB del primer, quinto y octavo piso respectivamente. La disponibilidad de canales es representada a través de una gama de colores, donde el color azul representa los canales ocupados y el color rojo los canales disponibles.

La figura 4.5, muestra la disponibilidad de canales del primer piso cuando la densidad de potencia es menor que el piso de ruido más 4 dB. Los canales 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 31, 33, 35, 37 tienen niveles de potencias altos por esto los canales están representados por el color azul lo cual indica que se encuentran siempre ocupados.

Los canales 39, 44, 47, 49, 50 y 51 se encuentran representados por tonos de color rojo, por lo tanto, estos canales están disponibles. Pero para ciertos canales como el 28, 32, 38, 40 se observa que los niveles de disponibilidad son intermitentes, esto debido a que los niveles de potencia de estos canales se encuentran cerca del piso de ruido. Algunos canales como el 29, 36, 43 en la mayor parte del tiempo están disponibles porque aunque exista intermitencia estos canales se encuentran casi todo el tiempo representados por tonos de color rojo.

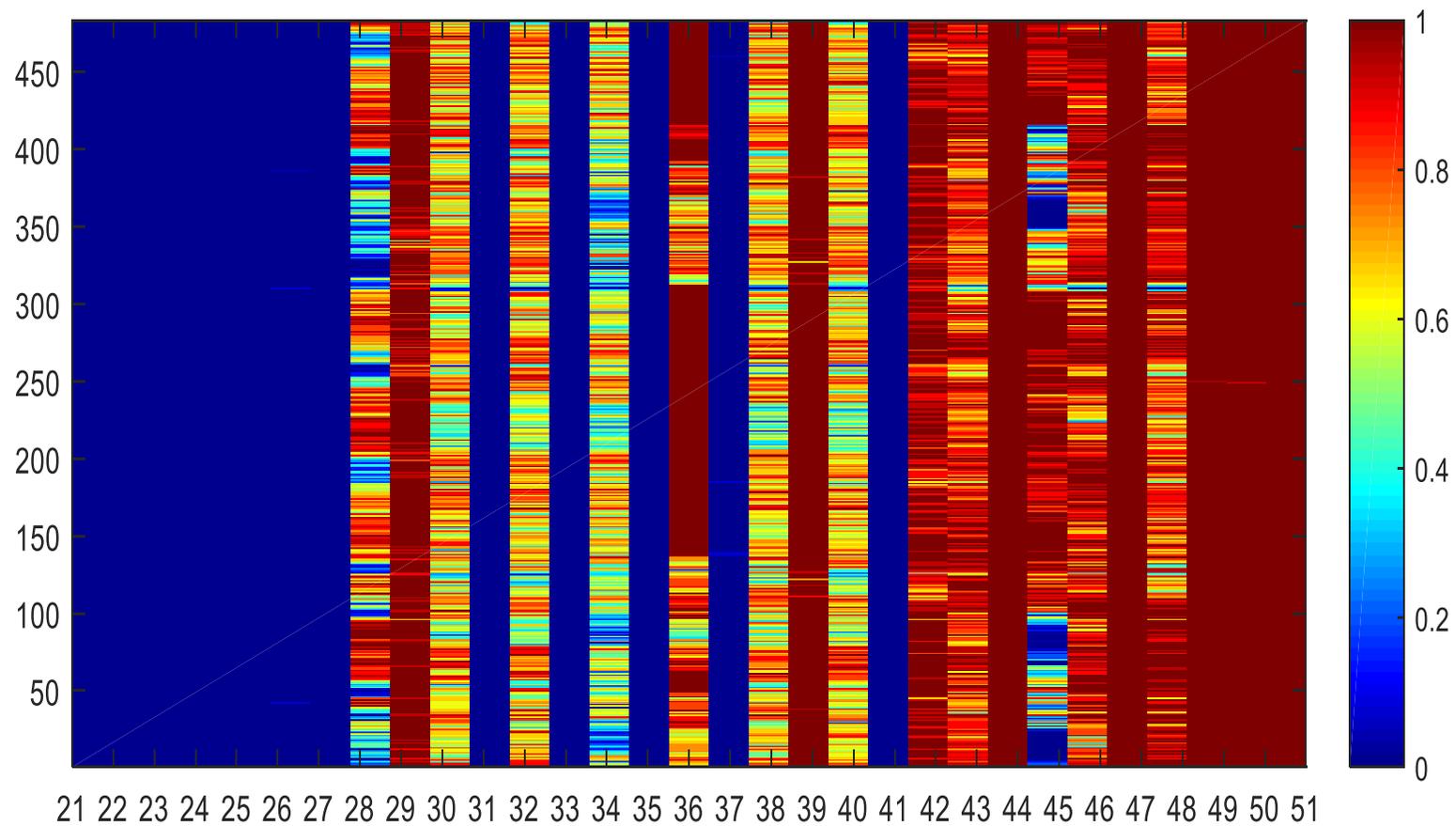


Figura 4.5: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del primer piso primer análisis.

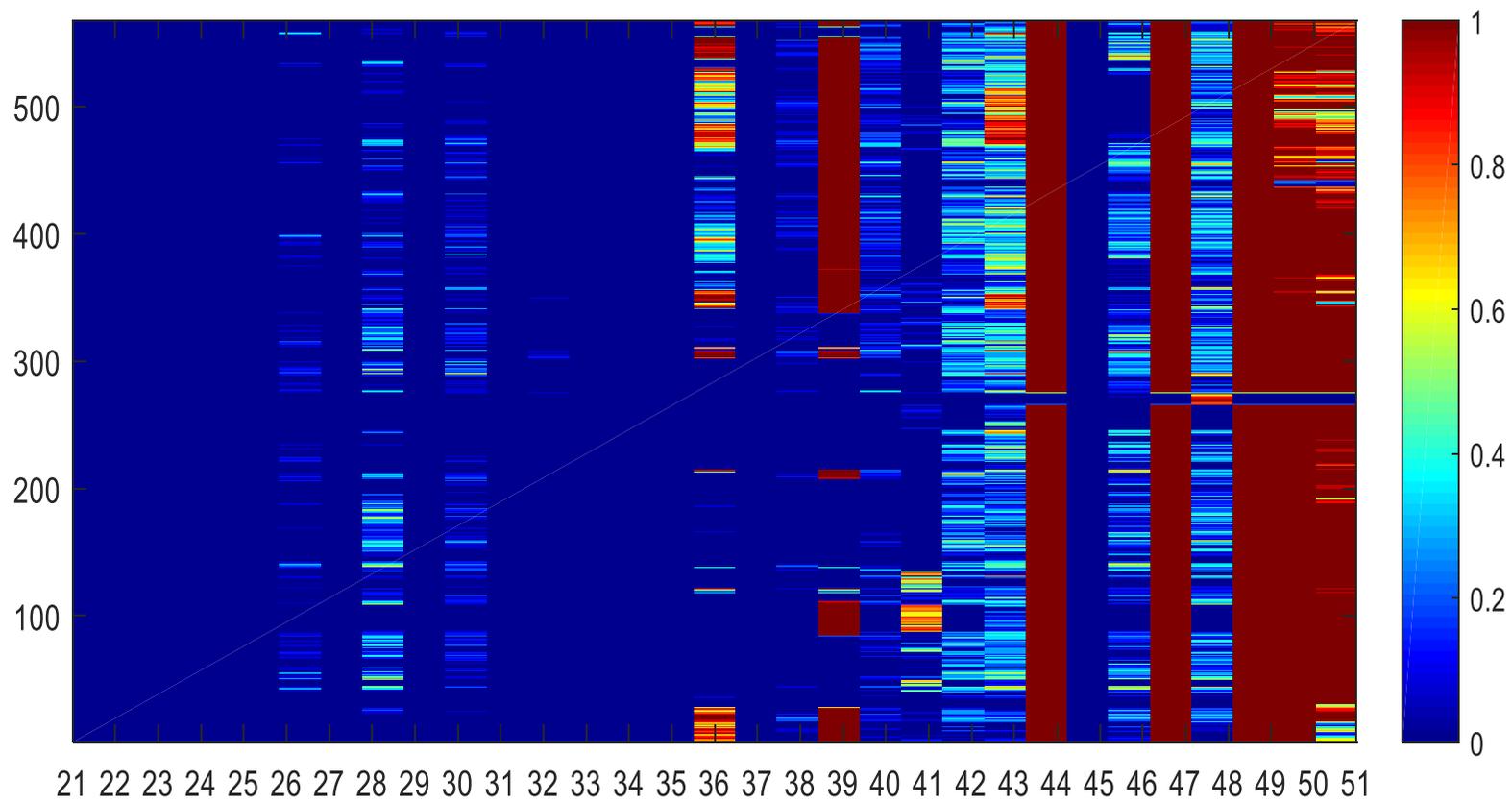


Figura 4.6: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del quinto piso primer análisis.

La figura 4.6 muestra la disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del quinto piso, Se observa que la disponibilidad de los canales bajó considerablemente, 12 canales se encuentran ocupados en todo el tiempo. Los canales 44, 47, 49, 50 y 51 casi siempre están disponibles.

Para los canales 26,28,30, 40, 46 y 47 están representados por colores de tonalidad azul, es decir que casi siempre se encuentran ocupados. Además, tenemos el canal 39 que se muestra por momentos totalmente disponible y en otros ocupado.

También se observa la disponibilidad temporal de octavo piso en la figura 4.7, la cual indica que existe muy pocos canales disponibles esto debido a que no existen muchos obstáculos entre la trayectoria del haz y la antena receptora ubicada en el octavo piso la cantidad de canales disponibles es mucho menor en comparación al primer y quinto piso.

La figura 4.7 muestra que solo los canales 49, 50 y 51 son los únicos que están disponibles en el octavo piso. El canal 47 solo en pequeños momentos está disponible. Los otros canales tienen intermitencia, pero por lo general están ocupados.

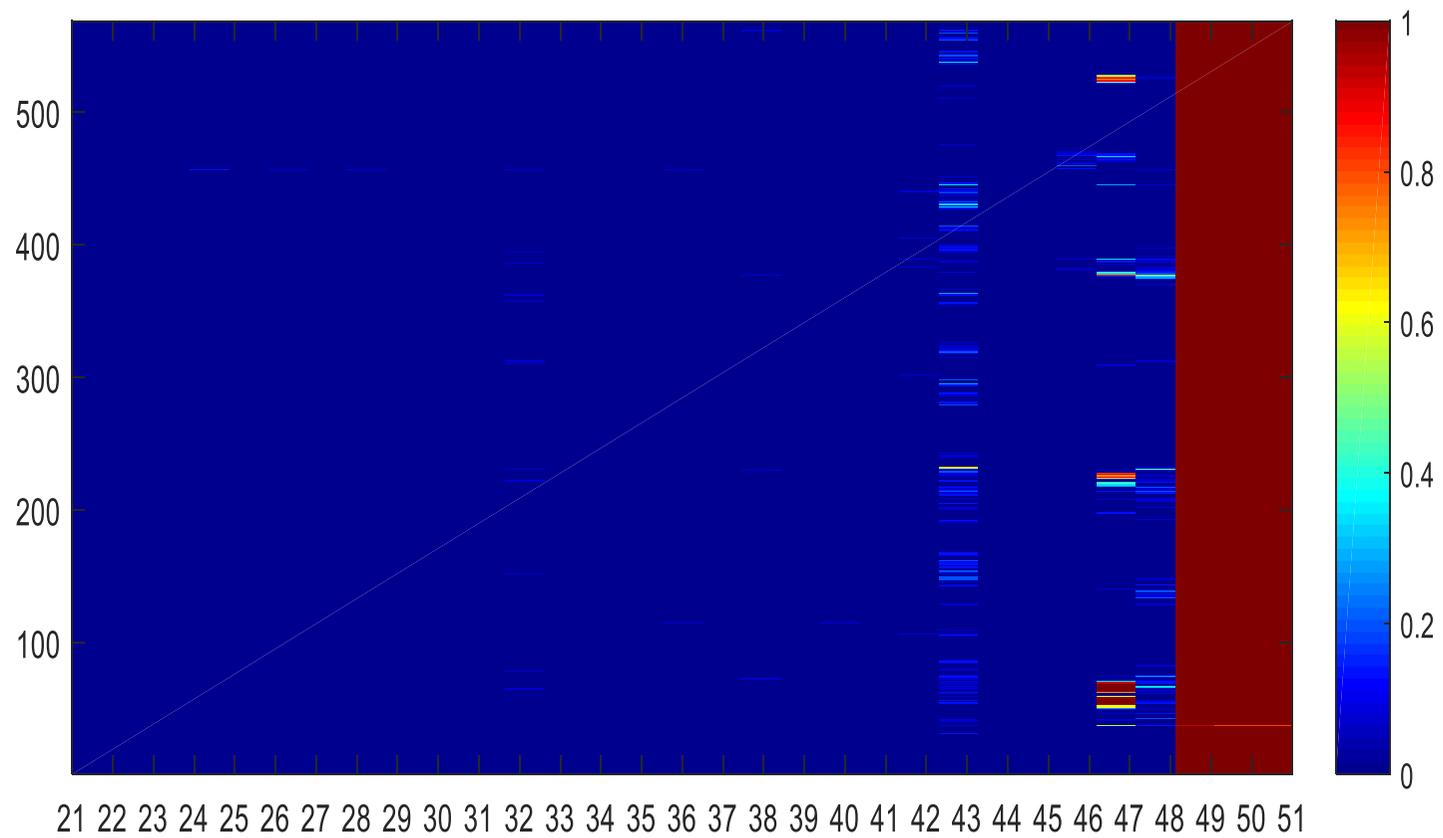


Figura 4.7: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del octavo piso primer análisis.

4.3.3 Segundo Análisis

Ahora vamos determinar la disponibilidad temporal de canales en los diferentes pisos comparando a la densidad de potencia con el piso de ruido más 10db.

Las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 muestran la disponibilidad de canales al comparar los niveles de potencia con respecto al piso de ruido más 10 dB del primer, quinto y octavo piso respectivamente. La disponibilidad de canales es representada con una gama de colores como se explicó para el análisis anterior.

La figura 4.8, muestra la disponibilidad de canales del primer piso cuando la densidad de potencia es menor que el piso de ruido más 10 dB. Los canales 28, 29, 39, 43, 44, 47, 48,49, 50, 51 están totalmente disponibles en todo momento por lo cual están representados con el color rojo.

Solo el canal 25 están representado por el color azul lo cual indica que se encuentra siempre ocupado, debido a que tiene los más altos niveles de potencia.

Los canales 21, 22, 24, 32, 34, 38 se observa que los niveles de disponibilidad son intermitentes, representados por tonos de color rojizo es decir que la mayoría de tiempo se encuentran disponibles. Otros canales como el 27, 31, 41 en la mayor parte del tiempo están ocupados porque, aunque exista intermitencia estos canales se encuentra casi todo el tiempo representados por tonos de color azul.

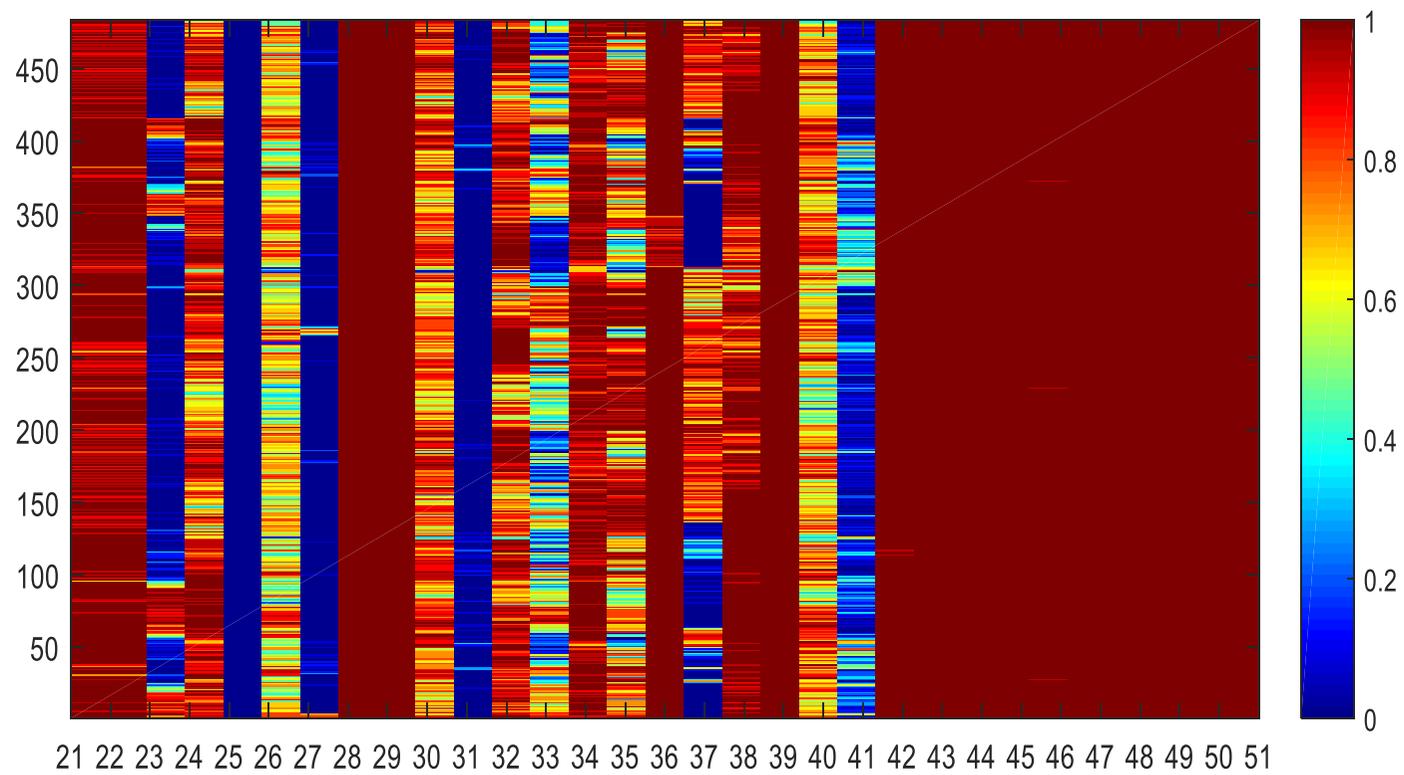


Figura 4.8: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del primer piso segundo análisis.

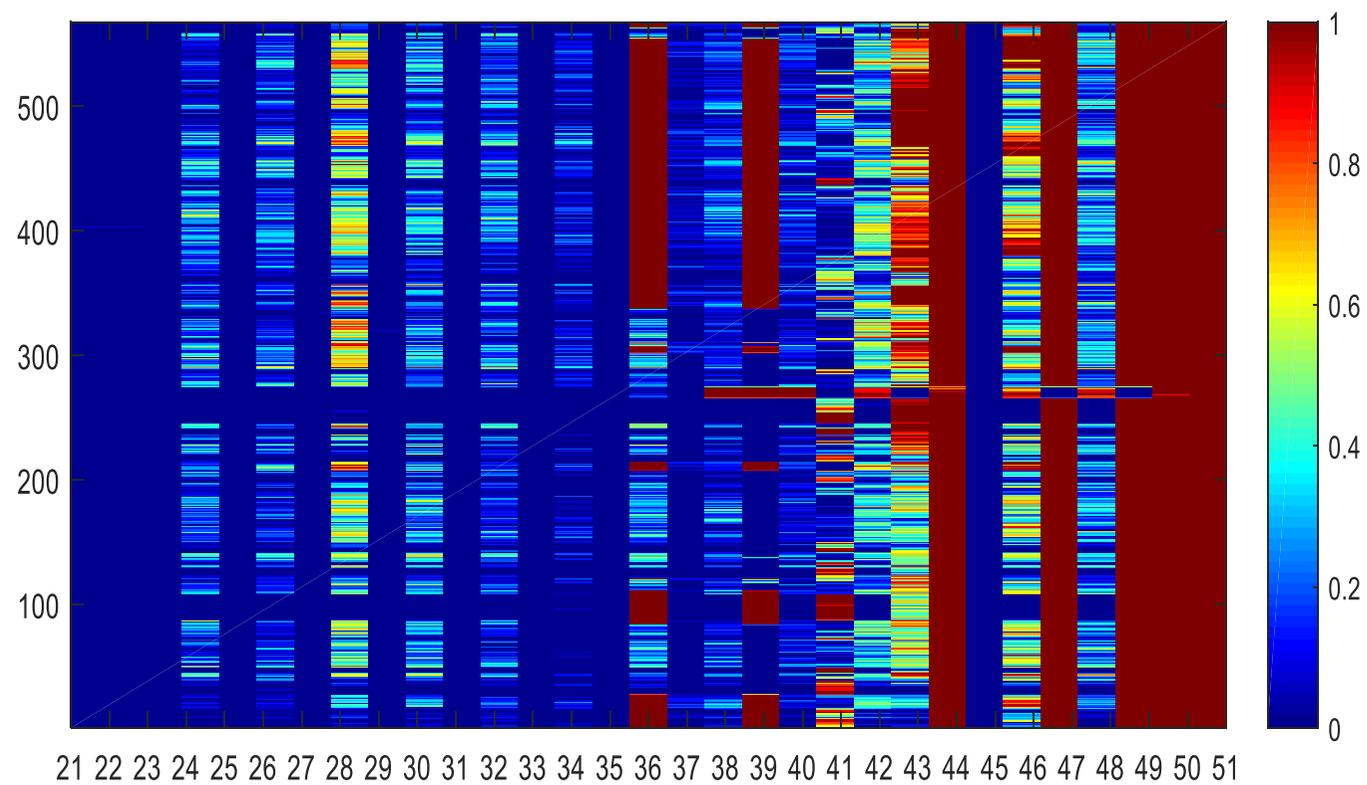


Figura 4.9: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del quinto piso segundo análisis.

La figura 4.9 muestra la disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del quinto piso, La mayoría de canales en la gráfica están representados por tonos de color azul es decir que tienen intermitencia, pero por lo general se encuentran ocupados.

Los canales 44, 47, 49, 50 y 51 se encuentran representados por el color rojo, lo que nos permite concluir que se encuentran disponibles en todo momento.

Los canales 21,22, 23, 25, 27, 29, 31, 33 y 35 se encuentran totalmente ocupados por eso están de color azul.

Además, tenemos los canales 36 y 39 que se muestra por momentos totalmente disponible y en otros ocupado.

La figura 4.10 muestra la disponibilidad temporal de octavo piso, en la cual se observa que casi no existen canales libres en este piso. Solo el canal 44, 47, 49, 50 y 51 están disponibles en todo momento.

El canal 41 es el más inestable, pues la intermitencia es mas mayor por eso este canal está representado por toda la gama de colores posible.

Además, se observa que 20 canales están completamente ocupados en todo momento.

Al comparar la cantidad de canales disponible del primer análisis con el segundo se puede observar que se obtienen más canales libres cuando se compara la densidad de potencia con el piso de ruido más 10 dB.

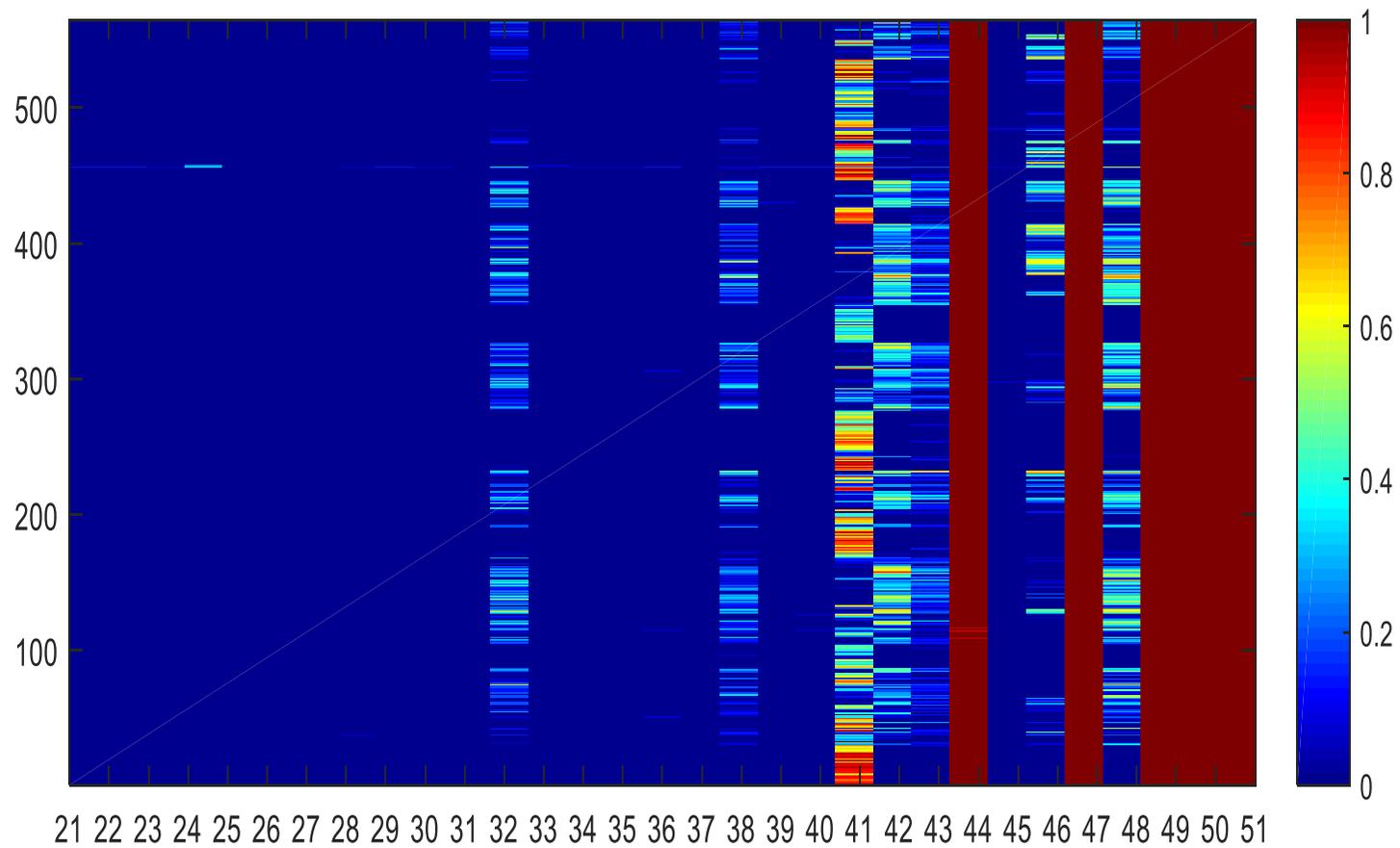


Figura 4.10: Disponibilidad temporal de los canales de la banda UHF-TV del octavo piso segundo análisis.

4.3.4 Análisis estadístico

Luego de haber realizado el análisis de disponibilidad temporal en base a esos resultados se procede a realizar un análisis estadístico de las mediciones.

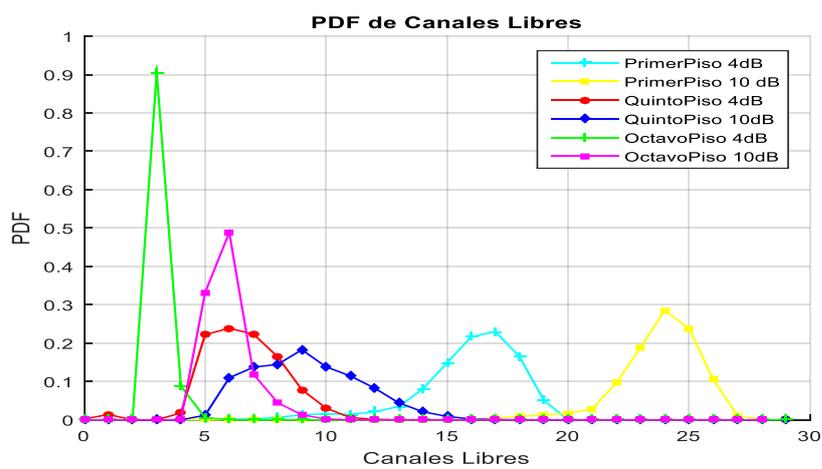


Figura 4.11: PDF de Canales Libres

La figura 4.11 muestra las funciones de densidad de probabilidad de cada piso para los dos análisis realizados donde la cantidad de canales disponibles disminuye a medida que el piso está más arriba.

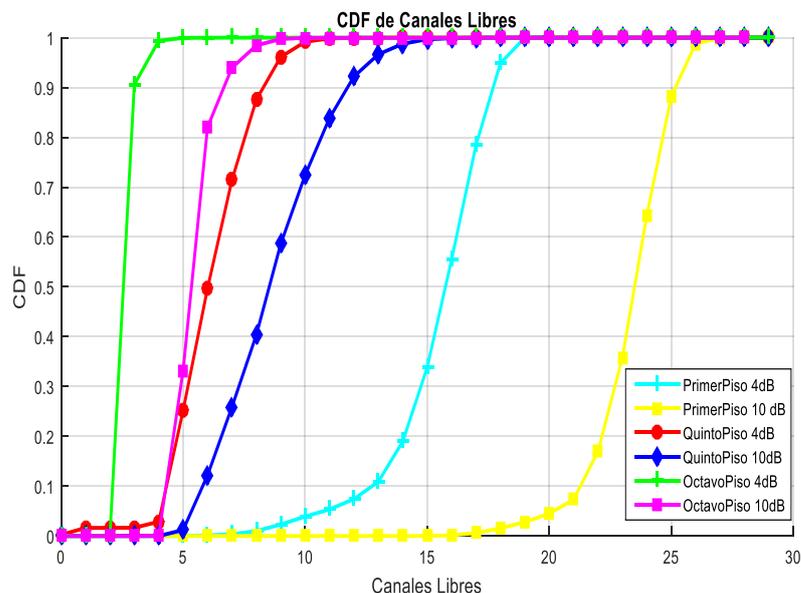


Figura 4.12: CDF de Canales Libres

La figura 4.12 nos muestra el número de canales disponibles en un instante de tiempo del primero, quinto y octavo piso para los dos análisis realizados, la gráfica de color verde representa la medición del octavo piso, la del color rojo el quinto piso y la del color celeste para el primer piso para el primer análisis el cual compara las densidades de potencia con el piso de ruido más 4 dB. La grafica de color fucsia representa el octavo piso, la azul el quinto piso y la amarilla el primer piso para el segundo análisis que compara la densidad de potencia con el piso de ruido más 10 dB.

Observando que existe mayor disponibilidad en el segundo análisis del primer piso donde en promedio existen 24 canales libres, y aproximadamente el 84.75% de las mediciones tiene de 20 a 25 canales libres, en el quinto piso en promedio existen 9 canales disponibles y en el octavo piso 7 canales disponibles.

El primer análisis indica que para el primer piso en promedio existen 17 canales, para el quinto piso aproximadamente el

70.95% de las mediciones tienen entre 5 y 10 canales disponibles, en el octavo piso en promedio existen 3 canales libres.

4.3.5 Análisis de Canales Conjuntos

Luego de analizar la disponibilidad de canales se realiza un estudio para comprobar la cantidad de canales conjuntos disponibles en cada piso donde se realizaron las mediciones.

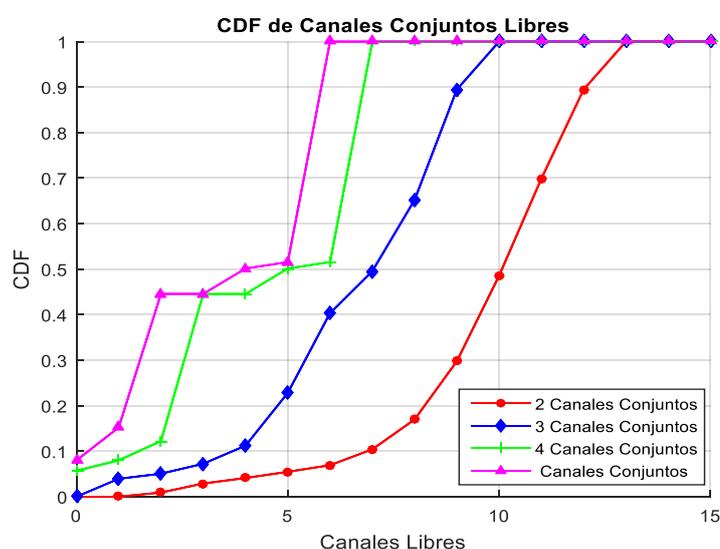


Figura 4.13: CDF de Canales Conjuntos Libres primer piso del primer análisis.

La figura 4.13 nos muestra la CDF de la disponibilidad de los canales conjuntos en el primer piso del primer análisis, donde con aproximadamente con una probabilidad de 0,9 tenemos 12 anchos de banda diferentes de 12 MHz es decir 2 canales continuos, 9 anchos de banda diferentes de 18 MHz (3 canales continuos), 7 anchos de banda diferentes de 24 MHz (4 canales continuos), 9 anchos de banda diferentes de 30 MHz (5 canales continuos).

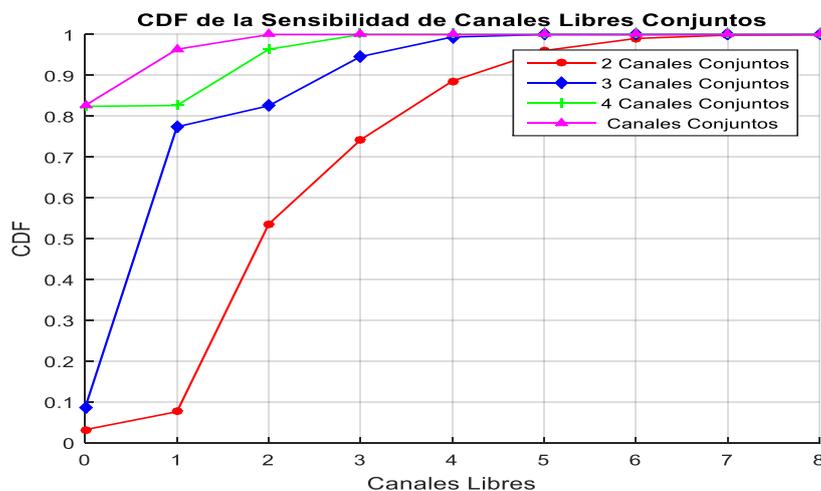


Figura 4.14: CDF de Canales Conjuntos Libres quinto piso primer análisis.

La figura 4.14 nos muestra la CDF de la disponibilidad de los canales conjuntos en el quinto piso del primer análisis, donde con aproximadamente con una probabilidad de 0,9 tenemos 4 anchos de banda diferentes de 12 MHz es decir 2 canales continuos, 3 anchos de banda diferentes de 18 MHz (3 canales continuos), 2 anchos de banda diferentes de 24 MHz (4 canales continuos), 1 ancho de banda de 30 MHz (5 canales continuos).

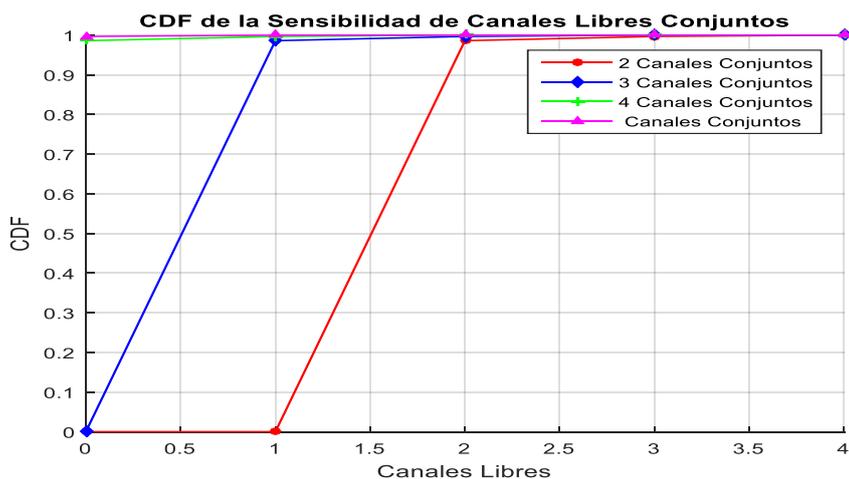


Figura 4.15: CDF de Canales Conjuntos Libres octavo piso del primer análisis.

La figura 4.15 nos muestra la CDF de la disponibilidad de los canales conjuntos en el quinto piso del primer análisis, donde con aproximadamente con una probabilidad de 0,9 tenemos solo 2 anchos de banda diferentes de 12 MHz es decir 2 canales continuos y 1 ancho de banda de 18 MHz (3 canales continuos) esto concuerda con los análisis anteriores debido a que en este piso se obtiene menor disponibilidad de canales.

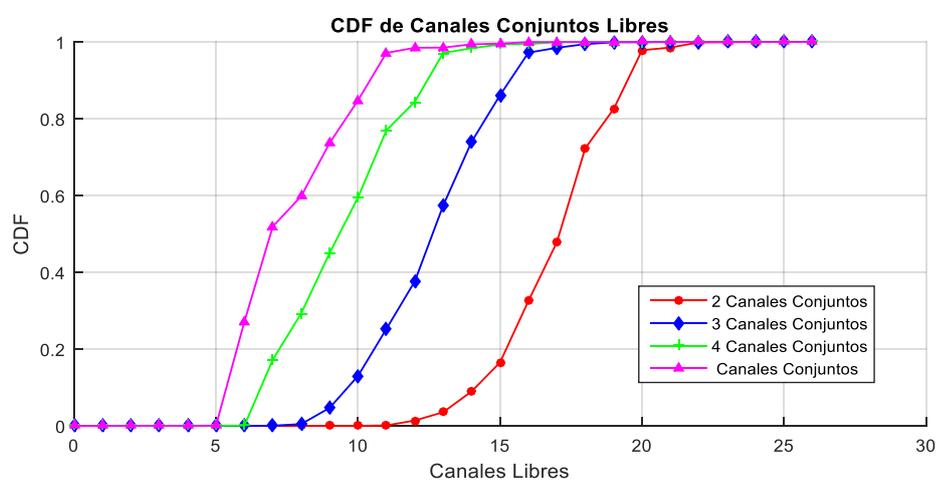


Figura 4.16: CDF de Canales Conjuntos Libres primer piso del segundo análisis.

La figura 4.16 nos muestra la CDF de la disponibilidad de los canales conjuntos en el primer piso del segundo análisis donde para obtener la disponibilidad se compara el nivel de potencia con el piso de ruido más 10 dB, obteniendo con aproximadamente con una probabilidad de 0,9, 19 anchos de banda diferentes de 12 MHz es decir 2 canales continuos, 15 anchos de banda diferentes de 18 MHz (3 canales continuos), 12 anchos de banda diferentes de 24 MHz (4 canales continuos), 10 anchos de banda diferentes de 30 MHz (5 canales continuos).

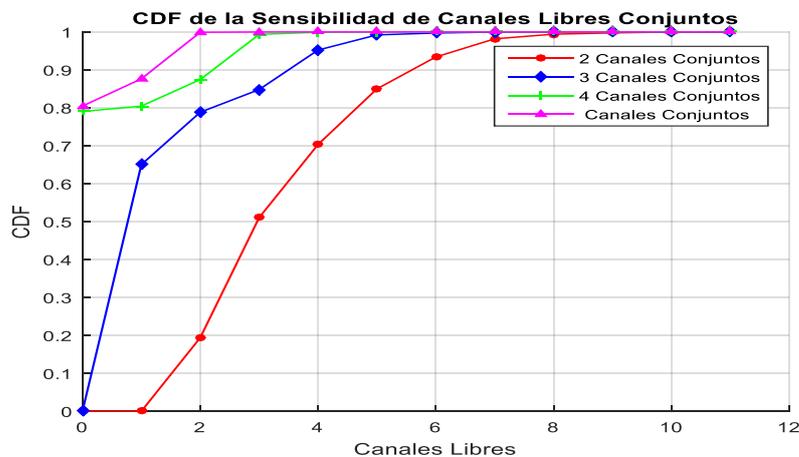


Figura 4.17: CDF de Canales Conjuntos Libres quinto piso del segundo análisis.

La figura 4.15 nos muestra la CDF de la disponibilidad de los canales conjuntos en el quinto piso del segundo análisis, donde con aproximadamente con una probabilidad de 0,9 tenemos 6 anchos de banda diferentes de 12 MHz es decir 2 canales continuos, 4 anchos de banda diferentes de 18 MHz (3 canales continuos), 2 anchos de banda diferentes de 24 MHz (4 canales continuos), 1 ancho de banda 30 MHz (5 canales continuos).

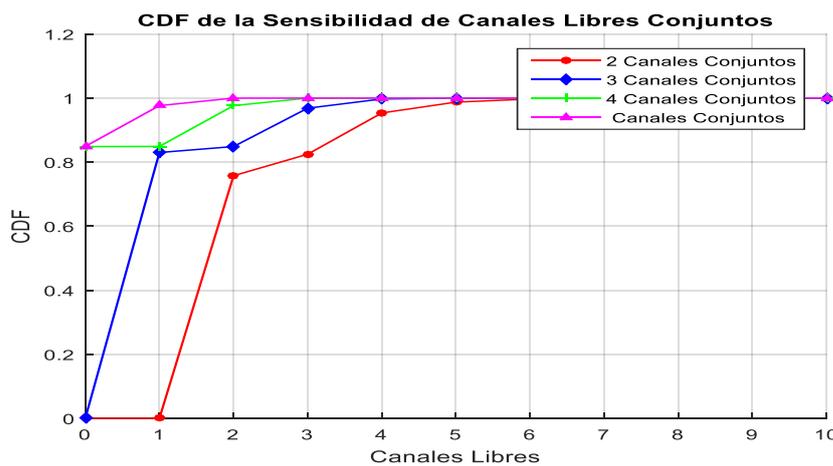


Figura 4.18: CDF de Canales Conjuntos Libres octavo piso del segundo análisis.

La figura 4.18 nos muestra la CDF de la disponibilidad de los canales conjuntos en el octavo piso del segundo análisis, donde con aproximadamente con una probabilidad de 0,9 tenemos solo 3 anchos de banda diferentes de 12 MHz es decir 2 canales continuos, 2 anchos de banda diferentes de 18 MHz (3 canales continuos) y 1 ancho de banda de 24 (MHz).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La gráfica de disponibilidad temporal de canales de la banda UHF-TV del primer piso nos indica existe una gran disponibilidad del espectro debido a que la mayoría de canales se encuentran total o parcialmente disponibles.

Según los resultados obtenidos se observa que existe una gran disponibilidad de canales libres, el primer piso tiene en promedio 17 canales libres, el quinto 6 y el octavo 3 cuando la densidad de potencia es menor que el piso de ruido más 4dB. Por otro lado, cuando la densidad de potencia es menor que el piso de ruido más 10 dB la cantidad de canales libres aumentan notoriamente dando como resultado que en promedio el primer piso tiene 24, el quinto 9 y el octavo 7.

Además, se estableció que debido a que no existen muchos obstáculos entre la trayectoria del haz y la antena receptora ubicada en el octavo piso la cantidad de canales disponibles es mucho menor en comparación al primer y quinto piso.

Debido a la disponibilidad de canales en el interior del condominio "Edificio Central", es factible utilizar el ancho de banda disponible en dispositivos inalámbricos con sistema de cobertura pico o femtoceldas (sistemas celulares) que tengan la capacidad trabajar en múltiples bandas(OSA).

Basado en el análisis de canales conjuntos se conoce que existen hasta 10 anchos de bandas diferentes de 30 MHz en el primer piso lo que nos permite utilizar tecnología que use un sistema GSM, LTE, WIFI entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Ortiz, J. Aguado, "El 70% de los habitantes serán usuarios móviles en 2020", [Online]. Informe Cisco Visual Networking Index (VNI), 2016. Disponible en: <http://globalnewsroom.cisco.com/es/es/release/EI-70-de-los-habitantes-ser%C3%A1n-usuarios-m%C3%B3viles-en-2020-2295004>
- [2] M. Huidrobo, "Identificación de white spaces en la Banda de Televisión para la Futura Implementación de Redes de Radio Cognitiva", Tesis Ingeniería de Telecomunicaciones, Escuela Técnica Superior de Telecomunicaciones de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2011
- [3] D. Muñoz, "SUTEL reconoce caos en uso del espectro radioeléctrico", Semanario Universidad, 2014, [Online]. Disponible en: <http://semanariouniversidad.ucr.cr/cultura/sutel-reconoce-caos-en-uso-del-espectro-radioelctrico/>
- [4] P. Kumar, N. Rakheja, A. Sarswat, H. Varshney, P. Bhatia, S. Goli, V. Ribeiro, M. Sharma, "White Space Detection and Spectrum Characterization in Urban and Rural India", Centre for Applied Research in Electronics, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi, India 110016, 2013
- [5] W. Medina, J. Gómez, F. Novillo, "Modeling Channel Availability in TV Bands for Devices with OSA Capabilities in Urban Zones", GICOM-CIDIS, Facultad DE Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC), Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2015
- [6] E. Troya, "Identificación de White Spaces en la Banda Vhf/Uhf para la Futura Implementación de Redes de Radio Cognitiva en la Ciudad Loja", Tesis Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables, Universidad nacional de Loja, Loja, 2015
- [7] E. Galeano, «Revista Cronopio,» 11 noviembre 2009. [En línea]. Available: <http://blog.revistacronopio.com/?p=129#more-129>.

- [8] A. O. R. H. Daniel Ospina, «Aplicación de esquemas de acceso Oportunista al Espectro en ambientes inalámbricos heterogéneos,» Medellín, 2011.
- [9] Rappaport, Theodore S. "Wireless Communications", Prentice Hall, segunda edición, 2002.
- [10] Pahlavan, K., Levesque, A., "Wireless Information Networks (2nd Edition)", John Wiley & Sons. (2005).
- [11] IEEE 802.11n – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput
- [12] Gutierrez Reina, Daniel, "Sistema Pasarela Bluetooth para una red de Sensores ZIGBEE", 2009
- [13] Fernando Valle, Coexistencia de Redes WLAN & WPAN, 2005
- [14] Harri Holma, Antti Toskala, "LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access" Editorial: Wiley & Sons, 2009.
- [15] Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker, "LTE-The UMTS Long Term Evolution-From theory to practice" Editorial: Wiley & Sons, 2009.
- [16] Ramón Agustí Comes, Francisco Bernardo Álvarez, "LTE: Nuevas tendencias en comunicaciones móviles", Editorial: Fundación Vodafone España, 2010.
- [17] Shimomura, T.; Oyama, T.; Seki, H., "Analysis of TV White Space Availability in Japan," Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2012 IEEE , vol., no., pp.1,5, 3-6 Sept. 2012.
- [18] K. DePaul & otros (2011). "White Spaces and Mobile Communications Unleashing the full potential of the mobile Internet". Alcatel-Lucent.
- [19] S. Haykin, "Cognitive Radio: brainempowered wireless communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications 23 (2), pp. 201-220, 2005.
- [20] Q. Zhao y B. M. Sadler. A survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing, Networking, and Regulatory Policy. En: IEEE Signal Processing Magazine, Vol.24, No.3, mayo de 2007. p79-89.

- [21]I. F. Akyildiz, et al. NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless 18 networks: A survey. En: Elsevier Computer Networks, Vol.50, No.13, septiembre de 2006. p2127-2159.
- [22]Alireza Attar, Oliver Holland and Hamid Aghvami, Chapter 5 - Spectrum access and sharing, In Cognitive Radio Communications and Networks, edited by Alexander M. WyglinskiMaziar NekoveeY. Thomas Hou, Academic Press, Oxford, 2010, Pages 113-148, ISBN 9780123747150, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374715-0.00005-8>.
- [23]Quintero, Victor. y Mirama, Victor. "Control de Potencia en Sistemas de Comunicaciones Inalamblicos basado en Juego No Formal", 2012.
- [24]ARCOTEL, Norma Tecnica para el Servicio de Television Analogica y Plan de Distribucion de Canales, 2001
- [25]Resolución RTV-681-24-CONATEL-2012, "Plan Maestro de Transición a la Televisión Terrestre", ARCOTEL, 2012, URL <http://www.advicom.ec/userFiles/files/RTV-681-24-CONATEL.pdf>
- [26]ITU-R Recommendation BT.804, "Characteristics of TV receivers essential for frequency planning with PAL/SECAM/NTS television systems," 1992

ANEXOS

CODIGO

```
% RTL-SDR Spectrum Sweep
% - You can use this script to sweep and record the RF spectrum with your
% RTL-SDR
% - Change the "location" parameter (line 22) to something that identifies
% your location, eg Glasgow, New York or Sydney
% - You may change range that the RTL-SDR will sweep over by changing the
% values of "start_freq" and "stop_freq" (lines 23 and 24)
% - If you wish, you can also change the RTL-SDR sampling rate by changing
% "rtlsdr_fs", and the tuner gain by modifying "rtlsdr_gain" (lines 26
% and 27)
% - At the end of the simulation, the recorded data will be processed and
% plotted in a popup figure
% - This figure will be saved to the MATLAB 'current folder' for later
% viewing
% - NOTE: to end simulation early, use |Ctrl| + |C|
```

```
function Adquisicion_datos_UHF
```

```
% PARAMETERS (can change)
location      = 'GYE';    % location used for figure name
start_freq    = 470e6;    % sweep start frequency
stop_freq     = 698e6;    % sweep stop frequency
rtlsdr_id     = '0';     % RTL-SDR stick ID
rtlsdr_fs     = 2e6;     % RTL-SDR sampling rate in Hz
rtlsdr_gain   = 40;      % RTL-SDR tuner gain in dB
rtlsdr_frmLen = 4096;    % RTL-SDR output data frame size
rtlsdr_datatype = 'single'; % RTL-SDR output data type
rtlsdr_ppm    = 0;      % RTL-SDR tuner parts per million correction
% PARAMETERS (can change, but may break code)
```

```

nfrmhold      = 20;      % number of frames to receive
fft_hold      = 'avg';   % hold function "max" or "avg"
nfft          = 4096;    % number of points in FFTs (2^something)
dec_factor    = 16;      % output plot downsample
overlap       = 0.5;     % FFT overlap to counter rolloff
nfrmdump      = 100;     % number of frames to dump after retuning (to clear
buffer)

```

```
% Parametros para guardar información
```

```

dia_medicion  = 1;      % numero día de recoleccion de datos.
muestras_x_dia = 150;   % número de muestras tomadas en 3 horas
save_interval  = 30;    % intervalo de guardado.

```

```
% CALCULATIONS
```

```

rtlsdr_tunerfreq = start_freq:rtlsdr_fs*overlap:stop_freq; % range of tuner frequency
in Hz
if( max(rtlsdr_tunerfreq) < stop_freq ) % check the whole range is
covered, if not, add an extra tuner freq
    rtlsdr_tunerfreq(length(rtlsdr_tunerfreq)+1) =
max(rtlsdr_tunerfreq)+rtlsdr_fs*overlap;
end
nretunes = length(rtlsdr_tunerfreq); % calculate number of retunes
required
freq_bin_width = (rtlsdr_fs/nfft); % create xaxis
freq_axis = (rtlsdr_tunerfreq(1)-rtlsdr_fs/2*overlap : freq_bin_width*dec_factor :
(rtlsdr_tunerfreq(end)+rtlsdr_fs/2*overlap)-freq_bin_width)/1e6;

```

```
% First open an Excel Server
```

```

Excel = actxserver('Excel.Application');
set(Excel, 'Visible', 1);
while(1)

```

```

for contador = 0:1:muestras_x_dia
    if contador == 0
        % Insert a new workbook
        Workbooks = Excel.Workbooks;
        Workbook = invoke(Workbooks, 'Add');

        rango_inicial = sprintf('G1:VUL1');
        % Make the first sheet active
        Sheets = Excel.ActiveWorkBook.Sheets;
        sheet1 = Sheets.get('Item', 1);
        invoke(sheet1, 'Activate');
        Activesheet = Excel.Activesheet;
        ActivesheetRange = get(Activesheet, 'Range', rango_inicial);
        set(ActivesheetRange, 'Value', freq_axis(1:15424));

        rango_final = sprintf('G1:TJ1');
        sheet2 = get(Sheets, 'Item', 2);
        invoke(sheet2, 'Activate');
        Activesheet = Excel.Activesheet;
        ActivesheetRange = get(Activesheet, 'Range', rango_final);
        set(ActivesheetRange, 'Value', freq_axis(15425:length(freq_axis)));
    else
        capture_and_plot;
        pause(10);
    end
end
end

%% FUNCTION to capture data from the RTL-SDR and plot it
function capture_and_plot

    % START TIMER

```

```

tic;
disp(' ');

% SYSTEM OBJECTS
% RTL-SDR system object
obj_rtlsdr = comm.SDRRTLReceiver(...
    rtlsdr_id,...
    'CenterFrequency',    rtlsdr_tunerfreq(1),...
    'EnableTunerAGC',    false,...
    'TunerGain',         rtlsdr_gain,...
    'SampleRate',        rtlsdr_fs, ...
    'SamplesPerFrame',   rtlsdr_frmlen,...
    'OutputDataType',    rtlsdr_datatype ,...
    'FrequencyCorrection', rtlsdr_ppm );

% FIR decimator
obj_decmtr = dsp.FIRDecimator(...
    'DecimationFactor',  dec_factor,...
    'Numerator',         fir1(300,1/dec_factor));

% CALCULATIONS (others)
rtlsdr_data_fft = zeros(1,nfft);           % fullsize matrix to hold calculated fft
[1 x nfft]
fft_reorder = zeros(length(nfrmhold),nfft*overlap); % matrix with overlap
compensation to hold re-ordered ffts [navg x nfft*overlap]
fft_dec = zeros(nretunes,nfft*overlap/dec_factor); % matrix with overlap
compensation to hold all ffts [ntune x nfft*overlap/data_decimate]

% SIMULATION
% check if RTL-SDR is active
if ~isempty(sdrinfo(obj_rtlsdr.RadioAddress))
else

```

```
error(['RTL-SDR failure. Please check connection to ',...
      'MATLAB using the "sdrinfo" command.']);
end

% create progress variable
tune_progress = 0;
fecha = clock;

% for each of the tuner values
for ntune = 1:1:nretunes;

    % tune RTL-SDR to new centre frequency
    obj_rtlsdr.CenterFrequency = rtlsdr_tunerfreq(ntune);

    % dump frames to clear software buffer
    for frm = 1:1:nfrmdump
        % fetch a frame from the rtlsdr stick
        rtlsdr_data = step(obj_rtlsdr);
    end

    % display current centre frequency
    disp(['      fc = ',num2str(rtlsdr_tunerfreq(ntune)/1e6),'MHz']);

    % loop for nfrmhold frames
    for frm = 1:1:nfrmhold

        % fetch a frame from the rtlsdr stick
        rtlsdr_data = step(obj_rtlsdr);

        % remove DC component
        rtlsdr_data = rtlsdr_data - mean(rtlsdr_data);
```

```

% find fft [ +ve , -ve ]
rtlsdr_data_fft = abs(fft(rtlsdr_data,nfft));

% rearrange fft [ -ve , +ve ] and keep only overlap data
fft_reorder(frm,( 1 : (overlap*nfft/2) )) = rtlsdr_data_fft(
(overlap*nfft/2)+(nfft/2)+1 : end ); % -ve
fft_reorder(frm,( (overlap*nfft/2)+1 : end )) = rtlsdr_data_fft( 1 :
(overlap*nfft/2) ); % +ve

end

% process the fft data down to [1 x nfft*overlap/data_decimate] from [nfrmhold
x nfft*overlap/data_decimate]
if strcmp(fft_hold,'avg')
% if set to average, find mean
fft_reorder_proc = mean(fft_reorder);

elseif strcmp(fft_hold,'max')
% if set to max order hold, find max
fft_reorder_proc = max(fft_reorder);

end

% decimate data to smooth and store in spectrum matrix
fft_dec(ntune,:) = step(obj_decmtr,fft_reorder_proc)';

% show progress if at an n10% value
if floor(ntune*10/nretunes) ~= tune_progress;
tune_progress = floor(ntune*10/nretunes);
disp([' progress = ',num2str(tune_progress*10),'%']);
end

```

```

end

% REORDER INTO ONE MATRIX
fft_masterreshape = reshape(fft_dec',1,ntune*nfft*overlap/dec_factor);

% PLOT DATA
y_data = fft_masterreshape;
y_data_dbm = 10*log10((fft_masterreshape.^2)/50);
%
plot(h_spectrum.axes1,freq_axis,y_data_dbm,'Color',h_spectrum.line_blue,'linewidth'
,1.25);
%
plot(h_spectrum.axes2,freq_axis,y_data,'Color',h_spectrum.line_orange,'linewidth',1.
25);

% GRABAR
grabar1 = y_data_dbm(1:15424);
grabar2 = y_data_dbm(15425:length(y_data_dbm));
rango1 = sprintf('A%i:F%i', contador+1,contador+1);
rango2 = sprintf('G%i:VUL%i', contador+1,contador+1);
rango3 = sprintf('G%i:TNJ%i', contador+1,contador+1);

% Make the first sheet active
Sheets = Excel.ActiveWorkBook.Sheets;
sheet1 = get(Sheets, 'Item', 1);
invoke(sheet1, 'Activate');

% Get a handle to the active sheet
Activesheet = Excel.Activesheet;

% Put a MATLAB array into Excel
ActivesheetRange = get(Activesheet,'Range',rango1);

```

```

set(ActivsheetRange, 'Value', fecha);
ActivsheetRange = get(Activsheet,'Range',rango2);
set(ActivsheetRange, 'Value', grabar1);

% Make the second sheet active
Sheets = Excel.ActiveWorkBook.Sheets;
sheet2 = get(Sheets, 'Item', 2);
invoke(sheet2, 'Activate');

% Get a handle to the active sheet
Activsheet = Excel.Activesheet;

% Put a MATLAB array into Excel
ActivsheetRange = get(Activsheet,'Range',rango1);
set(ActivsheetRange, 'Value', fecha);
ActivsheetRange = get(Activsheet,'Range',rango3);
set(ActivsheetRange, 'Value', grabar2);

if( mod (contador,save_interval) == 0 ) % graba excel
    ddm = sprintf('Tiempo_intervalo_%i.xlsx', dia_medicion);
    invoke(Workbook, 'SaveAs', ddm);
    Workbook.Saved = 1;
    Excel.DisplayAlerts = 0;
    if(contador == muestras_x_dia)
        dia_medicion=dia_medicion+1;
        invoke(Workbook, 'Close'); %Cerrar Excell
        contador = 0;
    end
end

% STOP TIMER
disp(' ');

```

```

disp([' run time = ',num2str(toc),'s']);
disp(' ');

reset(obj_rtlsdr);
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%% Software, Simulation Examples and Design Exercises Licence Agreement %%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% This license agreement refers to the simulation examples, design
% exercises and files, and associated software MATLAB and Simulink
% resources that accompany the book:
%
% Title: Software Defined Radio using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR
% Published by Strathclyde Academic Media, 2015
% Authored by Robert W. Stewart, Kenneth W. Barlee, Dale S.W. Atkinson,
% and Louise H. Crockett
%
% and made available as a download from www.desktopSDR.com or variously
% acquired by other means such as via USB storage, cloud storage, disk or
% any other electronic or optical or magnetic storage mechanism. These
% files and associated software may be used subject to the terms of
% agreement of the conditions below:
%
% Copyright © 2015 Robert W. Stewart, Kenneth W. Barlee,
% Dale S.W. Atkinson, and Louise H. Crockett. All rights reserved.
%
```

% Redistribution and use in source and binary forms, with or without
% modification, are permitted provided that the following conditions are
% met:
%
% (1) Redistributions of source code must retain the above copyright
% notice, this list of conditions and the following disclaimer.
%
% (2) Redistributions in binary form must reproduce the above copyright
% notice, this list of conditions and the following disclaimer in
% the documentation and/or other materials provided with the
% distribution.
%
% (3) Neither the name of the copyright holder nor the names of its
% contributors may be used to endorse or promote products derived
% from this software without specific prior written permission.
%
% (4) In all cases, the software is, and all modifications and
% derivatives of the software shall be, licensed to you solely for
% use in conjunction with The MathWorks, Inc. products and service
% offerings.
%
% THIS SOFTWARE IS PROVIDED BY THE COPYRIGHT HOLDERS AND
% CONTRIBUTORS
% "AS IS" AND ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES, INCLUDING, BUT NOT
% LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND
% FITNESS FOR
% A PARTICULAR PURPOSE ARE DISCLAIMED. IN NO EVENT SHALL THE
% COPYRIGHT
% HOLDER OR CONTRIBUTORS BE LIABLE FOR ANY DIRECT, INDIRECT,
% INCIDENTAL,
% SPECIAL, EXEMPLARY, OR CONSEQUENTIAL DAMAGES (INCLUDING, BUT
% NOT

% LIMITED TO, PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES; LOSS OF USE,
% DATA, OR PROFITS; OR BUSINESS INTERRUPTION) HOWEVER CAUSED AND ON ANY
% THEORY OF LIABILITY, WHETHER IN CONTRACT, STRICT LIABILITY, OR TORT
% (INCLUDING NEGLIGENCE OR OTHERWISE) ARISING IN ANY WAY OUT OF THE USE
% OF THIS SOFTWARE, EVEN IF ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

%

%% Audio Tracks used in Simulations Examples and Design Exercises

%

% The music and vocal files used within the Examples files and software
% within the book were variously written, arranged, performed, recorded
% and produced by Garrey Rice, Adam Struth, Jamie Struth, Iain
% Thistlethwaite and also Marshall Craigmyle who collectively, and
% individually where appropriate, assert and retain all of their
% copyright, performance and artistic rights. Permission to use and
% reproduce this music is granted for all purposes associated with
% MATLAB and Simulink software and the simulation examples and design
% exercises files that accompany this book. Requests to use the music
% for any other purpose should be directed to: info@desktopSDR.com. For
% information on music track names, full credits, and links to the
% musicians please refer to www.desktopSDR.com/more/audio.

%

ABREVIATURAS

NTSC	Comité Nacional de Sistemas de Televisión
ISDB-T	Radiodifusión Digital de Servicios Integrados
ch_j	Canal determinado
B_W	Ancho de banda
N_{TV}	Número total de canales de TV
f_j	Frecuencia determinada
$\Delta_{BW_{f_i}}$	Separación de los Anchos de Banda
h	Altura del edificio
w	Ancho del edificio
n_p	Numero de piso
PU_{ch_j}	Potencia por Canal Recibida por el Usuario
N_{floor}	Número total de pisos
N_{wall}	Número total de paredes
N_{window}	Número total de ventanas
h_{office}	Altura de la Oficina
w_{office}	Ancho de la Oficina
l_{office}	Largo de la Oficina
t_j	Intervalo de tiempo determinado
$P_{PU_{ch_j}}$	Potencia Recibida por los Usuarios del Sistema Primario
$P_{Throughput_k}$	Umbral de Potencia en el que Operan los Usuarios del Sistema Primario

BS_{PU}	Estación Base de los Usuarios del Sistema Primario
f_{inicio}	Frecuencia de Inicio
f_{final}	Frecuencia Final
$N_{muestras}$	Numero de Muestras
T_s	Tiempo de Intervalo de Almacenamiento de Datos