



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

“DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN
MEDICIONES REALIZADAS EN LA BANDA VHF/UHF DE
TELEVISIÓN, PARA EL ANÁLISIS Y LA DETERMINACIÓN
ESPECTRAL DE LA DISPONIBILIDAD DE CANALES
CONJUNTOS EN UNA EDIFICACIÓN UBICADA EN LA
CIUDAD DE GUAYAQUIL”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

FERNANDO ALEXANDER MUÑOZ CEDEÑO
JOHANNA ALEXANDRA BARRERA BARROS

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por la vida que me ha concedido para culminar mi carrera universitaria, por ser mi fortaleza para no rendirme en momentos difíciles y por haberme brindado entendimiento, paciencia y sabiduría a lo largo de todo este proceso académico como personal. A mis padres por inculcarme valores desde muy pequeño y nunca darme por vencido, por permitirme una educación superior y por todos los esfuerzos que realizaron para que yo alcanzare esta meta. A mi hermana por su entusiasmo brindado, a mi primo Pablo por todo el apoyo incondicional que me proporciono en las etapas finales de mi carrera y por sus frases de aliento para seguir adelante a pesar de las adversidades. Mi más sincero agradecimiento también a todos los profesores que contribuyeron con sus conocimientos y experiencias para mi formación profesional, a mi asesor de tesis Ing. Washington Medina por su guía y paciencia durante todo este semestre y, por último, pero no menos importante a mis amigos, todos esos amigos que me regalo ESPOL que estuvieron en las buenas y en las malas siempre apoyándome.

Fernando Alexander Muñoz Cedeño

Mi agradecimiento infinito para Dios por ser el principal motor en mi vida ya que sin él no sería posible cumplir esta nueva meta, a mis padres y novio por ser ese pilar y apoyo incondicional en cada etapa de mi carrera, a toda mi familia y amigos en general porque de otra una u otra manera han sido una pieza fundamental en este proceso académico.

De igual manera no podría dejar de agradecer a todos y cada uno de mis profesores los cuales han sido responsables en mi preparación académica y de manera muy especial a mi tutor de tesis el Ing. Washington Medina Moreira y mi revisor Magíster Luis Fernando Vásquez Vera, los mismos que con su debida dirección han hecho posible la realización adecuada de este proyecto investigativo.

Johanna Alexandra Barrera Barros

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a Dios por su misericordia y bondad, por haberme guiado durante todo este camino; además de permitirme salud y entendimiento para alcanzar mis objetivos. A mis padres Fernando y Annabelle; a mi hermana Lady y a mi primo Pablo, porque gracias a su apoyo incondicional y confianza en todo momento he conseguido alcanzar una de mis grandes metas en la vida, gracias por sus valores, motivaciones, consejos y sobre todo por el amor brindado, pilares fundamentales que me han permitido ser una persona de bien. A mis amigos con los cual compartí muchas anécdotas estudiantiles que nos sirvieron para forjar nuestro carácter profesional, esto es posible gracias a ustedes.

Fernando Alexander Muñoz Cedeño

Quiero dedicarle el presente trabajo investigativo de manera primordial a mi Señor, nuestro Dios, por brindarme la oportunidad de llegar hasta esta etapa de mi vida y ser mi fiel compañero en cada instancia de la misma, a mis padres Carlos y Nury por su infinito amor, constante ayuda y por ser mi principal ejemplo de lucha y entrega.

Así mismo, a mi novio Manuel, por toda su paciencia y firmes consejos a lo largo de estos años los mismos que me sirvieron para no dejarme vencer en ningún momento, a mis sobrinos Carlos y Dayana que con tan solo una sonrisa me daban la fuerza necesaria para continuar con este desafío y por supuesto a todos mis compañeros, amigos y familiares que han sido testigos y cómplices en esta aventura llamada ESPOL.

Johanna Alexandra Barrera Barros

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

.....
Ing. Washington Medina Moreira
PROFESOR TUTOR

.....
Ing. Luis Fernando Vásquez Vera
PROFESOR COLABORADOR

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”

.....
Fernando Alexander Muñoz Cedeño

.....
Johanna Alexandra Barrera Barros

RESUMEN

Hoy en día los dispositivos inalámbricos que utilizan el espectro electromagnético para compartir información tienen una gran popularidad y su acogida va en aumento. Debido a esto el espectro electromagnético el cual es un recurso renovable pero limitado, se encuentra próximo a la saturación o en distintos casos su uso no es el óptimo provocando así congestiónamiento y mal funcionamiento en las redes inalámbricas. La finalidad de este estudio es determinar canales conjuntos disponibles en diferentes instantes de tiempo al interior de un edificio ubicado en una zona urbana densa, para ello se hace uso de la banda de frecuencia UHF la cual es la ideal para interiores. Para aprovechar de manera eficiente el espectro radioeléctrico se puede hacer uso de los sistemas de acceso oportunista al espectro, con lo cual la disponibilidad temporal encontrada en canales conjuntos se usa para brindar servicios a usuarios de otras tecnologías, logrando con esto una reducción del congestiónamiento al optimizar el uso del espectro radioeléctrico.

Para encontrar la disponibilidad de canales conjunto se realizaron mediciones de potencias en tres pisos diferentes del edificio, se utilizó un dispositivo llamado SDR-RTL con su respectiva antena como receptor de potencias; además de algoritmos implementados en Matlab para procesamiento y disponibilidad de datos los cuales eran ejecutados desde computador personal.

Se obtuvieron graficas las cuales mostraban el comportamiento de canales individuales como canales conjuntos, observándose los momentos de tiempo a lo largo de una semana donde dichos canales estaban disponibles.

En conclusión, la disponibilidad de canales varía dependiendo del tiempo y ubicación, dando como resultado una mayor cantidad de canales disponibles en los niveles más bajos del edificio, esto se debe a que existe múltiples obstáculos que debilitan la señal que procede de la antena transmisora, con lo cual los pisos inferiores son los más adecuados para aprovechar la disponibilidad y hacer uso de nuevas tecnologías.

ABSTRACT

Today, wireless devices that use the electromagnetic spectrum to share information are becoming increasingly popular and popular. Because of this, the electromagnetic spectrum which is a renewable but limited resource, is close to saturation or in different cases its use is not optimal, causing congestion and malfunction in wireless networks. The purpose of this study is to determine joint channels available in different moments of time inside a building located in a dense urban area, using the UHF frequency band which is ideal for interiors. In order to make efficient use of the radio spectrum, opportunistic access systems to the spectrum can be used, with which the temporary availability found in joint channels is used to provide services to users of other technologies, thereby achieving a reduction in congestion by optimizing the use of radio spectrum.

In order to find the availability of joint channels, power measurements were made on three different floors of the building, a device called SDR-RTL was used with its respective antenna as power receiver; in addition to algorithms implemented in Matlab for processing and availability of data which were executed from personal computer.

Graphs were obtained showing the behaviour of individual channels as joint channels, observing the time moments during a week where these channels were available.

In conclusion, the availability of channels varies depending on time and location, resulting in a greater number of channels available on the lower levels of the building, this is because there are multiple obstacles that weaken the signal coming from the transmitting antenna, so the lower floors are the most appropriate to take advantage of the availability and make use of new technologies.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| RESUMEN | i |
| ABSTRACT | ii |
| ÍNDICE GENERAL | iii |
| ABREVIATURAS | vi |
| SIMBOLOGIA | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Descripción del Problema | 1 |
| 1.2 Objetivos | 2 |
| 1.2.1 Objetivo general | 2 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 Justificación | 3 |
| 1.4 Metodología | 5 |
| 1.5 Alcance | 6 |
| CAPITULO 2 | 7 |
| 2 ESTADO DEL ARTE | 7 |
| 2.1 Ondas Electromagnéticas | 7 |
| 2.1.1 Clasificación de las ondas electromagnéticas | 7 |
| 2.2 Acceso Dinámico al Espectro | 9 |
| 2.2.1 Modelo Dinámico de Uso Exclusivo | 9 |
| 2.3 Modelo de Compartición Abierta | 10 |
| 2.3.1 Modelo de Acceso Jerárquico | 10 |

| | |
|---|----|
| 2.3.2 Espectro Underlay | 10 |
| 2.3.3 Espectro Overlay o Acceso Oportunista al espectro..... | 11 |
| 2.4 Radio Cognitiva..... | 12 |
| 2.5 TV White Space | 12 |
| 2.6 Sistema de Televisión Analógicos a Color | 12 |
| 2.6.1 Sistema de Televisión analógico utilizado en Ecuador | 13 |
| 2.7 Sistema de Televisión Digital Terrestre..... | 15 |
| 2.7.1 Estándares de Transmisión en Televisión Digital | 16 |
| 2.7.2 Beneficios de la Televisión Digital | 17 |
| 2.7.3 Imagen y sonido | 17 |
| 2.7.4 Mayor cantidad de Canales | 18 |
| 2.7.5 Interactividad y Movilidad | 19 |
| 2.7.6 Estándar de TDT a utilizar en Ecuador..... | 19 |
| 2.7.7 Servicio de Radiodifusión de Televisión abierta y plan de distribución de canales en Ecuador..... | 20 |
| 2.8 Interferencias en Canales de Televisión Abierta..... | 21 |
| 2.8.1 Interferencia Co-canal | 21 |
| 2.8.2 Interferencia Adyacente..... | 22 |
| CAPÍTULO 3 | 23 |
| 3 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN | 23 |
| 3.1 Escenario | 23 |
| 3.2 Metodología | 25 |
| 3.2.1 Descripción del proceso de disponibilidad de Canales..... | 26 |
| 3.2.2 Recepción de potencia | 26 |
| 3.2.3 Adquisición de datos y Almacenamiento | 26 |
| 3.2.4 Procesamiento de los Datos..... | 29 |
| 3.2.5 Canal Digital | 32 |

ABREVIATURAS

| | |
|---------|--|
| AM | Amplitude Modulation, (Amplitud Modulada) |
| ARCOTEL | Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones |
| ATSC | Advanced Television Systems Committee |
| BBC | British Broadcasting Corporation |
| DSA | Dynamic Spectrum Access (Acceso Dinámico al Espectro) |
| DTMB | Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting |
| DVB-T | Digital Video Broadcasting Terrestrial |
| FCC | Federal Communications Commission |
| FM | Frequency Modulation (Frecuencia Modulada) |
| GPS | Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global) |
| HDTV | High Definition Television |
| ISDB-T | Integrated Services Digital Broadcasting |
| ISDB-Tb | Integrated Services Digital Broadcasting brasileiro |
| ISM | Industrial Scientific and Medical |
| NTSC | National Television System Committee |
| OFCOM | Office of Communications |
| OSA | Opportunistic Spectrum Access (Acceso Oportunista al Espectro) |
| PAL | Phase Alternation Line |
| PC | Computadora personal |
| PU | Primary User (Usuario Primario) |
| RC | Radio Cognitiva |
| SDR | Software Defined Radio |
| SDTV | Standard Definition Television |
| SECAM | Sequential Couleur Avec Memoire |
| SU | Secondary User (Usuario Secundario) |
| TDT | Televisión Digital Terrestre |
| TV | Televisión |
| UHF | Ultra High Frequency |
| UIT | Unión Internacional de Telecomunicaciones |
| UWB | Ultra Wide Band (Ultra Banda Ancha) |
| VHF | Very High Frequency |
| WIFI | Wireless Fidelity |

SIMBOLOGIA

| | |
|----------------|---|
| BW | Ancho de banda |
| Bw_{CH} | Ancho de banda del canal |
| CH_i | Canal inicial |
| CH_f | Canal final |
| dB | Decibelios |
| dBm | Decibelios mili vatios |
| f_{final} | Frecuencia final |
| $f_{inicial}$ | Frecuencia inicial |
| f_s | Frecuencia de muestreo |
| f_{tuner} | Frecuencia tuner |
| Hz | Hertz |
| I | Interferencia |
| KHz | Kilo Hertz |
| MHz | Mega Hertz |
| mts | Metros |
| N | Número de canales |
| $N_{muestras}$ | Numero de muestras |
| N_o | Ruido |
| PB | Planta Baja |
| $P1$ | Piso 1 |
| $P2$ | Piso 2 |
| P_{BS} | Potencia transmitida por la estación base |
| P_{CH} | Potencia del canal |
| P_r | Potencia receptada |
| P_{UMBRAL} | Potencia umbral |
| Seg | Segundos |
| S_i | Intervalo de guardado |
| t_s | Tiempo de muestreo |
| Φ_i | Variable de estado |
| μ | Media |
| σ^2 | Varianza |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1: Onda electromagnética | 7 |
| Figura 2.2: División del espectro electromagnético. | 7 |
| Figura 2.3: Clasificación del Acceso Dinámico al Espectro | 9 |
| Figura 2.4: Espectro Underlay..... | 11 |
| Figura 2.5: Espectro Overlay..... | 11 |
| Figura 2.6: Sistemas de Televisión a color en uso a nivel mundial | 13 |
| Figura 2.7: Señal de televisión del sistema NTSC-M | 15 |
| Figura 2.8: reasignación del espectro en la banda de 470-862 MHz después del uso de TDT | 16 |
| Figura 2.9: Distribución de los Estándares Digitales en uso a nivel mundial..... | 17 |
| Figura 2.10: Diferencia entre señal analógica y señal digital | 18 |
| Figura 2.11: Espectro de Transmisión estándar ISDB-T..... | 20 |
| Figura 2.12: Interferencia Co-canal..... | 22 |
| Figura 2.13: Interferencia entre canales Adyacentes | 22 |
| Figura 3.1: Escenario de estudio..... | 23 |
| Figura 3.2: Banda UHF – TV División de canales | 24 |
| Figura 3.3: Recepción de Potencia en los diferentes niveles del edificio | 25 |
| Figura 3.4: Equipo de medición..... | 25 |
| Figura 3.5: Diagrama de bloque del proceso de medición. | 26 |
| Figura 3.6: Diagrama de flujo del algoritmo de captura de datos (potencias). | 27 |
| Figura 3.7: Archivo de excel generado por el algoritmo de captura de datos..... | 28 |
| Figura 3.8: Diagrama de flujo para determinar disponibilidad de canales conjuntos. | 31 |
| Figura 3.9: Determinación de la Potencia de un Canal Digital | 32 |
| Figura 3.10: Determinación de la Potencia de un Canal Analógico..... | 32 |
| Figura 3.11: Canal Libre | 33 |
| Figura 4.1: Distancia entre edificio y la estación base..... | 37 |
| Figura 4.2: Perfil de elevación y propagación del escenario | 38 |
| Figura 4.3: Niveles de Potencias (Planta Baja) | 42 |
| Figura 4.4: Niveles de Potencias (Primer Piso) | 43 |
| Figura 4.5: Niveles de Potencias (Segundo Piso) | 44 |
| Figura 4.6: Disponibilidad de Canales (Planta Baja) | 47 |
| Figura 4.7: Disponibilidad de Canales (Primer Piso) | 48 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.8: Disponibilidad de Canales (Segundo Piso) | 49 |
| Figura 4.9: Disponibilidad acumulada de canales por piso | 50 |
| Figura 4.10: Disponibilidad acumulada de canales conjuntos (Planta Baja) | 51 |
| Figura 4.11: Disponibilidad acumulada de canales conjuntos (Primer Piso) | 52 |
| Figura 4.12: Disponibilidad acumulada de canales conjuntos (Segundo Piso) | 53 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: División del espectro radioeléctrico | 8 |
| Tabla 2.2: Parámetros básicos sistema NTSC-M..... | 14 |
| Tabla 2.3: Multiprogramación | 18 |
| Tabla 2.4: Bandas de frecuencia VHF/UHF para difusión de servicios de TV | 21 |
| Tabla 3.1: Clasificación de canales en la banda UHF-TV | 30 |
| Tabla 4.1: Parámetros de configuración..... | 38 |
| | |
| Tabla A1. 1: Clasificación de sistemas PAL | 61 |
| Tabla A1. 2: Clasificación de sistemas SECAM | 61 |
| Tabla A1. 3: Distribución de canales UHF..... | 62 |
| Tabla A1. 4: Grupos de canales para televisión | 63 |
| Tabla A1. 5: Intensidad de campo mínima | 63 |
| Tabla A1. 6: Relación de protección..... | 64 |
| Tabla A1. 7: Canalización de las bandas de radiodifusión de televisión abierta | 65 |

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del Problema

En la actualidad la tecnología inalámbrica ha ido avanzando de manera considerable, hoy en día se dispone de equipos o dispositivos inalámbricos que utilizan el espacio libre como medio de comunicación para transmitir y recibir información, de hecho, la demanda de estos va en constante aumento. De acuerdo al portal web BBC debido al uso diario de millones de dispositivos inalámbricos que usan el espectro radioeléctrico para compartir datos se está llegando a lo que se denomina como "spectrum crunch" o la saturación del espectro, lo cual ocasionaría una paralización en las redes de comunicaciones. De igual manera se cita que la demanda excesiva de datos puede producir un congestionamiento ocasionando fallos en dispositivos inalámbricos según el regulador de las comunicaciones británicas Ofcom [1].

De acuerdo al informe realizado por Cisco Visual Networking Index Mobile para el año 2020 prevén el aumento de dispositivos inteligentes, en consecuencia 5.500 millones de usuarios a escala global, es decir aproximadamente un 70% de la población mundial, dispondrán de un dispositivo móvil, provocando de esta manera un congestionamiento en los datos móviles y que se multiplique por 8 en los siguientes 5 años. [2]

“Hay un gran riesgo que el espectro de las telecomunicaciones colapse en 2020. Si no se corrige en el corto plazo, en áreas locales con una gran demanda se correrá el riesgo de que todo comience a andar muy lento” lo menciona el director de tecnología de Real Wireless, Simon Saunders [1].

La saturación del espectro radioeléctrico se produce cuando demasiados dispositivos inalámbricos funcionan en una misma banda de frecuencia a la vez este problema se presenta muy a menudo en lugares de alta concurrencia, pero debido al inminente aumento de dispositivos inteligentes en los años venideros no solo afectará a los lugares de mayor afluencia, sino que también a las zonas urbanas densas producto del aumento de tráfico de móviles. [3].

No obstante el problema de la escases de frecuencia no se limita al aumento de dispositivos inalámbricos, sino también el problema radica en la políticas actuales de asignación en las bandas de frecuencias las cuales no optan por la

explotación y uso óptimo del espectro radioeléctrico disponible, ya que la mayoría de las bandas licenciadas se encuentran infrautilizadas debido a que el tráfico en dichas bandas es muy bajo y en determinados momentos nulo, provocando así el congestionamiento en otras bandas de frecuencia. [4], [5]

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la disponibilidad de canales conjuntos en la banda de frecuencia UHF-TV al interior de un edificio previa obtención y análisis de muestras de potencias a lo largo de una semana durante 24 horas.

1.2.2 Objetivos específicos

- ❖ Realizar capturas de potencias haciendo uso de un algoritmo en Matlab mediante el receptor SDR-RTL para cada canal de la banda UHF en tres pisos diferentes: planta baja, primer piso y segundo piso.

- ❖ Determinar la potencia umbral en base al promedio de las muestras de potencias receptadas en un canal libre (potencia piso de ruido) más 4dB.

- ❖ Implementar un algoritmo para determinar la disponibilidad individual de los canales al comparar la potencia promedio ya sea de un canal analógico o digital con la potencia umbral. Así mismo determinar la cantidad de canales conjuntos disponibles.

1.3 Justificación

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado, sobre el cual el Estado es el responsable de la administración y regulación del mismo. El principal inconveniente en la actualidad de las redes de comunicaciones es el congestionamiento en el espectro radioeléctrico ya sea por el creciente aumento de dispositivos inalámbricos o por el uso ineficiente de las bandas licenciadas. Al día de hoy se disponen de algunos estudios realizados en la banda de TV para poder contrarrestar el problema de la escasez del espectro.

Actualmente se disponen de nuevos métodos o alternativas para utilizar de forma eficiente el espectro radioeléctrico, minimizando el inconveniente de la escasez de espectro citado en la problemática ya antes mencionada. El Acceso Dinámico al espectro (DSA) es una de esas alternativas, la cual nos permite seleccionar y asignar de forma dinámica los canales del espectro, mitigando así los problemas de escasez del espectro radioeléctrico aprovechando de una mejor manera y dando un óptimo uso a las bandas de frecuencia. [6]

Los sistemas con Acceso Oportunista al Espectro (OSA) conforman uno de los enfoques del Acceso Dinámico del Espectro, mediante las nociones de OSA se busca permitir que usuarios secundarios (usuarios no licenciados) pueden hacer uso de las porciones de espectro no utilizadas por usuarios primarios (usuarios licenciados) en un instante de tiempo determinado, sin interferir con los usuarios primarios. A las porciones de espectro que se encuentran sin uso, se les conoce con el nombre de espacios en blanco "White Spaces". [7]

Una de las tecnologías más conocidas y empleadas que permite el desarrollo de dispositivos con capacidad OSA es la Radio Cognitiva (RC), la cual nos permite acceder a un canal de forma compartida con usuarios primarios de una manera oportunista. [8] Existe ya un desarrollo en la investigación de las denominadas radios cognitivas. Estos dispositivos cognitivos tienen la capacidad de medir la ocupación espectral de determinadas bandas de frecuencias, determinar cuáles

no están siendo explotadas y reconfigurar dinámicamente sus parámetros de transmisión para aprovechar estos “huecos” espectrales. [4]

Un estudio realizado por docentes de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) se centra en realizar un modelado de disponibilidad de canales en la banda de televisión UHF en base a mediciones realizadas dentro de un edificio en el transcurso de una semana, para ello hicieron uso de dispositivos con capacidad OSA con el propósito de encontrar instantes de tiempos donde los canales estén disponibles; basándose en el resultado de los canales 24, 28, 34 y 43, obtuvieron una disponibilidad de 14, 28, 36 y 180 segundos respectivamente con una probabilidad de éxito del 87 %, con lo cual el canal 43 es el más indicado para aprovechar esa disponibilidad temporal. [9]

Por otro lado, una tesis de la universidad de Loja, basa su estudio en identificar white spaces sobre las bandas VHF y UHF (58 MHz – 686 MHz) para el uso de redes inteligentes de radio cognitiva, el análisis lo realizan en seis parroquias de la ciudad de Loja que se consideran urbanas, para determinar la cantidad del espectro ocupado utilizaron un analizador de espectro ayudándose de una antena discone y un ordenador portátil.

El resultado obtenido para el rango de frecuencia mencionado en las seis parroquias fue en promedio de 44 % a 77 % de disponibilidad espectral, dando como conclusión una alta disponibilidad lo que además conlleva a que el espectro se encuentra infrautilizado. [10]

1.4 Metodología

El propósito de este trabajo es determinar la disponibilidad temporal y espacial de canales conjuntos que trabajan sobre la banda UHF-TV, para ello se dispone de capturas de potencias al interior de tres pisos diferentes de un edificio, las mediciones se realizan durante una semana (5 días) ininterrumpida por 24 horas, esto se logra a través de algoritmos implementados en Matlab, además de un dispositivo que funciona como receptor de señales llamado SDR-RTL conectado a un computador portátil.

La banda UHF es la más adecuada para interiores debido a sus características de propagación, con lo cual se opta por usar UHF en lugar de VHF; por lo tanto, el rango de estudio es de 512 MHz a 698 MHz, estos valores comprenden toda la banda UHF, dichos valores deben ser establecidos en la configuración del SDR-RTL para que solo admita potencias de estos intervalos.

Los algoritmos implementados en Matlab a utilizar son dos: el primero permite capturar los niveles de potencias al interior del edificio previa su correspondiente configuración, mientras que el segundo algoritmo se encargará de determinar la disponibilidad de canales y la cantidad de canales adyacentes disponibles.

Para determinar si un canal está disponible o no primero se debe conocer si el canal posee una señal analógica o digital, esto se consigue a través de la base de datos que se genera en un archivo de excel por parte del algoritmo de captura de potencias, lo que se hace es realizar un barrido de todas las muestras por canal y graficarlo, de esta manera se verifica el tipo de canal; una vez clasificados los canales analógicos y digitales en la banda UHF-TV y dependiendo del tipo de canal el segundo algoritmo utiliza un método para encontrar una potencia de canal la cual será comparada con la potencia umbral, si la potencia del canal es menor que la potencia umbral el canal estará disponible de lo contrario estará ocupado.

1.5 Alcance

El proyecto tiene como finalidad determinar la disponibilidad en canales conjuntos al interior de un edificio para ello se hace uso de la banda de frecuencia UHF la cual es adecuada para este tipo de escenarios.

El alcance varía dependiendo de la ubicación del edificio; pero el comportamiento al final es el mismo, es decir la mayor concentración de canales individuales o conjuntos disponibles para hacer uso de otras tecnologías se encuentran en los niveles inferiores; ya que allí la señal es propensa a encontrarse con más obstáculos; por tanto, existe mayor deterioro en la señal produciendo pérdida de potencia y a su vez disponibilidad.

El patrón de disponibilidad de los canales se estima en base a los datos empíricos obtenidos durante la recolección de potencias en el transcurso de una semana por 24 horas; para ello se hace uso de algoritmos implementados en Matlab además de un dispositivo receptor SDR-RTL conectado a un computador personal.

Finalmente, de acuerdo a la ubicación del edificio donde se realizaron las pruebas el cual consta de tres pisos, se tiene como resultado que la planta baja posee mayor afluencia de canales disponibles en diferentes instantes de tiempo, obteniendo un valor de 24 MHz y 96 MHz de espectro de frecuencia mínimo y máximo respectivamente para hacer uso de nuevas tecnologías que requieran de esta cantidad de espectro.

CAPITULO 2

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Ondas Electromagnéticas

[11] Una onda electromagnética es la propagación del campo eléctrico y magnético al mismo tiempo produciendo una carga eléctrica que se encuentra en movimiento, [12] las ondas electromagnéticas estas conformadas por un campo eléctrico y uno magnético perpendiculares entre sí, además al propagarse en el vacío alcanzan la velocidad de la luz ($3 * 10^8 \text{ mts}/\text{seg}$), las propiedades más comunes en las ondas electromagnéticas son: amplitud, longitud y frecuencia.

2.1.1 Clasificación de las ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas de menor a mayor frecuencia se clasifican en: Ondas de Radio, Microondas, Infrarrojo, Luz visible, Rayos ultravioleta, Rayos X y Rayos Gama que van desde el rango de frecuencia de 10^3 Hz hasta 10^{20} Hz aproximadamente.

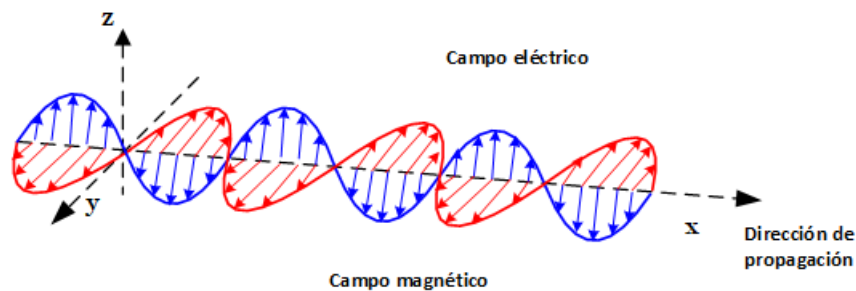


Figura 2.1: Onda electromagnética [12]

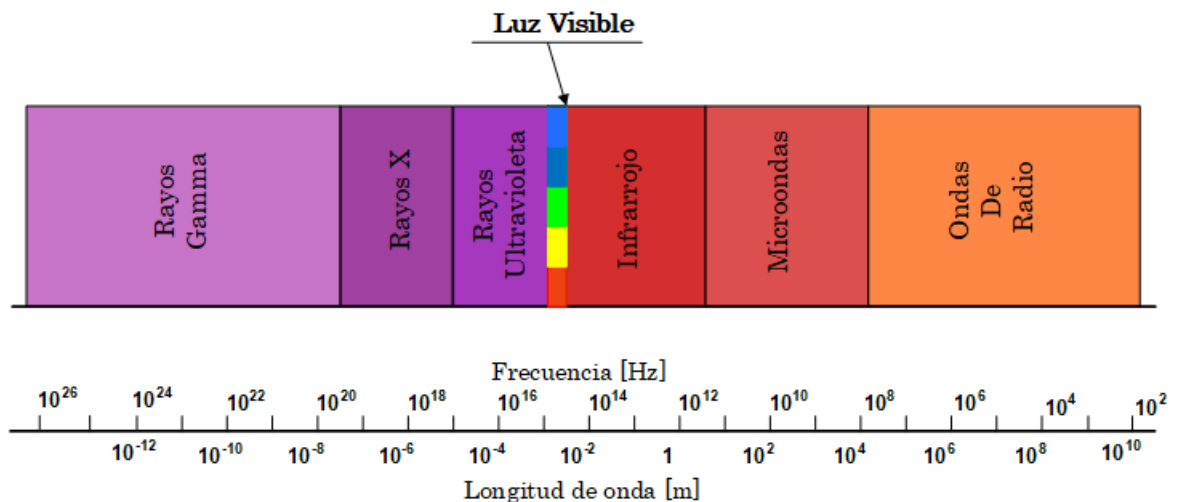


Figura 2.2: División del espectro electromagnético [11].

Actualmente se utiliza las ondas electromagnéticas para la transmisión de información por medios guiados (cobre, cable coaxial, fibra óptica, etc.) y por medios no guiados (aire o vacío). La propagación de ondas electromagnéticas a través de medios no guiados en telecomunicaciones se denomina radiocomunicación o comunicación inalámbrica. Por lo cual a esta porción o subconjunto del espectro electromagnético se le conoce como espectro radioeléctrico [11]. La división del espectro radioeléctrico se muestra a continuación en la Tabla 2.1.

| SIGLA | DENOMINACIÓN | RANGO DE FRECUENCIA (Hz) | LONGITUD DE ONDA (Metros) |
|--------------|--|---------------------------------|----------------------------------|
| VLF | VERY LOW FRECUENCIES (Frecuencias muy bajas) | 10 KHz – 30 KHz | 30000 - 10000 |
| LF | LOW FRECUENCIES (Frecuencias bajas) | 30 KHz – 300 KHz | 10000 - 1000 |
| MF | MEDIUM FRECUENCIES (Frecuencias medias) | 300 KHz – 3 MHz | 1000 - 100 |
| HF | HIGH FRECUENCIES (Frecuencias altas) | 3 MHz – 30 MHz | 100 - 10 |
| VHF | VERY HIGH FRECUENCIES (Frecuencias muy altas) | 30 MHz – 300 MHz | 10 - 1 |
| UHF | ULTRA HIGH FRECUENCIES (Frecuencias ultra altas) | 300 MHz – 3 GHz | 1 – 0.1 |
| SHF | SUPER HIGH FRECUENCIES (Frecuencia súper altas) | 3 GHz – 30 GHz | 0.1 – 0.01 |
| EHF | EXTRA HIGH FRECUENCIES (Frecuencias extra altas) | 30 GHz – 300 GHz | 0.01 – 0.001 |

Tabla 2.1: División del espectro radioeléctrico

2.2 Acceso Dinámico al Espectro

[13] Debido al rápido crecimiento en dispositivos inalámbricos, la escasez y subutilización del espectro radioeléctrico han motivado al uso del modelo de acceso dinámico al espectro (DSA), [14] DSA se define como un grupo de técnicas empleadas para acceder al espectro radioeléctrico dependiendo del comportamiento, la banda de frecuencia que se desea acceder y arquitectura de red.

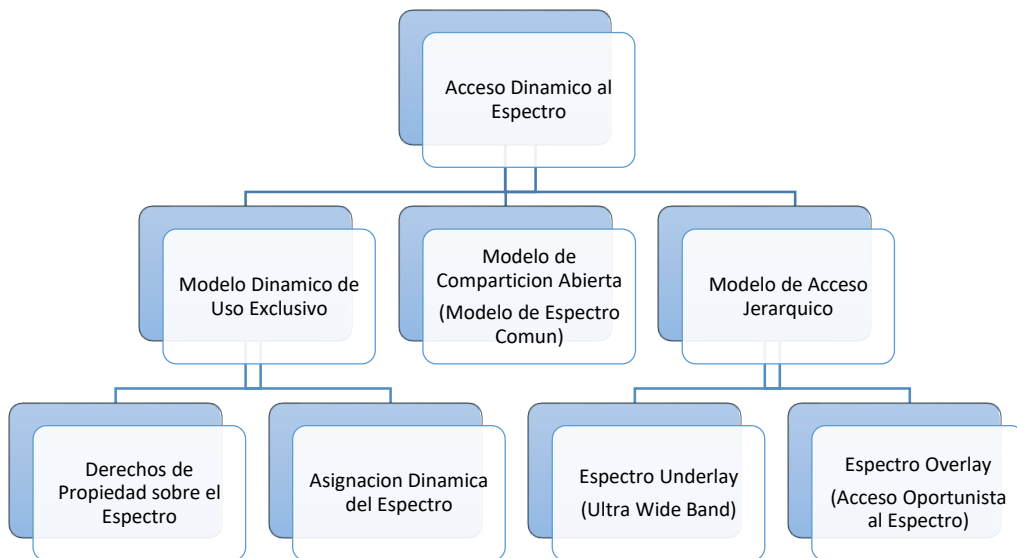


Figura 2.3: Clasificación del Acceso Dinámico al Espectro [24].

2.2.1 Modelo Dinámico de Uso Exclusivo

[24] Este método conserva la estructura básica de la política común para la regulación del espectro, las bandas de frecuencia se otorgan bajo licencia para servicios de uso exclusivo con la finalidad de introducir flexibilidad para mejorar la eficiencia del espectro, 2 enfoques han sido propuestos para este modelo:

- ❖ Derechos de propiedad del espectro. - se expresa como el derecho a transmitir, alquilar o subcontratar sobre la banda del espectro concesionado a ellos, siempre y cuando las señales no excedan una intensidad específica más allá de los límites geográficos especificados durante el período de tiempo especificado, sin embargo, este método no está permitido por las entidades reguladoras.
- ❖ Asignación Dinámica del espectro. - se basa en mejorar la eficiencia del espectro a través de las estadísticas del tráfico de tiempo y espacio compartiendo el espectro entre servicios de radio coexistentes.

2.3 Modelo de Compartición Abierta

También conocido como Modelo de espectro común, este modelo emplea la compartición abierta entre usuarios iguales en base a un administrador de espectro regional, los defensores de este modelo sostienen que el éxito fundamental se debe a que los servicios inalámbricos operan en la banda no licenciada ISM como por ejemplo WIFI. [24]

2.3.1 Modelo de Acceso Jerárquico

Este modelo [24] es construido en base a una estructura jerárquica de acceso con usuarios primarios (PU) son usuarios licenciados cuya banda de frecuencia es concedida por la entidad regulatoria correspondiente. y usuarios secundarios (SU) los cuales operan en la banda no licenciada ISM. Se considera a este modelo como un híbrido de los dos anteriormente mencionados, La idea básica es permitir el acceso al espectro licenciado a los usuarios secundarios y limitar la interferencia percibida por los usuarios primarios, se consideran dos tecnologías de este modelo para la compartición del espectro.

2.3.2 Espectro Underlay

El espectro Underlay o también denominado Ultra Wide Band (UWB) en español Ultra Banda Ancha, consiste en operar en la misma banda de frecuencia que los usuarios primarios, con la condición de regular su densidad de potencia para causar interferencia por debajo de los límites permitidos y no afectar a los usuarios primarios [24]. Es decir que una radiocomunicación de baja potencia puede coexistir en el mismo canal de frecuencia con una radiocomunicación de alta frecuencia siempre y cuando se respeten los límites establecidos de interferencia. [31] La señal de transmisión que se utiliza en este tipo de tecnología ocupa un amplio ancho de banda en compensación a la baja densidad espectral de potencia.

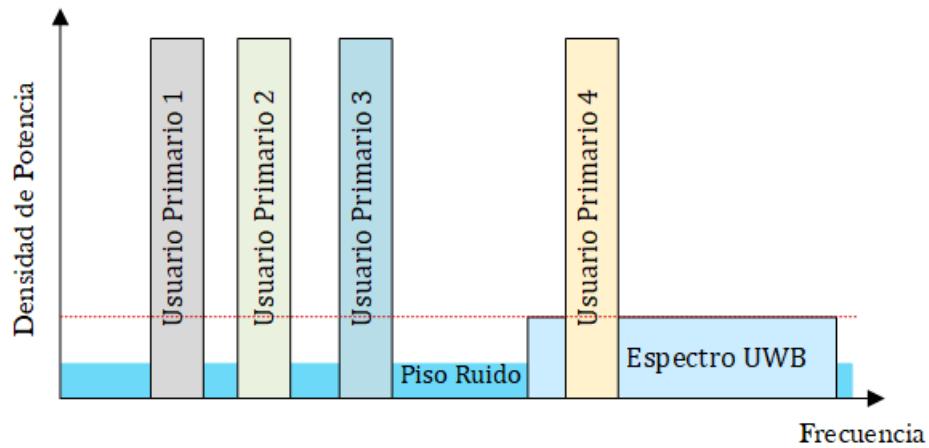


Figura 2.4: Espectro Underlay. [31]

2.3.3 Espectro Overlay o Acceso Oportunista al espectro

También conocido como acceso oportunista al espectro (OSA), tiene como objetivo que los usuarios secundarios puedan hacer uso de los canales de frecuencias de los usuarios primarios siempre y cuando no estén siendo utilizados por los mismos, esto se consigue cuando los usuarios secundarios explotan las oportunidades espectrales que se presentan en el tráfico de los usuarios primarios tanto en dominio espacial como temporal, es decir que mientras una banda de frecuencia de un usuario primario esté disponible en determinado tiempo o espacio, los usuarios secundarios pueden acceder a ella hasta que nuevamente sea requerida por el usuario primario [24].

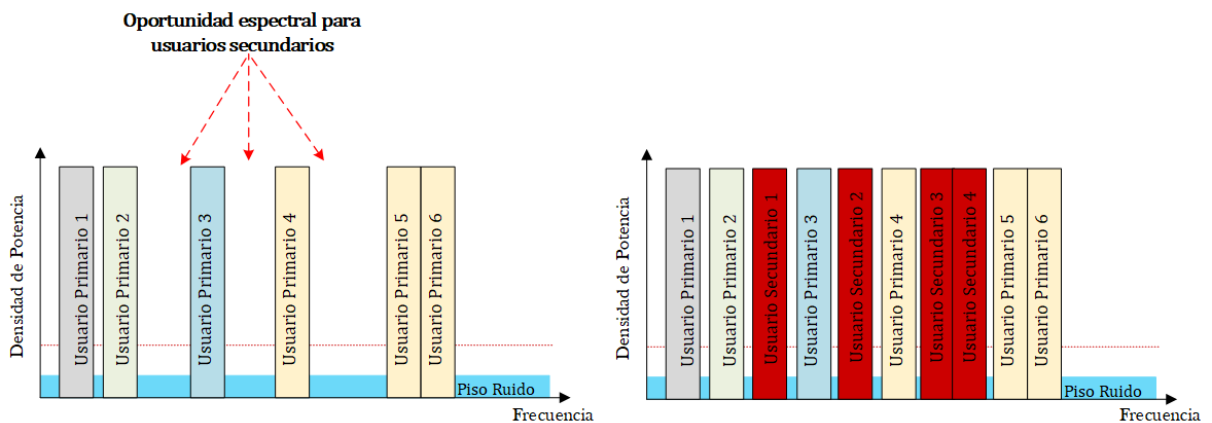


Figura 2.5: Espectro Overlay. [31]

2.4 Radio Cognitiva

Es una alternativa de las comunicaciones inalámbricas en la que un transmisor o receptor inteligente detecta canales disponibles y ocupados, pasando de manera instantánea a los canales disponibles saltándose los que están siendo utilizados. De esta manera se logra un óptimo uso del espectro radioeléctrico con esto la interferencia entre usuarios es reducida considerablemente. Los sistemas de radio cognitivo se encargan de variar los parámetros en la transmisión y recepción sin afectar a los usuarios primarios logrando así ejecutar su cometido de forma eficiente. La variación de parámetros tales como el espectro de radiofrecuencia, el comportamiento del usuario y el estado de la red se elige en base a el entorno interno como externo de la radio cognitiva. [15]

2.5 TV White Space

Los Espacios en blanco o White Space son aquellas porciones del espectro de radio que los usuarios primarios no utilizan ya sea en determinado tiempo o ubicación geográfica. Los TV White Space, en español Espacios en blanco en Televisión se les conoce de esta manera por el hecho de que las porciones de espectro que están disponibles se encuentran en la banda de frecuencia de Televisión VHF y UHF (tanto analógico como digital), generalmente en la banda UHF las cuales poseen características de propagación muy ventajosas para la comunicación inalámbrica [16].

2.6 Sistema de Televisión Analógicos a Color

[25] En actualidad a nivel mundial existen tres tipos de sistemas o “normas” esenciales para transmitir las señales de televisión analógica a color:

- ❖ NTSC (National Television System Committee) fue desarrollado en Estados Unidos y utilizado en 1954, este sistema es usado en la mayoría de países del continente americano excepto Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Asimismo, es utilizado también en Japón. [26]
- ❖ PAL (Phase Alternation Line) [26] fue desarrollado en Alemania y utilizado en 1967, los países que adoptan este estándar en su mayoría son: africanos, asiáticos y europeos, “además de Australia y algunos países europeos”. [27].

- ❖ SECAM (Sequential Couleur Avec Memoire) [26] fue desarrollado en Francia y utilizado en 1967, algunos países en adoptar este sistema son: Arabia Saudita, Egipto, Libia, Marrueco entre otros. [28].
- ❖ Estos tres estándares o sistemas son incompatibles entre sí, además existen variaciones entre los sistemas PAL y SECAM las cuales se explican de forma detallada en la parte de **ANEXOS**.

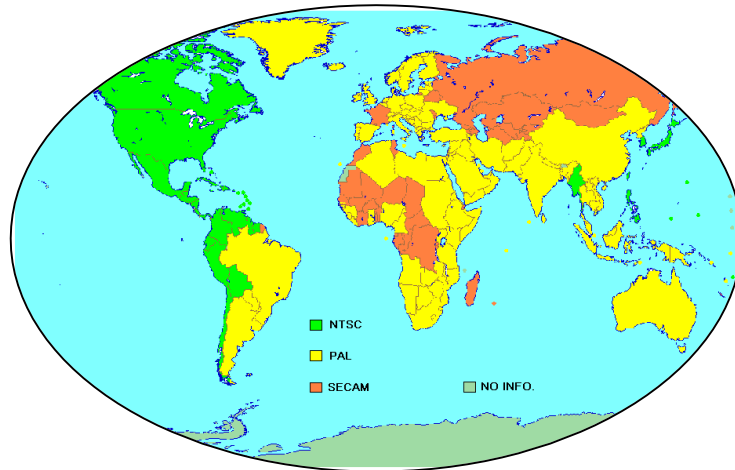


Figura 2.6: Sistemas de Televisión a color en uso a nivel mundial [29]

2.6.1 Sistema de Televisión analógico utilizado en Ecuador

Como se menciona anteriormente el sistema de televisión que utilizan la mayoría de los países del continente americano es el NTSC, por lo tanto, para la transmisión de televisión de canales analógicos en Ecuador [19] “se establece el sistema M/NTSC de 525 líneas, con las características técnicas que establece la UIT y complementariamente de la Federal Communications Commission (FCC)”, además que el ancho de banda necesario de un canal de televisión es 6 MHz. Los parámetros básicos correspondientes al sistema NTSC-M se muestran a continuación en la Tabla 2.2.

| Parámetros Básicos | NTSC-M (americano) |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Líneas | 525 |
| Campos por segundo | 60 |
| Frecuencia Horizontal | 15.732 MHz |
| Frecuencia Vertical | 60 Hz |
| Frecuencia de la portadora de Color | 3.579545 MHz |
| Ancho de banda de video | 4.2 MHz |
| Portadora de sonido | 4.5 MHz (FM) |
| Ancho de banda del canal | 6 MHz |

Tabla 2.2: Parámetros básicos sistema NTSC-M [26]

Un canal de televisión en el sistema NTSC está compuesto por tres señales portadoras. La portadora de imagen o luminancia, donde se encuentra la imagen en blanco y negro. La portadora de color o crominancia que como su nombre lo dice se encuentra la combinación de colores de la respectiva imagen y por último la portadora de audio o sonido. [18]

Además de apreciar en la Figura 2.7 que la portadora de imagen se encuentra a 1.25 MHz del límite inferior del canal, por otro lado, la separación que existe entre la portadora de imagen y la portadora de color es de 3.58 MHz aproximadamente, también se observa una separación entre la portadora de imagen y la portadora de audio de 4.5 MHz y por último la portadora de audio está a 0.25 MHz del límite superior del canal de televisión. Tanto la portadora de imagen como la portadora de color utilizan la modulación AM haciendo uso de la técnica vestigial, por otro lado, la portadora de audio utiliza modulación FM [30].

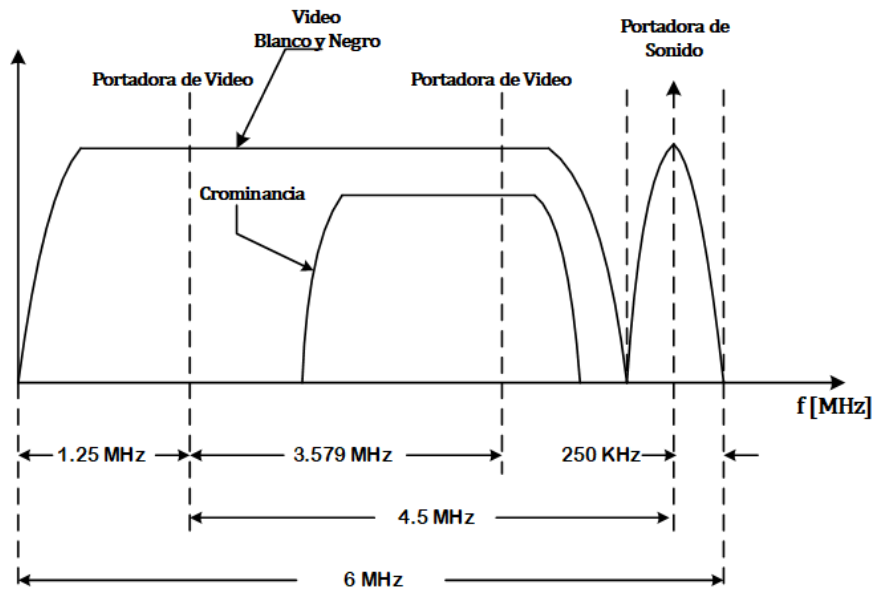


Figura 2.7: Señal de televisión del sistema NTSC-M [30]

2.7 Sistema de Televisión Digital Terrestre

La televisión digital terrestre (TDT) representa un gran avance en el ámbito de la televisión abierta, ya que dispone de una gran flexibilidad en la programación como los servicios proporcionados a los usuarios, además de contar con una mejora muy notable en la calidad de la señal que se transmite [32]. Además, la introducción de tecnologías digitales conlleva a un manejo eficiente del espectro radioeléctrico por la razón de que el ancho de banda usado en la transmisión de un programa de televisión analógica puede ser aprovechado para transmitir hasta cuatro programas de televisión con la misma calidad (SDTV) o bien dos programas en alta definición (HDTV – 720p) o un solo programa en alta definición (HDTV – 1080i) haciendo uso de la tecnología digital [33]. Es por esta razón que en la mayoría de países se realizó la migración de televisión analógica a Digital, mientras que los países restantes se encuentran en periodo de transición o prueba.

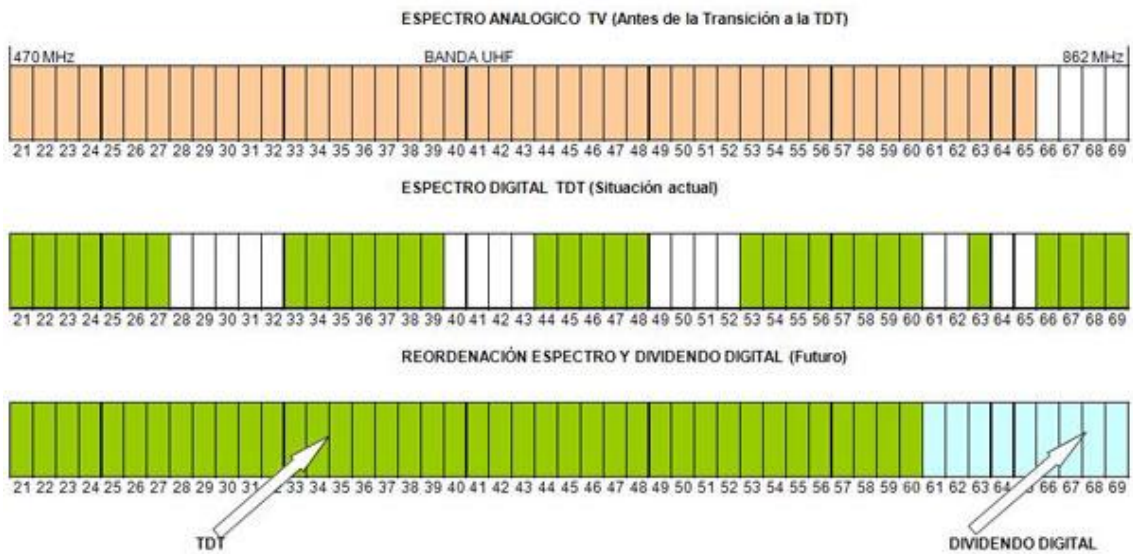


Figura 2.8: reasignación del espectro en la banda de 470-862 MHz después del uso de TDT [33]

2.7.1 Estándares de Transmisión en Televisión Digital

En la actualidad se dispone de 4 estándares de televisión digital los cuales son: **ATSC** (“*Advanced Television Systems Committee*”) que fue el primer sistema digital desarrollado en Estados Unidos, el **DVB-T** (“*Digital Video Broadcasting Terrestrial*”) desarrollado y empleado en Europa, por otro lado, en Japón se desarrolló el estándar **ISDB-T** (“*Integrated Services Digital Broadcasting*”) y por último en la República de China el estándar **DTMB** (“*Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting*”) [34].

[32] Así mismo en Brasil se basaron en el estándar ISDB-T el cual lo adaptaron de acuerdo a características de transmisión en Latinoamérica, logrando así el estándar **ISDB-Tb** (“*Integrated Services Digital Broadcasting brasilero*”) el cual ya está siendo adoptado por algunos países de Latinoamérica.

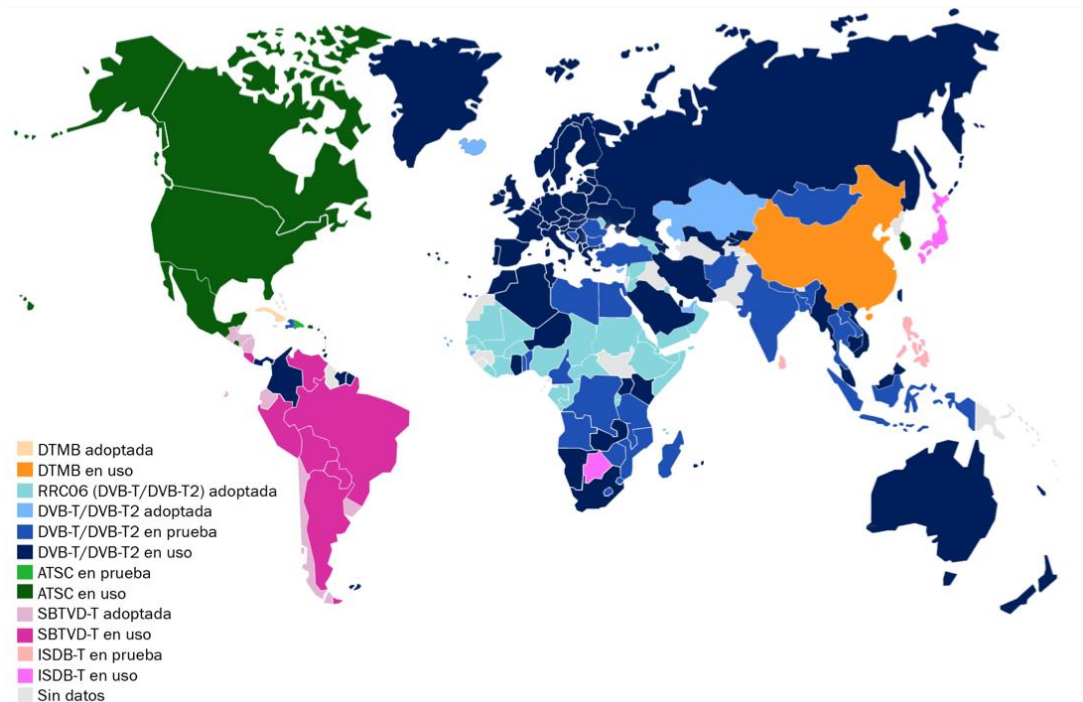


Figura 2.9: Distribución de los Estándares Digitales en uso a nivel mundial [32]

2.7.2 Beneficios de la Televisión Digital

Es importante destacar algunos de los beneficios que nos ofrece la televisión digital con respecto a su antecesora, la televisión analógica.

2.7.3 Imagen y sonido

Primeramente [32] se dispone de una mejora en la calidad de la imagen recibida destacando una mayor resolución y nitidez de la misma, ya que al realizar la transmisión digital la cual utiliza métodos de digitalización y compresión de la señal, se evita problemas tales como interferencias o ruidos, que se presentaban en la transmisión analógica al momento de realizar la difusión de la señal por el medio inalámbrico (aire). Además, la transmisión digital se realiza en formato 16:9 (panorámico) esto quiere decir que la proporción de la imagen recibida tendrá un mayor ancho en comparación a la imagen de la televisión analógica (formato 4:3).

El sonido también tendrá una mejora evidente ya que la televisión digital contara con una calidad de audio similar al utilizado en equipos sofisticados, en otras palabras, se dispondrá de sonidos realistas y envolventes (surround y home theater), esto se debe a que se aumentara la cantidad de canales de

audio, a diferencia de la televisión analógica que utilizaba uno (mono) y hasta dos canales de audio (stereo) [32].

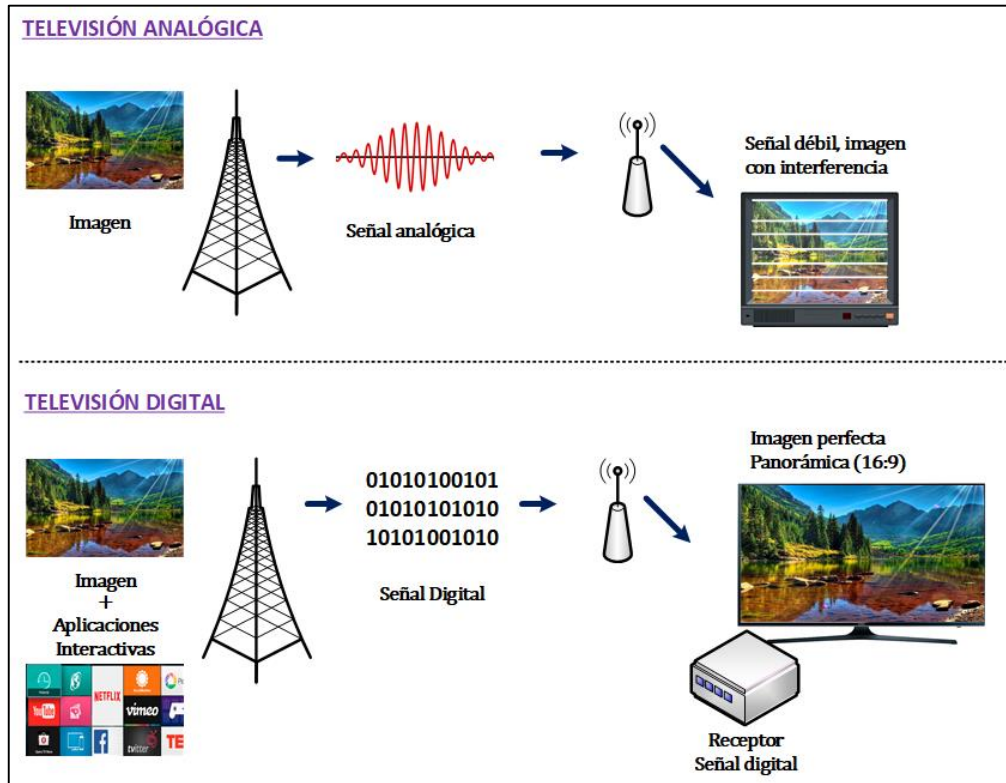


Figura 2.10: Diferencia entre señal analógica y señal digital

2.7.4 Mayor cantidad de Canales

Como ya hemos mencionado anteriormente, en la televisión analógica se utiliza un ancho de banda de 6 MHz, por otra parte, al hacer uso de técnicas para la transmisión digital se puede aprovechar de mejor manera ese ancho de banda disponible y transmitir más canales de televisión por el mismo. Dando paso a que la cantidad de canales en la televisión digital aumente.

| | | | |
|--------------|------|-------------|------|
| HDTV (1080i) | | | |
| HDTV (720p) | | HDTV (720p) | |
| HDTV (720p) | | SDTV | SDTV |
| SDTV | SDTV | SDTV | SDTV |

Tabla 2.3: Multiprogramación

La tabla 2.3 muestra la cantidad de canales disponibles en la televisión digital terrestre para un ancho de banda de 6 MHz dependiendo del tipo de resolución y calidad de la imagen a transmitirse.

2.7.5 Interactividad y Movilidad

Otro de los beneficios de la televisión digital es la variedad de acciones a las que se podrá acceder mientras se observa un determinado programa de televisión, es decir que además de visualizar programas, el televidente también tiene acceso a internet, consultar la guía de programación diaria, consultar servicios públicos como pronóstico climático, información del tráfico, compras por internet, publicidad, etc.

En cuanto a la movilidad o portabilidad en la televisión digital, esta también será posible a través de dispositivos móviles, esto quiere decir que mientras los usuarios se encuentren en movimiento siempre y cuando estén en el radio de cobertura de la señal, podrán visualizar sin inconvenientes su programación favorita desde su Smartphone, Tablet o laptop [32].

2.7.6 Estándar de TDT a utilizar en Ecuador

En el Ecuador se prevé que la transición de la televisión analógica a digital se realizara a partir del 2018, ya que el ministerio de Telecomunicaciones tiene como objetivo que el 90 % de la población esté lista para recibir este cambio. En cuanto al estándar a utilizarse en Ecuador, se adoptará el estándar japonés (ISDB-T) [35].

Es preciso que, para la transición hacia la televisión digital, la población debe contar con antenas aptas para captar las señales digitales y televisores que tengan adaptado el estándar japonés, De no contar con los últimos tendrán que hacer uso de un decodificador para poder convertir la señal de televisión digital a analógica y hacer uso de sus televisores analógicos [36].

De acuerdo con [23] para el servicio de televisión digital terrestre serán utilizadas las bandas de frecuencia UHF.

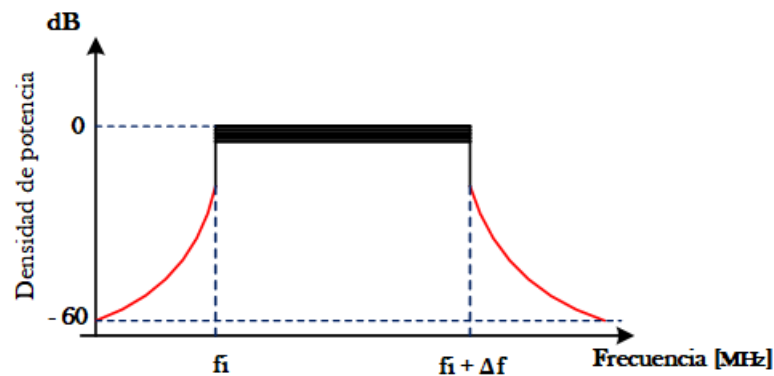


Figura 2.11: Espectro de Transmisión estándar ISDB-T.

2.7.7 Servicio de Radiodifusión de Televisión abierta y plan de distribución de canales en Ecuador

En el espectro radioeléctrico se consideran dos bandas de frecuencia VHF y UHF, las cuales por sus características de propagación se utilizan para la difusión de servicios de televisión. [22] El uso de las bandas VHF y UHF depende de la situación, en el caso de las bandas VHF funcionan mejor en espacios abiertos en los cuales existan menos medios que obstruyan la señal, por otra parte, las bandas de UHF se utiliza en lugares cerrados tales como interiores o espacios con mucha interferencia (edificios o construcciones pequeñas), además de que la banda UHF se consideran más populares y económicas.

[19],[23] “De acuerdo a la norma técnica para el servicio de radiodifusión de televisión abierta dispuesta por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL)”, basado en recomendaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y realidad nacional, se establecen los intervalos de frecuencia VHF y UHF para la distribución y asignación de canales con la finalidad de prestar servicios de radiodifusión de televisión abierta analógica y digital en el Ecuador, como se muestra en la Tabla 2.4.

| Banda de Frecuencias | No. Banda | Rango de Frecuencias MHz |
|----------------------|-----------|--------------------------|
| VHF | Banda I | 54 - 72 |
| | | 76 - 88 |
| | Banda III | 174 - 216 |
| UHF | Banda IV | 470 - 482 |
| | | 512 - 608 |
| | | 614 - 644 |
| | Banda V | 644 - 698 |

Tabla 2.4: Bandas de frecuencia VHF/UHF para difusión de servicios de TV.

2.8 Interferencias en Canales de Televisión Abierta.

Las interferencias en radiocomunicaciones se producen al momento en que las señales viajan del transmisor al receptor, debido a que las señales se transmiten en el medio de propagación que es el aire, por lo cual estas señales están expuestas tanto a otro tipo de señales radioeléctricas, ruido, obstáculos, perturbaciones, etc. Lo cual provoca que la señal resultante que llega al receptor se vea alterada, modificada o destruida, provocando a su vez que la información receptada sea errónea o imprecisa.

Las interferencias más importantes que se debe considerar a mitigarse, para brindar tanto protección al usuario como una alta calidad de servicio en el uso de tecnologías de Radio cognitiva son: Interferencias co-canal e Interferencias Adyacentes [37].

2.8.1 Interferencia Co-canal

Este tipo de interferencia se produce al existir varios transmisores (señales) que ocupan la misma banda de frecuencia [37], en [38] menciona que al operar dos usuarios de celdas diferentes separados a cierta distancia, pero que utilizan la misma frecuencia de trabajo generan interferencia co-canal, pero esta puede ser corregida al mantener una diferencia en cuanto a los niveles de potencia de cada celda.

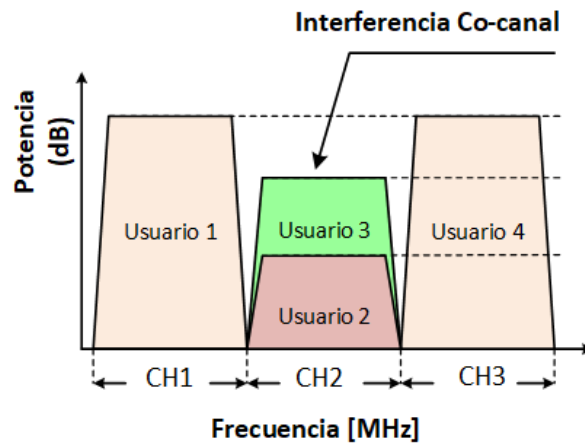


Figura 2.12: Interferencia Co-canal.

2.8.2 Interferencia Adyacente

La interferencia adyacente se produce cuando existe fuga de potencia entre los canales adyacentes [37], es decir cuando una parte de la potencia de un canal se sobrepone con la de su canal contiguo (ver Figura 2.13). [38] plantea que para evitar este inconveniente se utilizan bandas de guardas (bandas de frecuencia que separan a los canales adyacentes y no interfieren en el funcionamiento de los mismos) entre los canales de frecuencias.

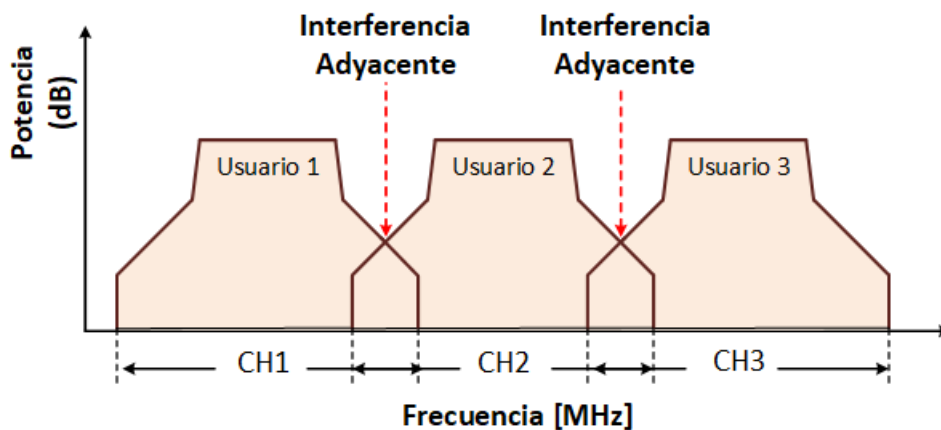


Figura 2.13: Interferencia entre canales Adyacentes

CAPÍTULO 3

3 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO Y METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

El propósito de este capítulo consiste en detallar tanto el lugar de trabajo donde se receptaron los datos de las mediciones, como los instrumentos y procedimientos a utilizar, que a su vez sirven para establecer la disponibilidad de canales de frecuencia conjuntos que operan en la banda UHF de televisión.

3.1 Escenario

El proceso para la toma de datos se realizó en un condominio ubicado en la urbanización Acuarela del rio (Mz. 8 Villa 13), la urbanización se considera una zona urbana densa debido al gran número de edificios, negocios y personas que transitan en este entorno, por lo cual es un lugar preciso para observar el comportamiento del espectro radioeléctrico en la banda de frecuencia UHF, poniendo a prueba la calidad e intensidad de la señal recibida que será afectada tanto por la posición de la antena transmisora con respecto a la antena receptora como también la cantidad de obstáculos que deberá atravesar para llegar a su cometido (Receptor); además de contar con una gran cantidad de señales interferentes de equipos inalámbricos en el canal de propagación de la señal, En la figura 3.1 se muestra visualmente lo mencionado con anterioridad.

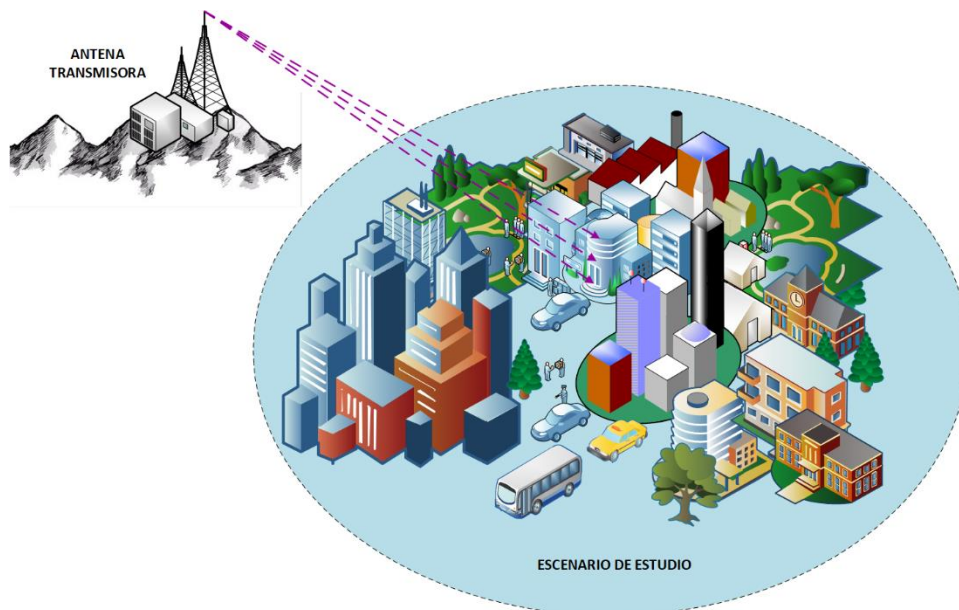


Figura 3.1: Escenario de estudio

En cuanto a la banda de frecuencia a utilizar como se ha mencionado anteriormente será la banda de frecuencia UHF-TV que va desde 512 MHz – 698 MHz , con un ancho de banda BW , el cual estará dividido en N canales de televisión como se muestra en la Figura 3.2, sabiendo que un canal de televisión analógico o digital ocupa un ancho de banda de $BW_{CH} = 6 \text{ MHz}$ en el espectro de frecuencia, por ende dispondremos de una cantidad de 31 canales.

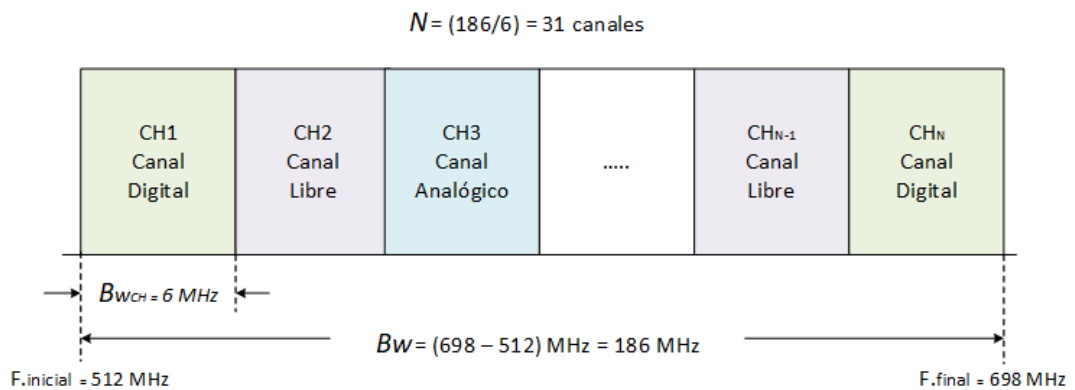


Figura 3.2: Banda UHF – TV División de canales

Los canales disponibles o libres en determinados instantes de tiempos son los que se utilizarán como objetivo de análisis en el criterio de acceso oportunista al espectro (OSA) para este trabajo.

Los equipos necesarios para el proceso de toma de datos de potencia, se encontrarán ubicados en 3 pisos diferentes, Planta Baja (PB), Piso 1 (P1) y Piso 2 (P2), posicionados de igual manera con respecto a los demás pisos (véase figura 3.3), además se debe tener en cuenta que debido a que la señal penetrará diferentes tipos de estructuras tales como: ventanas, puertas y demás obstáculos; por consiguiente, la señal recibida se verá atenuada.

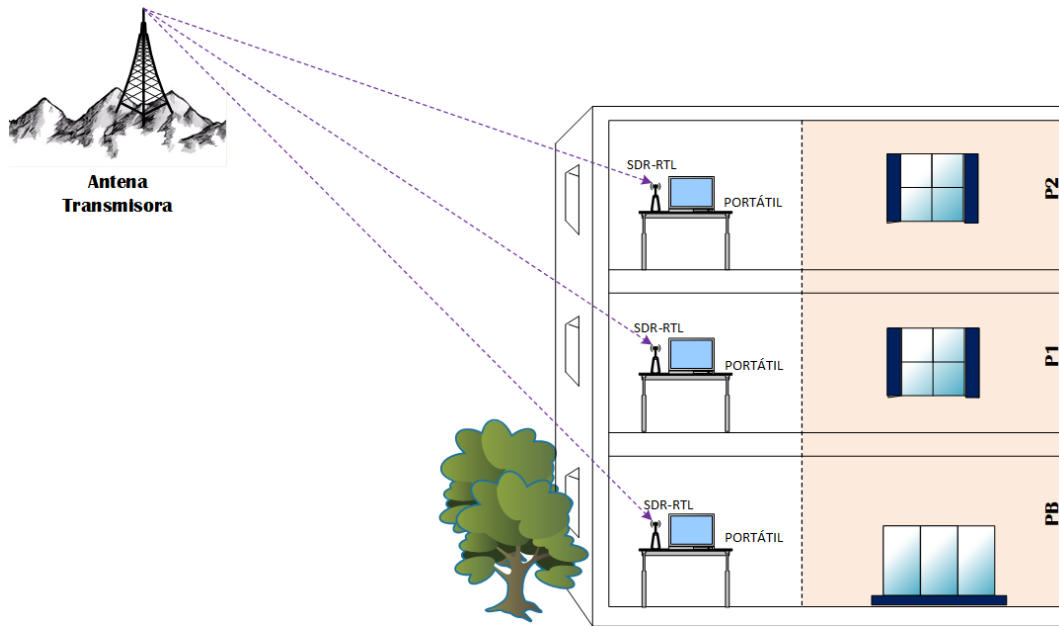


Figura 3.3: Recepción de Potencia en los diferentes niveles del edificio

3.2 Metodología

En esta parte del documento se explica brevemente los pasos para realizar las mediciones de potencia en los diferentes canales de la banda UHF-TV licenciada, para así obtener disponibilidad para los usuarios secundarios (SU) en intervalos de tiempo, en el cual los usuarios primarios (PU) no estén haciendo uso de estos canales, como se mencionó en el capítulo 2.

Los dispositivos de medición utilizados en los diferentes niveles del edificio se muestran en la figura 3.4

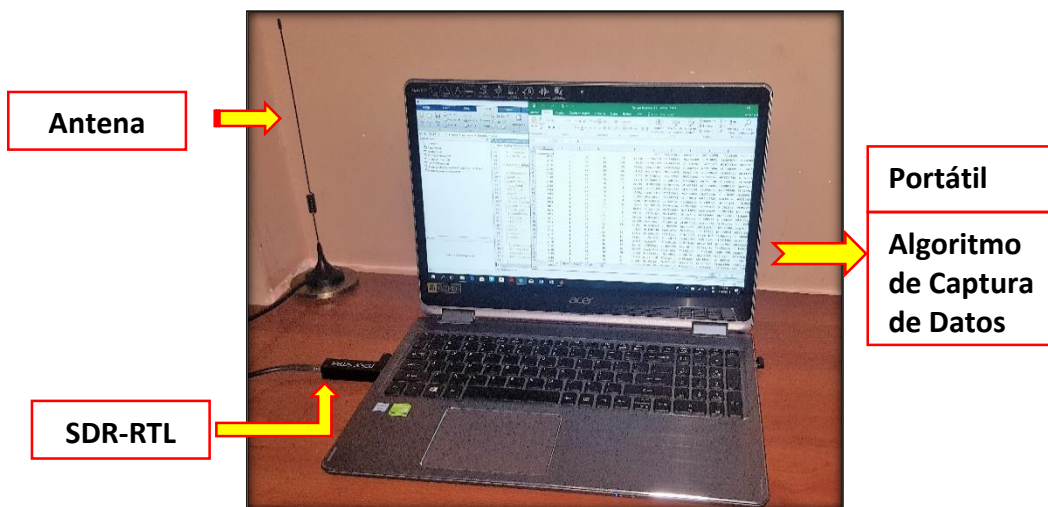


Figura 3.4: Equipo de medición

3.2.1 Descripción del proceso de disponibilidad de Canales

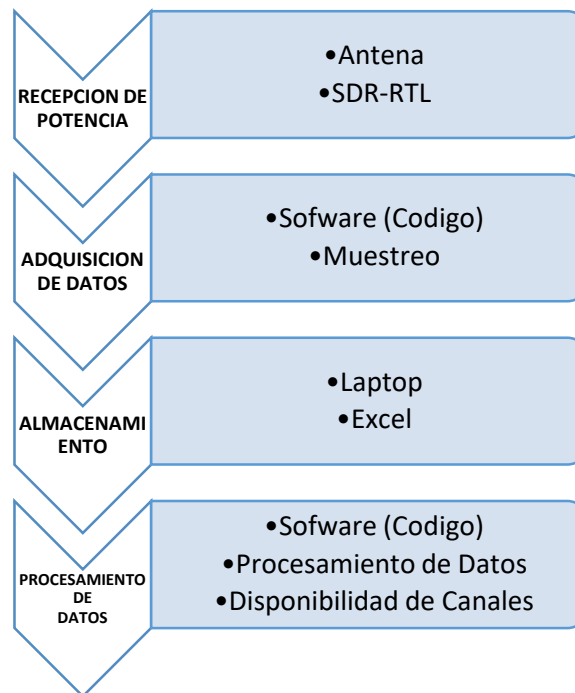


Figura 3.5: Diagrama de bloque del proceso de medición.

3.2.2 Recepción de potencia

En la etapa de Recepción de potencia, se dispone del dispositivo o receptor SDR-RTL el cual consta de una antena de aluminio y acero, además de un receptor USB de bajo coste, que utiliza el chip rtl2832u el cual puede recibir señales de televisión digital terrestre y radio digital, esta etapa se encargara de recibir las señales que se encuentran viajando en el medio y que pertenezcan a la banda UHF-TV.

3.2.3 Adquisición de datos y Almacenamiento

Por otro lado en la etapa siguiente que corresponde a la adquisición de datos, se dispone de un algoritmo iterativo diseñado mediante el entorno de desarrollo y programación llamado MATLAB, en el cual se establecen previamente en el algoritmo los parámetros a configurar para permitir que el dispositivo USB SDR-RTL capte solo señales de potencias ubicadas en la banda de frecuencia UHF, además de asignar los valores de frecuencia inicial ($f_{inicial}$), frecuencia final (f_{final}), frecuencia de muestreo (f_s), numero de muestras ($N_{muestras}$) recolectadas cada cierto periodo de tiempo, intervalo de guardado (S_i) de los

archivos en excel, como también la potencia receptada en cada valor de frecuencia, el funcionamiento del algoritmo de medición se describe en la figura 3.6

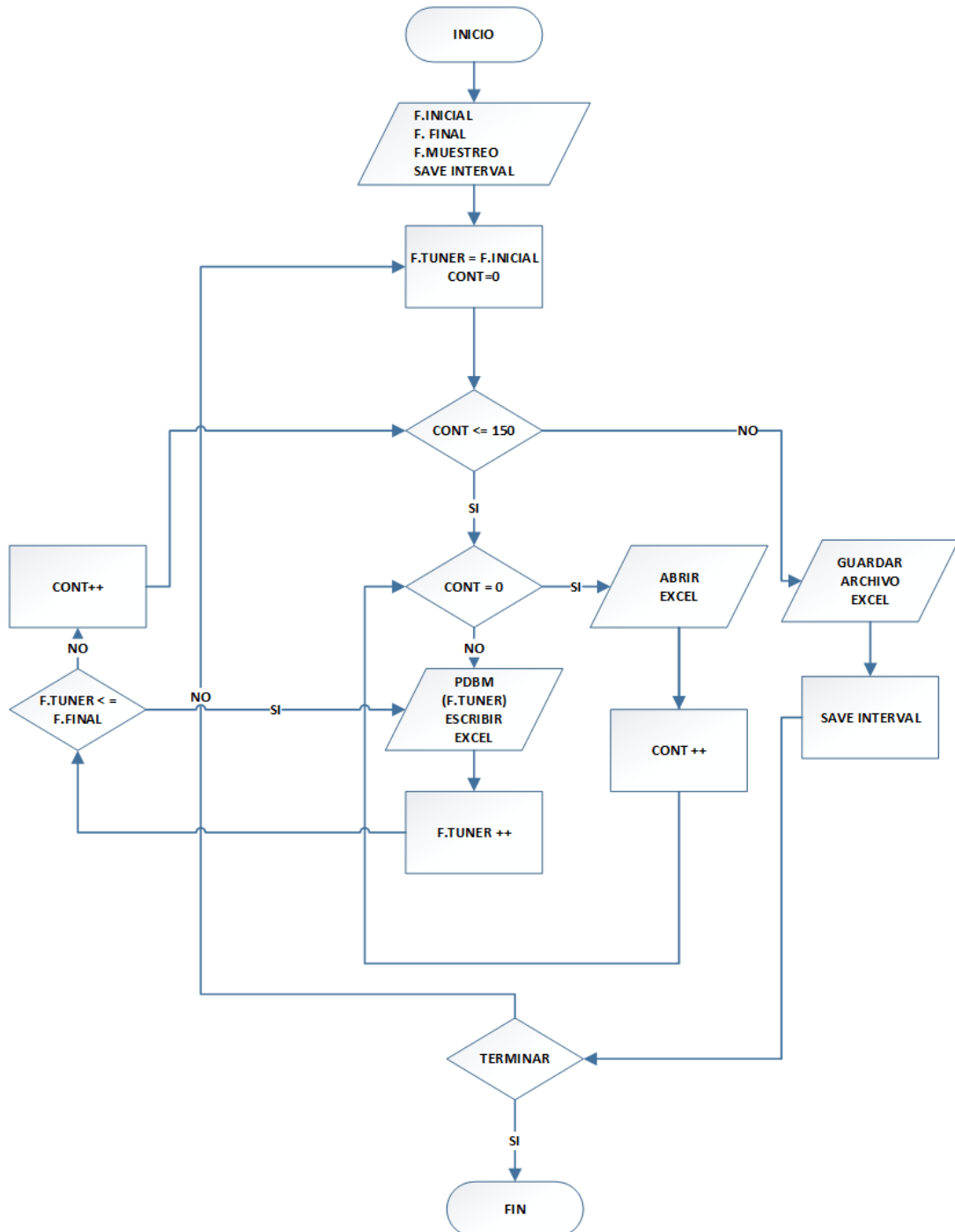


Figura 3.6: Diagrama de flujo del algoritmo de captura de datos (potencias).

Como se observa en la figura 3.6, el algoritmo empieza fijando los valores de la frecuencia inicial, frecuencia final, frecuencia de muestreo y un intervalo de guarda, por lo tanto con la $f_s = 0.83 \frac{\text{muestras}}{\text{min}}$ ingresada en el algoritmo recolectaremos muestras de potencias expresadas en unidades dBm (decibelios mili vatios) aproximadamente cada $t_s = 1.2 \text{ minutos}$.

posteriormente se establece el valor de la frecuencia inicial en una nueva variable la cual se llamara frecuencia tuner (f_{tuner}), además esta frecuencia ira tomando valores que van desde la frecuencia inicial hasta llegar a la frecuencia final con un incremento constante, con lo cual en nuestro archivo de excel resultante que corresponde a la etapa de Almacenamiento tendremos en las columnas de izquierda a derecha frecuencias que van desde 512 MHz hasta 698 MHz con sus respectivas potencias de recepcion, mientras que por otra parte la variable denominada contador *Cont* corresponde a las muestras generadas por cada minuto (Véase Figura 3.7).

El algoritmo ira escribiendo sobre el archivo de excel mientras la $f_{tuner} \leq f_{final}$, caso contrario aumentara el contador en uno, generando una nueva muestra. Con la finalidad de evitar un consumo excesivo en los recursos del portátil, la etapa de almacenamiento guardara de manera automática un archivo excel cada 150 muestras durante 3 horas, el procedimiento de guardado automático tendrá un intervalo de guardado (*Save Interval*) de aproximadamente 30 segundos.

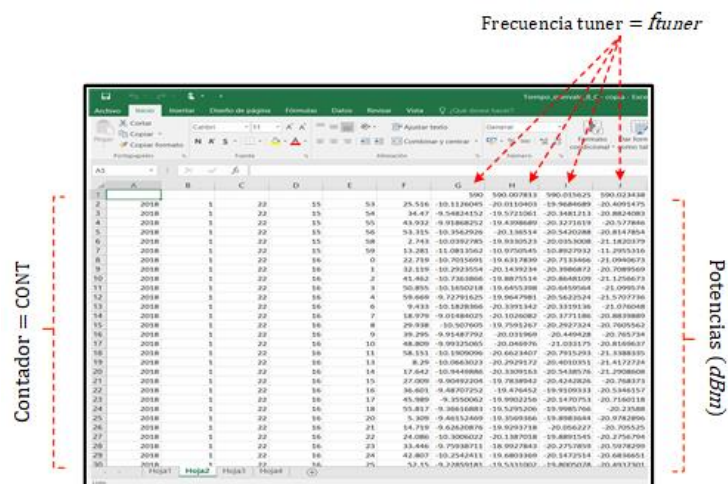


Figura 3.7: Archivo de excel generado por el algoritmo de captura de datos.

3.2.4 Procesamiento de los Datos

Luego de que el algoritmo de captura de datos nos proporciona un archivo de excel con $N_{muestras}$ de potencias por minuto, el cual comprende toda la banda UHF-TV.

Se procede a trabajar sobre esta base de datos, para así determinar la disponibilidad de canales que van a existir en esta banda de frecuencia en ciertos periodos de tiempo.

El primer paso antes del procesamiento de datos, será determinar la cantidad de canales analógicos y digitales que existe en la banda de televisión UHF. Para lograr este cometido haciendo uso de la base de datos, se dispuso realizar gráficos de frecuencia con respecto a la potencia; es decir gráficos cada 6 MHz empezando en 512 MHz hasta culminar en 698 MHz, dando como resultado la siguiente tabla.

| Canal | Rango de Frecuencia (MHz) | Tipo de Canal |
|--------------|----------------------------------|----------------------|
| 21 | 512 – 518 | Digital |
| 22 | 518 – 524 | Libre |
| 23 | 524 – 530 | Digital |
| 24 | 530 – 536 | Analógico |
| 25 | 536 – 542 | Digital |
| 26 | 542 – 548 | Analógico |
| 27 | 548 – 554 | Digital |
| 28 | 554 – 560 | Analógico |
| 29 | 560 – 566 | Digital |
| 30 | 566 – 572 | Analógico |
| 31 | 572 – 578 | Libre |
| 32 | 578 – 584 | Analógico |
| 33 | 584 – 590 | Digital |
| 34 | 590 – 596 | Analógico |
| 35 | 596 – 602 | Digital |
| 36 | 602 – 608 | Analógico |
| 37 | 608 – 614 | Libre |

| | | |
|-----------|-----------|-----------|
| 38 | 614 – 620 | Analógico |
| 39 | 620 – 626 | Digital |
| 40 | 626 – 632 | Libre |
| 41 | 632 – 638 | Libre |
| 42 | 638 – 644 | Analógico |
| 43 | 644 – 650 | Analógico |
| 44 | 650 – 656 | Libre |
| 45 | 656 – 662 | Digital |
| 46 | 662 – 668 | Analógico |
| 47 | 668 – 674 | Libre |
| 48 | 674 – 680 | Analógico |
| 49 | 680 – 686 | Libre |
| 50 | 686 – 692 | Libre |
| 51 | 692 – 698 | Libre |

Tabla 3.1: Clasificación de canales en la banda UHF-TV

La Tabla 3.1 nos da información acerca de la cantidad de canales analógico, digitales y libres existentes en la banda UHF, con lo cual tenemos, en resumen: 9 canales Digitales, 12 canales Analógicos y 10 canales libres.

Una vez clasificados los canales se procede a ingresar los datos de excel en un nuevo código implementado en Matlab, el cual se encargará de procesarlos para determinar la disponibilidad de canales. Como se muestra en la figura 3.8 el algoritmo procede a dividir en canales de 6 MHz las frecuencias y potencias de la base de datos obtenida, para después asignarle que tipo de canal se encuentra funcionando en esa porción de frecuencia (para eso hacemos uso de la información brindada por la tabla 3.1).

El procedimiento para determinar la potencia del canal (P_{CH}) con la que compararemos más tarde la potencia umbral (P_{UMBRAL}) como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.8, depende del tipo de canal presente (Digital o Analógico).

Acto seguido se indica el método para obtener la potencia del canal, ya sea un canal analógico o digital (Véase figura 3.9 y figura 3.10).

A continuación, después de realizar las comprobaciones entre las potencias de los respectivos canales con la potencia umbral, se asignará el valor de “1” en caso de estar disponible el canal, o por el contrario de no ser así se asignará el valor de “0” que corresponde a ocupado.

Para concluir se tendrá una matriz binaria, la cual está conformada por todos los “1s” y “0s” asignados anteriormente en cada canal, para luego mediante una función creada en el algoritmo, mostrar la cantidad de canales conjuntos a través de un contador (CONT) y su disponibilidad conjunta, la cual consiste en agrupar los “1s” entre canales adyacentes.

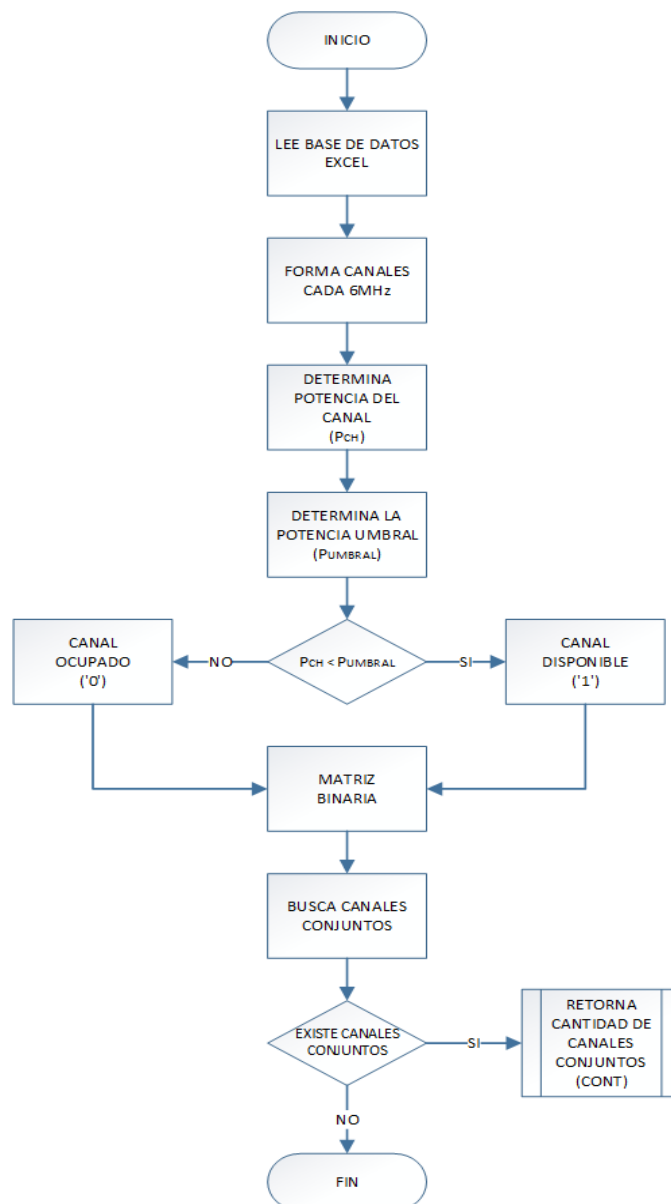


Figura 3.8: Diagrama de flujo para determinar disponibilidad de canales conjuntos.

3.2.5 Canal Digital

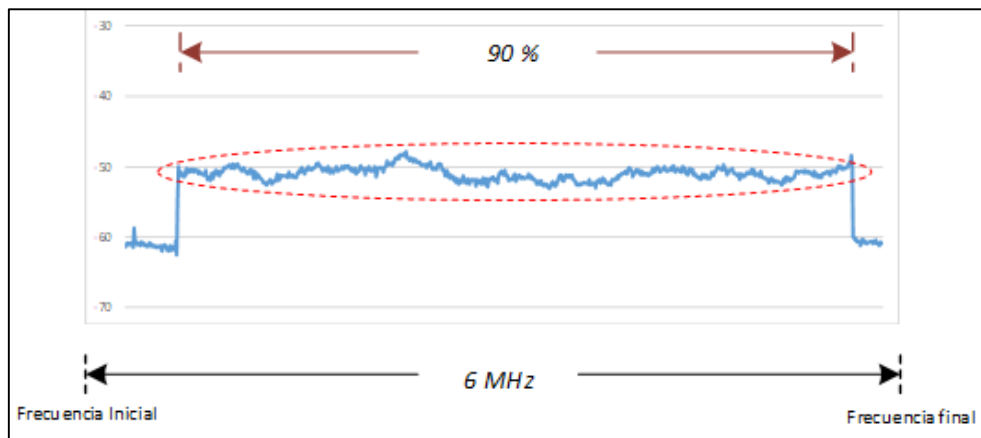


Figura 3.9: Determinación de la Potencia de un Canal Digital

Para encontrar la potencia de un canal digital, tomamos el 90% de la señal digital donde se encuentren los valores más altos, que corresponden a potencias en términos de dBm del eje "y" de la gráfica, para luego realizar un promedio de los mismos, este promedio nos servirá para comparar con nuestra potencia umbral y determinar si existe disponibilidad.

3.2.6 Canal Analógico

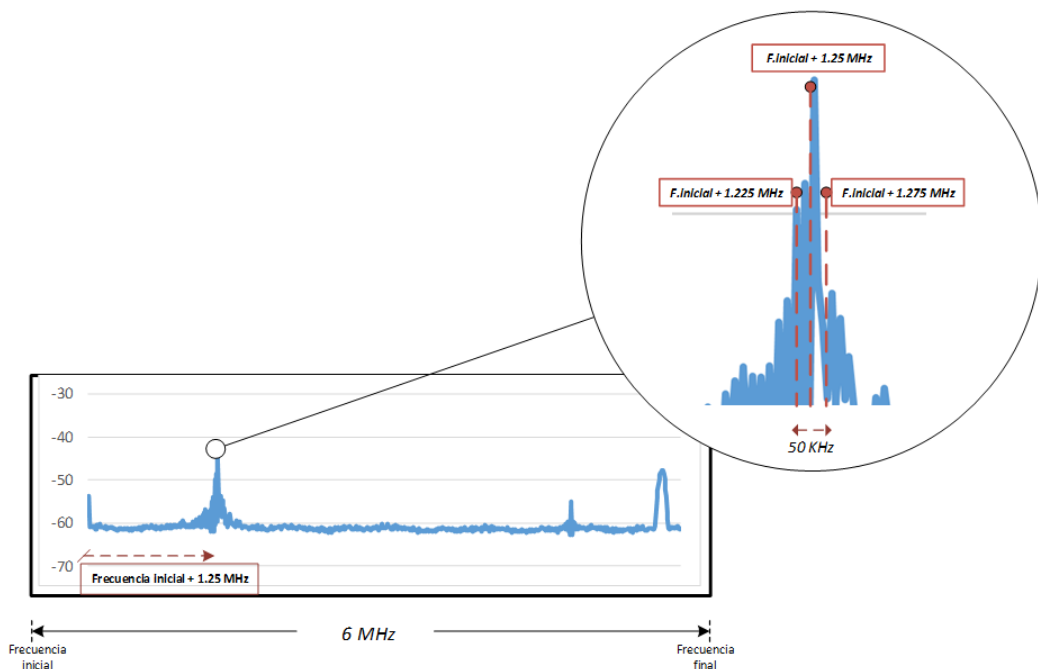


Figura 3.10: Determinación de la Potencia de un Canal Analógico

Por el contrario, para encontrar la potencia de un canal analógico tomando como punto de partida la frecuencia inicial, nos desplazamos 1.25 MHz hacia la derecha. Una vez ubicados en ese punto, nos movemos desde ese punto 25 KHz tanto a la izquierda como a la derecha (Figura 3.10), con esto obtendremos tres puntos a los cuales buscaremos sus respectivas intersecciones con el eje "y" de potencia en la gráfica. finalmente se procede a calcular el promedio de los tres valores de potencias encontrados, hallando así la potencia del canal analógico.

3.2.7 Potencia Umbral

La potencia Umbral o también conocida como potencia threshold es el valor límite de potencia que no debe sobrepasar un canal, ya sea analógico o digital para considerarse disponible. Para determinar la potencia umbral en nuestro caso, hacemos uso de un canal libre, es decir que no esté ocupado por un canal analógico ni digital tal como se aprecia en la figura 3.11.

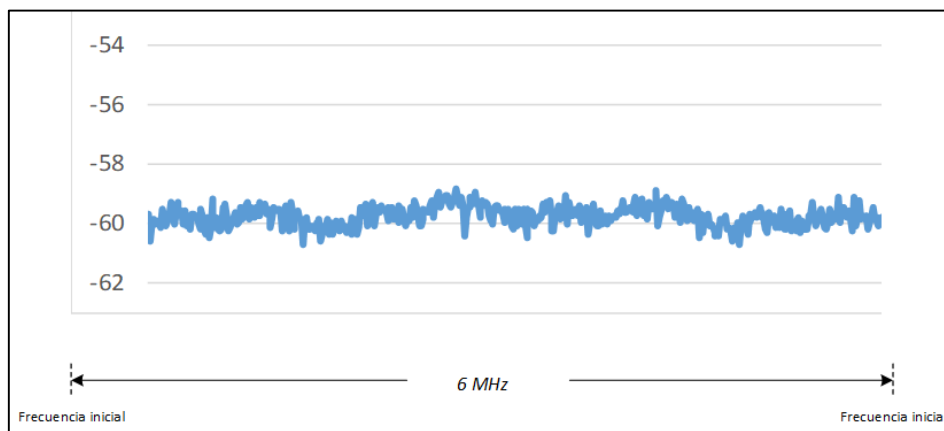


Figura 3.11: Canal Libre

Posteriormente realizamos el promedio de las potencias presentes en el canal libre (piso de ruido) para culminar agregándole 4 dB (decibelios), de esta manera nuestra Potencia umbral queda expresado por la siguiente ecuación.

$$P_{UMBRAL} = \bar{P}_{CH_{libre}} + 4dB \quad (3.1)$$

3.3 Modelamiento Estadístico de los datos

Una vez culminada la captura y obtención de datos, el siguiente paso para el modelamiento de los datos es analizar el comportamiento que tienen estos; es decir las variaciones que presentan las potencias receptadas, a medida que se fue generando cada muestra en el transcurso del tiempo (para nuestro caso minutos).

Como se mencionó anteriormente, a través del algoritmo de captura se recolectaron varias muestras de potencias por minuto. por ende, para cada canal de frecuencia en la banda UHF-TV, tendremos múltiples valores de potencia (ver ecuación 3.2).

$$Pr = [Pr_1, Pr_2, Pr_3, \dots, Pr_n] \quad (3.2)$$

Dichos valores de potencias recibidos son el resultado de la suma de la potencia transmitida por la estación base (P_{BS}), la interferencia (I) que causa debilitamiento en la señal debido a obstáculos y diferentes equipos de telecomunicaciones involucrados en el medio y por último el ruido que será denotado por (N_o). Tanto la potencia de la estación base como la interferencia y el ruido son señales independientes e idénticamente distribuidas, dando lugar así a la siguiente ecuación.

$$Pr = P_{BS} + I + N_o \quad (3.3)$$

Sin embargo, por motivos de análisis se considerará que el ruido tendrá un comportamiento gaussiano, es decir que posee media igual a cero ($\mu = 0$) y varianza σ^2 (ver ecuación 3.4). así también la interferencia será cero, dado que se están tomando muestras de potencias en una banda licenciada como lo es la banda UHF, por tal motivo las interferencias son despreciables.

$$N_o \sim N(0, \sigma^2) \quad (3.4)$$

Dicho de otra manera, la potencia receptada quedara expresada de la siguiente forma:

$$Pr \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (3.5)$$

En otras palabras, la potencia mantendrá el comportamiento gaussiano del ruido, con la diferencia de que la media será la potencia promedio recibida de la estación base. Y la varianza representa la diferencia que existe entre la potencia recibida y el ruido. Por otra parte, para determinar si un canal se encuentra disponible u ocupado utilizaremos la siguiente condición matemática, la cual involucra una muestra de la potencia de recepción por canal en un tiempo determinado.

$$\Phi_i = \begin{cases} 1; & \text{si } P_{ri} < P_{UMBRAL} \\ 0; & \text{si } P_{ri} \geq P_{UMBRAL} \end{cases} \quad (3.6)$$

Para la ecuación (3.6) la potencia de recepción en un determinado instante (P_{ri}) se compara con la potencia umbral (P_{UMBRAL}) la cual nos sirve como potencia de piso para verificar disponibilidad, dando como resultado dos posibles casos para la variable de estado (Φ_i): En el caso que la potencia P_{ri} sea menor que la P_{UMBRAL} ; entonces $\Phi_i = 1$, con esto el canal en ese instante de tiempo se encontrara disponible. Caso contrario, cuando la potencia P_{ri} sobrepase o sea igual a la P_{UMBRAL} ; entonces $\Phi_i = 0$, por ende el canal en ese instante de tiempo se considera ocupado. Debido a que la variable de estado Φ_i solo puede turnarse entre “1” y “0”, se puede concluir que la distribución probabilística adecuada a usar para nuestro estudio es la distribución Bernoulli.

La variable aleatoria X en una distribución Bernoulli toma dos valores “1” y “0”, donde “1” corresponde a la probabilidad de éxito (p), mientras que “0” a la de fracaso (q).

$$P(X = 1) = p = \text{éxito} \quad (3.7)$$

$$P(X = 0) = q = \text{fracaso} \quad (3.8)$$

$$p = 1 - q \quad (3.9)$$

Por lo tanto, la probabilidad de éxito quedaría representada en la ecuación 3.10 como:

$$p = P(\Phi_i = 1) = P(P_{ri} < P_{UMBRAL}) \quad (3.10)$$

Mientras que la probabilidad de fracaso se la puede representar de dos maneras.

$$q = P(\Phi_i = 0) = P(P_{ri} \geq P_{UMBRAL}) \quad (3.11)$$

$$q = 1 - p = 1 - (P(\Phi_i = 1)) = 1 - (P(P_{ri} < P_{UMBRAL})) \quad (3.12)$$

Dado el comportamiento de una distribución Bernoulli que sigue la variable de estado Φ_i , se puede determinar la probabilidad del canal en ese instante de tiempo a través de la función de densidad probabilística gaussiana normalizada, dado que la potencia receptada P_{ri} tiende a mostrarse como una distribución normal (ver ecuación 3.5), por ello haciendo un cambio de variable de P_{ri} por Z_i se tiene la ecuación 3.13.

$$P(\Phi_i = 1) = P(P_{ri} < P_{UMBRAL})$$

$$P(P_{ri} < P_{UMBRAL}) = P\left(Z_i < \frac{P_{UMBRAL} - \mu}{\sigma}\right) \quad (3.13)$$

Por ultimo para determinar la disponibilidad de un canal en un periodo de tiempo, utilizaremos la siguiente expresión:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{N_{muestras}} \Phi_i}{N_{muestras}} \quad (3.14)$$

Donde la disponibilidad se denota por D , la cual es el resultado de la sumatoria de todas las variables de estado Φ_i que corresponde a la cantidad de muestras existentes $N_{muestras}$ en dicho canal y dividido para el total de las mismas.

CAPÍTULO 4

4 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE DATOS

4.1 Descripción

La presente sección del documento muestra la ubicación exacta del lugar donde se recolectaron los datos de potencias en la banda de frecuencia analizada. Por otra parte, se observa en detalle los parámetros a configurar a través del algoritmo para el correcto funcionamiento del dispositivo SDR-RTL y proceso de captura de datos. Con los datos obtenidos se procede a determinar mediante la presentación de gráficas la disponibilidad de canales conjuntos en instantes de tiempo, además del consumo de potencia por canales.

4.2 Ubicación geográfica del escenario

El proceso de medición se realizó en un edificio en una zona urbana densa, ubicado en la urbanización Acuarela del rio (Mz. 8 Villa 13), el edificio consta de 3 pisos: Planta baja, Primer piso y segundo piso. La distancia que existe desde la antena transmisora ubicada en el Cerro del Carmen con coordenadas geográficas: latitud $2^{\circ}10'53.88''$ Sur y longitud $79^{\circ}53'0.73''$ Oeste, hacia la edificación con coordenadas geográficas: latitud $2^{\circ}8'10.69''$ Sur y longitud $79^{\circ}53'1.34''$ Oeste es de 5.06 Km, la figura 4.1 nos muestra desde otra perspectiva la ubicación de ambas coordenadas. La captura de los niveles de potencia se realizó durante un periodo de 5 días por piso (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes) durante 24 horas.



Figura 4.1: Distancia entre edificio y la estación base

En la figura 4.2 se aprecia el nivel de elevación y propagación que existe entre la antena transmisora o estación base y la edificación donde se reciben los datos de potencia, con lo cual se puede concluir que la línea de vista que existe entre ellos está libre de obstáculos considerables que puedan influir demasiado al momento de transmitir las señales.

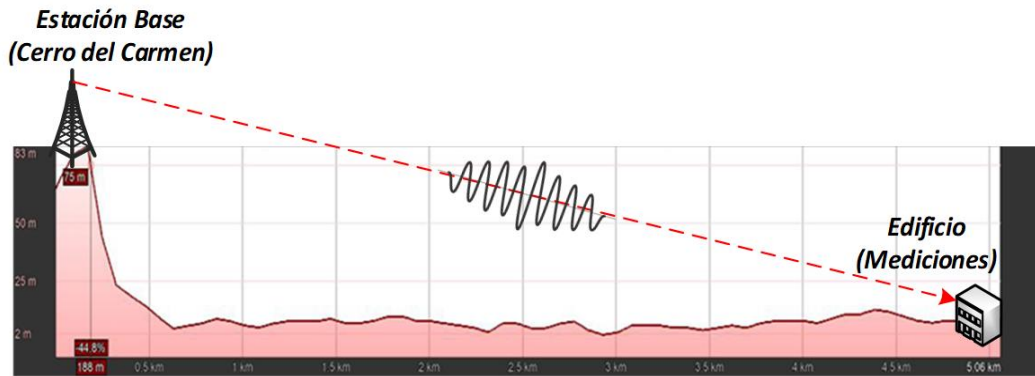


Figura 4.2: Perfil de elevación y propagación del escenario

4.3 Parámetros de Configuración

Como se ha mencionado con anterioridad el tema propuesto basa su análisis en la banda de frecuencia UHF – TV (512 MHz – 698 MHz), cada canal tiene un ancho de banda de 6 MHz, dando como resultado un total de 31 canales dentro de la banda UHF.

| Parámetros | Valores |
|--|-----------------|
| Ancho de banda (BW) | (512 – 698) MHz |
| Ancho de banda por canal (BW_{CH}) | 6 MHz |
| Frecuencia inicial ($f_{inicial}$) | 512 MHz |
| Frecuencia final (f_{final}) | 698 MHz |
| Canal inicial (CH_i) | 21 |
| Canal final (CH_f) | 51 |
| Número de canales (N) | 31 |
| Potencia umbral (P_{UMBRAL}) | -59 dBm |

Tabla 4.1: Parámetros de configuración

4.4 Análisis temporal de Resultados

4.4.1 Análisis de las mediciones en Planta Baja, Primer Piso y Segundo Piso

Este capítulo trata sobre la explicación de las gráficas obtenidas en base a muestras de potencias recolectadas durante 5 días correspondientes a cada canal perteneciente a la banda UHF-TV, así como la disponibilidad de los canales individuales y conjuntos. Se analizará el comportamiento de las potencias y su disponibilidad conforme se avanza entre los diferentes niveles del edificio; además de visualizar la cantidad de canales individuales y conjuntos que se encuentren disponibles en el transcurso de la semana mediante la gráfica de función de distribución acumulada (CDF).

En las figuras 4.3, 4.4 y 4.5 se observa los niveles de potencias recibidos en Planta Baja, Primer Piso y Segundo Piso respectivamente. Los niveles de potencia que se muestran en las figuras varían dependiendo del canal de frecuencia, del tiempo y de la ubicación.

Esto se ve representado por la tonalidad de diferentes colores, que van desde el color azul que representa un nivel de potencia bajo hasta el rojo que se interpreta como un nivel de potencia elevado.

Para la figura 4.3 que representa a la Planta baja de nuestro edificio se puede apreciar que en su mayoría destaca el color azul en los canales, con esto se concluye que en esta planta del edificio existe una gran cantidad de canales disponibles.

Los canales que se encuentran sin presentar cambios considerables en su tonalidad azul a lo largo del tiempo son los siguientes: 37, 38, 40 al 44 y 47 al 51, estos canales presentan aproximadamente un valor de potencia por debajo de los - 60 dBm, con lo cual al no superar la potencia umbral de -59 dBm son considerados perfectos para el uso de sistemas con acceso oportunista al espectro.

Por el contrario, los canales que representan una mayor concentración en la cantidad de potencia a la semana son los canales 23, 25 y 45 presentan valores de potencias de aproximadamente -47 dBm a -53 dBm, los cuales al

relacionarlos con el valor de la potencia umbral se consideran ocupados en la mayoría del tiempo, lo que lleva a la conclusión que no son aptos para el sistema de acceso oportunista al espectro.

En cuanto a los canales 24, 26, 28, 30 y 36 presentan disponibilidad; pero con pequeñas intermitencias a lo largo de los días, con lo que estos canales pueden ser utilizados en ciertos intervalos de tiempos mientras que en otros no. Adicionalmente los canales 22, 31, 32, 34 debido a su color celeste presentan disponibilidad a lo largo de la semana; pero en menor grado.

Para la figura 4.4, continuando con el mismo análisis realizado en la planta baja, con la diferencia de que los datos de potencia son más altos $-35 \text{ dBm} \leq P_r \leq -60 \text{ dBm}$, debido a que la ubicación es distinta (Segundo Piso). Con lo cual, al aumentar los niveles de potencia en los canales, la disponibilidad de los mismos disminuirá, por la razón de que la potencia umbral se mantiene fija.

La cantidad de canales de tonalidad azul sin variaciones en su color se redujo, tal y como se muestra en la figura, los canales que cumplen con esta condición son: 22, 31, 32 y 37 siendo los adecuados para el uso de sistemas de acceso oportunista, mientras que los canales 24, 26, 28 y 34 están disponibles; pero se encuentran ocupados en pequeños intervalos de tiempo.

Los canales 39 y 45 se encuentran en rojo a lo largo de toda la semana, lo que indica que se encuentran siempre ocupados, por otro lado, los canales 21, 23, 25, 27, 29, 33 y 35 poseen un color amarillo, naranja y turquesa que corresponden a un nivel de potencia de -37 dBm a -47 dBm , además de los canales que a pesar de presentar un color azul claro poseen niveles de potencia de -52 dBm , con lo cual estos canales están por encima del umbral, lo cual indica que estos canales permanecen también ocupados.

En la figura 4.5 se observa los niveles de potencia del Segundo Piso a lo largo de la semana, tal como sucede en el caso anterior, a medida que se cambia de ubicación el nivel de potencia de los canales aumenta con respecto al anterior, para este caso $-25 \text{ dBm} \leq P_r \leq -60 \text{ dBm}$ y basado en el mismo análisis anterior, se concluye lo siguiente:

En los canales 31, 32, 47, 49, 50 y 51 existe disponibilidad; pero en periodos muy cortos de tiempos a la semana. Con esto el uso de sistemas de acceso oportunista quedo solo reducido a esos periodos de tiempo, por otro lado, para los canales 21, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 35, 39, 45 y 46 se encuentran con tonos de color naranja, rojo y amarillo con lo cual tienen niveles de potencia altos por ende no están disponibles y al igual que los canales restantes su nivel de potencia está por encima de la potencia umbral -59 dBm.

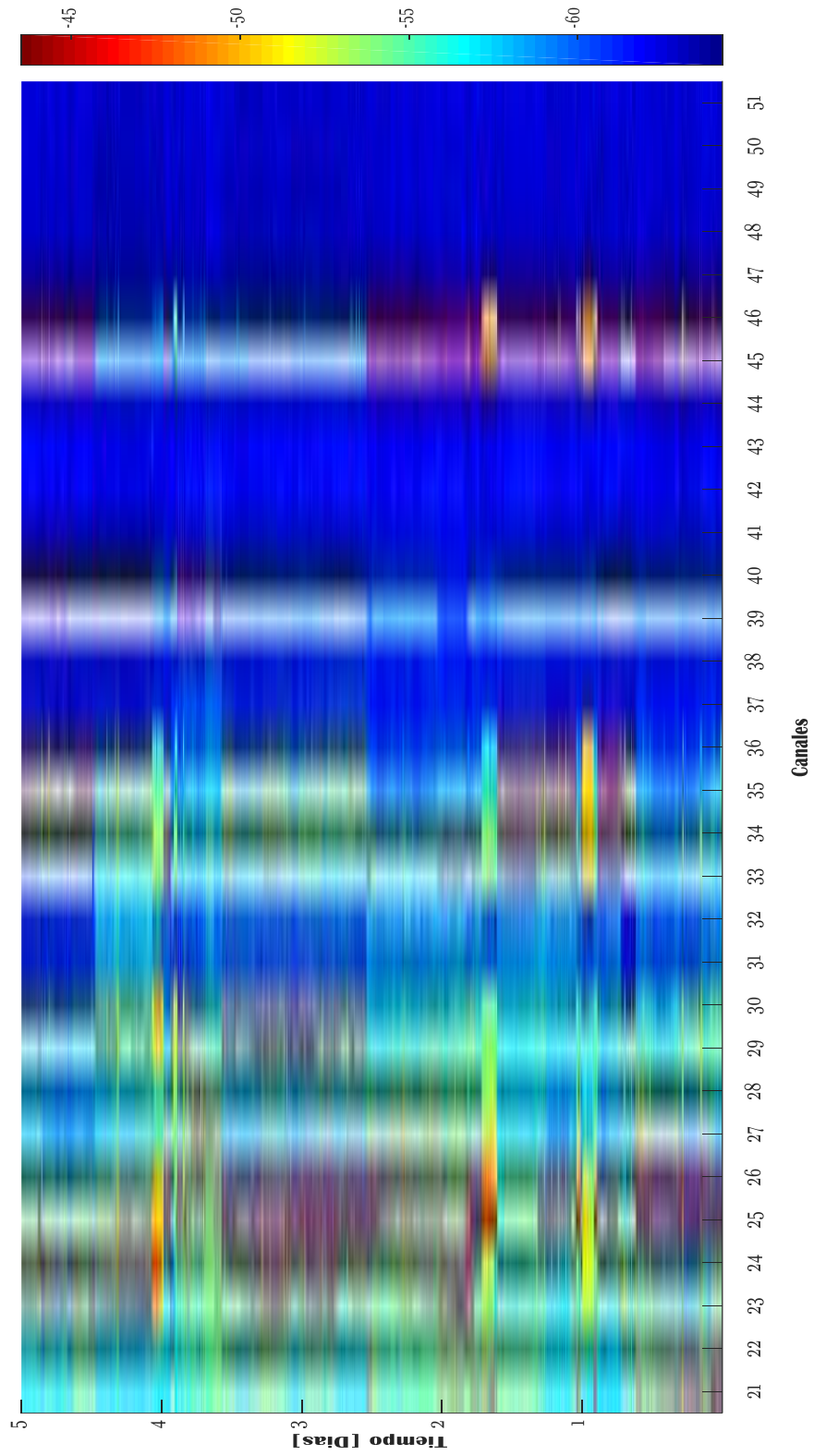


Figura 4.3: Niveles de Potencias (Planta Baja)

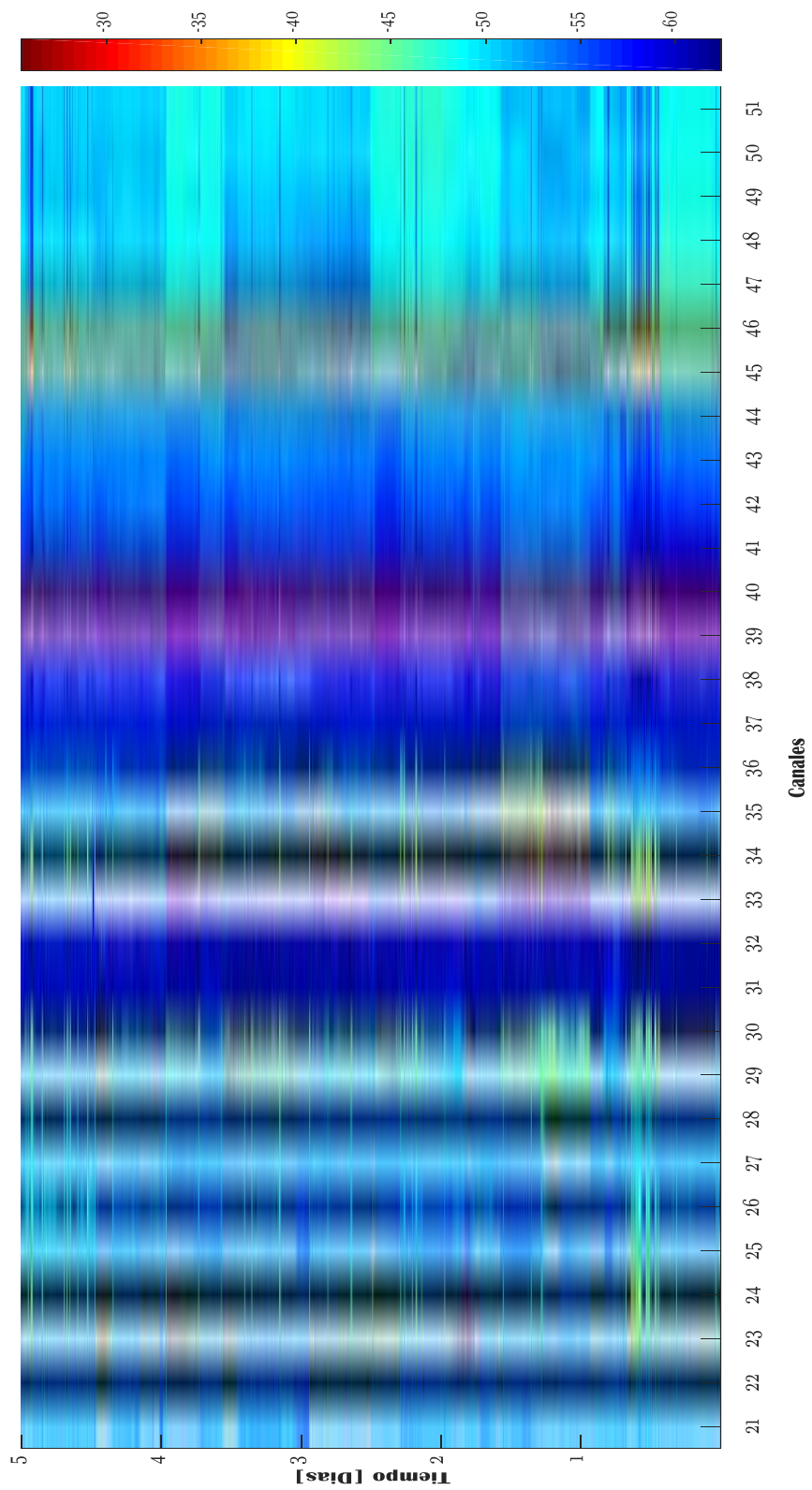


Figura 4.4: Niveles de Potencias (Primer Piso)

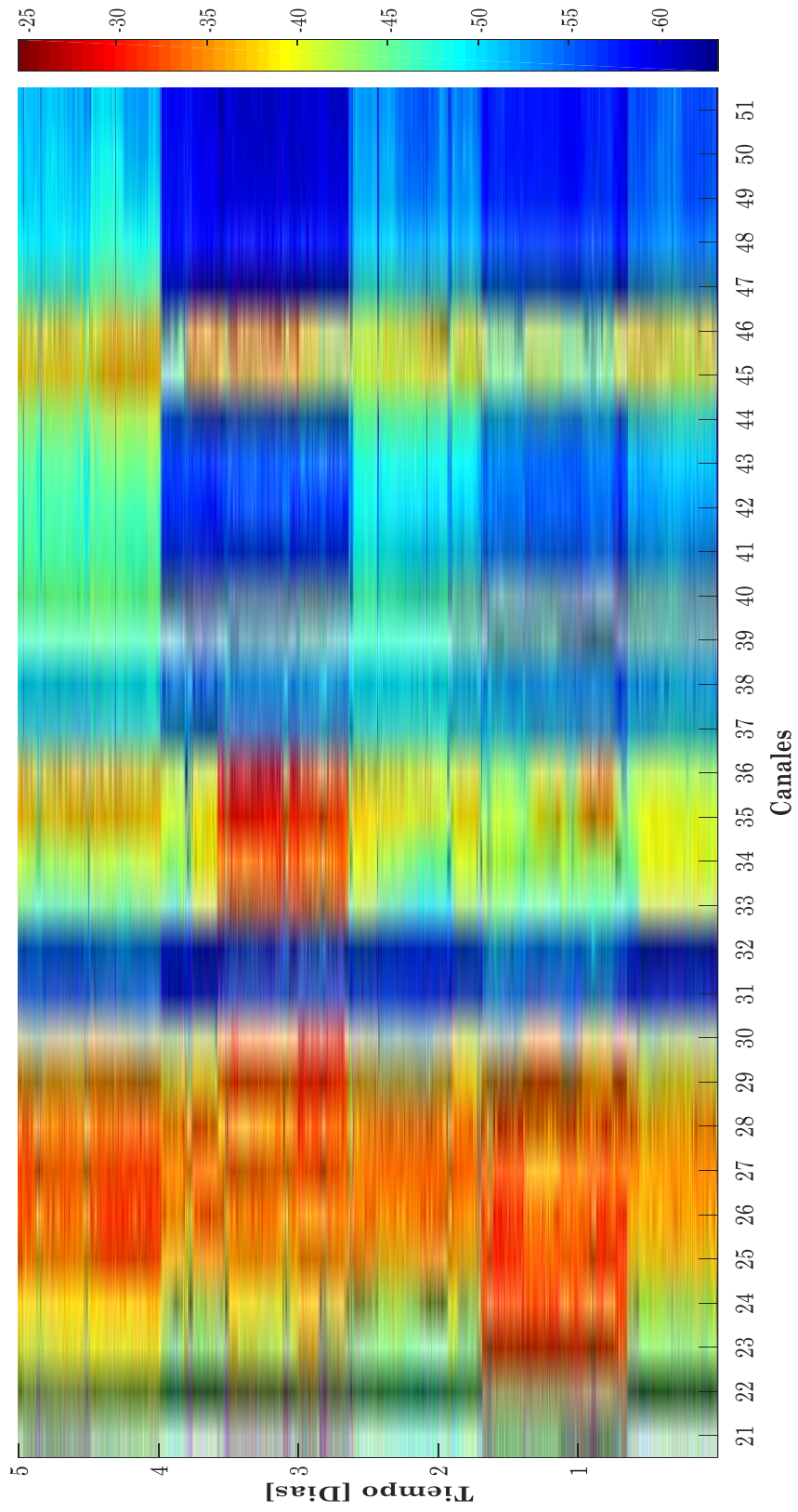


Figura 4.5: Niveles de Potencias (Segundo Piso)

Una vez finalizado el análisis con respecto a los niveles de potencia en cada piso se procede a realizar un análisis de disponibilidad similar al anterior, con la diferencia que en lugar de niveles de potencia ahora se presenta el grado de disponibilidad en un rango de '1' a '0', donde 1 representa la disponibilidad máxima del canal con un tono de color rojo; mientras que 0 con una tonalidad azul representa que el canal se encuentra ocupado.

En la figura 4.6 correspondiente a la disponibilidad de la Planta baja se muestran los canales 22, 31, 32, 37, 38 del 40 al 44 y del 47 al 51 con un color rojo sin variaciones lo cual indica que la probabilidad de disponibilidad es de 1, por otro lado, los canales 24, 26, 28, 30, 34, 36, 46 nos ofrecen una disponibilidad de 1; pero ocurren pequeñas instancias de tiempo donde la disponibilidad decae entre 0.8 y 0.62, y por momentos la disponibilidad baja a 0.1. En cuanto a los canales 21, 23, 25, 29, 33 y 45 la mayoría de la semana se encuentran con una disponibilidad de 0.1 y 0 en su defecto ocupados. Para los canales 27, 35 y 39 ofrecen disponibilidad de 1 solo en determinadas horas de algunos días de la semana.

En cuanto al Segundo Piso (figura 4.7) en los canales 22 y 31 existe disponibilidad de 1 en la mayoría de días, con la excepción de pequeños momentos de tiempos en los cuales hay variaciones de 0.8, 0.6 y 0.3 en su disponibilidad. El canal 28 se encuentra variando en el transcurso de la semana con disponibilidades que van desde 1 a 0.3. mientras que para los canales 32 y 37 existe una disponibilidad de 1 en la mayoría de tiempo del primer día (lunes). Por otro lado, los canales que se encuentran con una disponibilidad nula para nuestro propósito de utilizar sistemas de acceso oportunista al espectro son: 21, 23, 25, 27, 29, 33, 39, del 43 al 51.

En la figura 4.8 que corresponde al Segundo Piso se muestra una pequeña cantidad de canales disponibles, esto se debe a lo mencionado con antelación, al cambiar de ubicación en el edificio la potencia aumenta, y en su defecto esto provoca que los canales con disponibilidad disminuyan. En la figura 4.8 existe disponibilidad alta en los canales 47, 49, 50 y 51 pero solo tramas del tercer y

cuarto día, como también en pequeñas partes del primer día. El canal 32 tiene disponibilidad de 1 en una pequeña parte al finalizar el cuarto día de medición. Finalmente, los canales restantes presentan en su totalidad disponibilidad baja de 0 y 0.1.

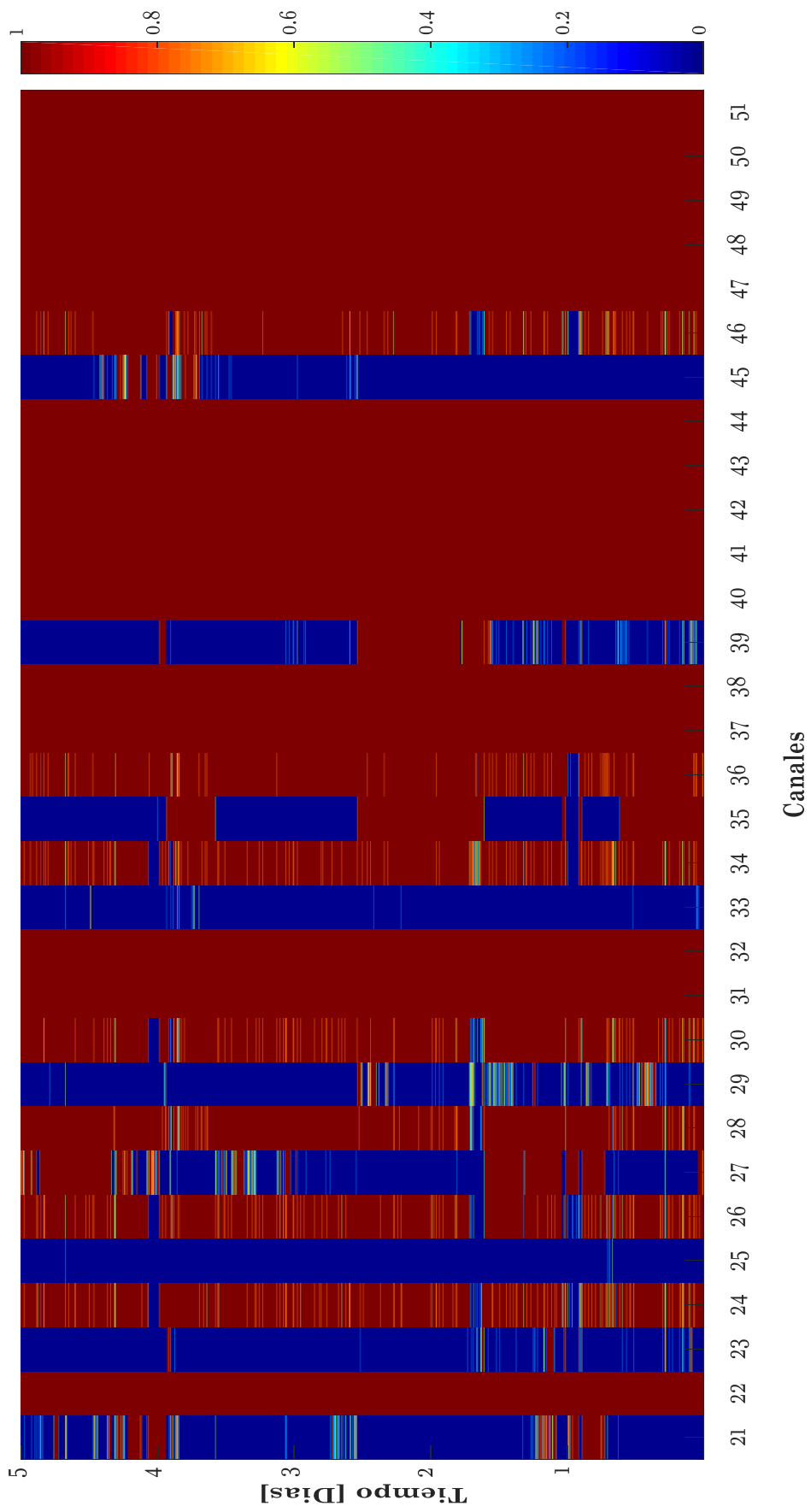


Figura 4.6: Disponibilidad de Canales (Planta Baja)

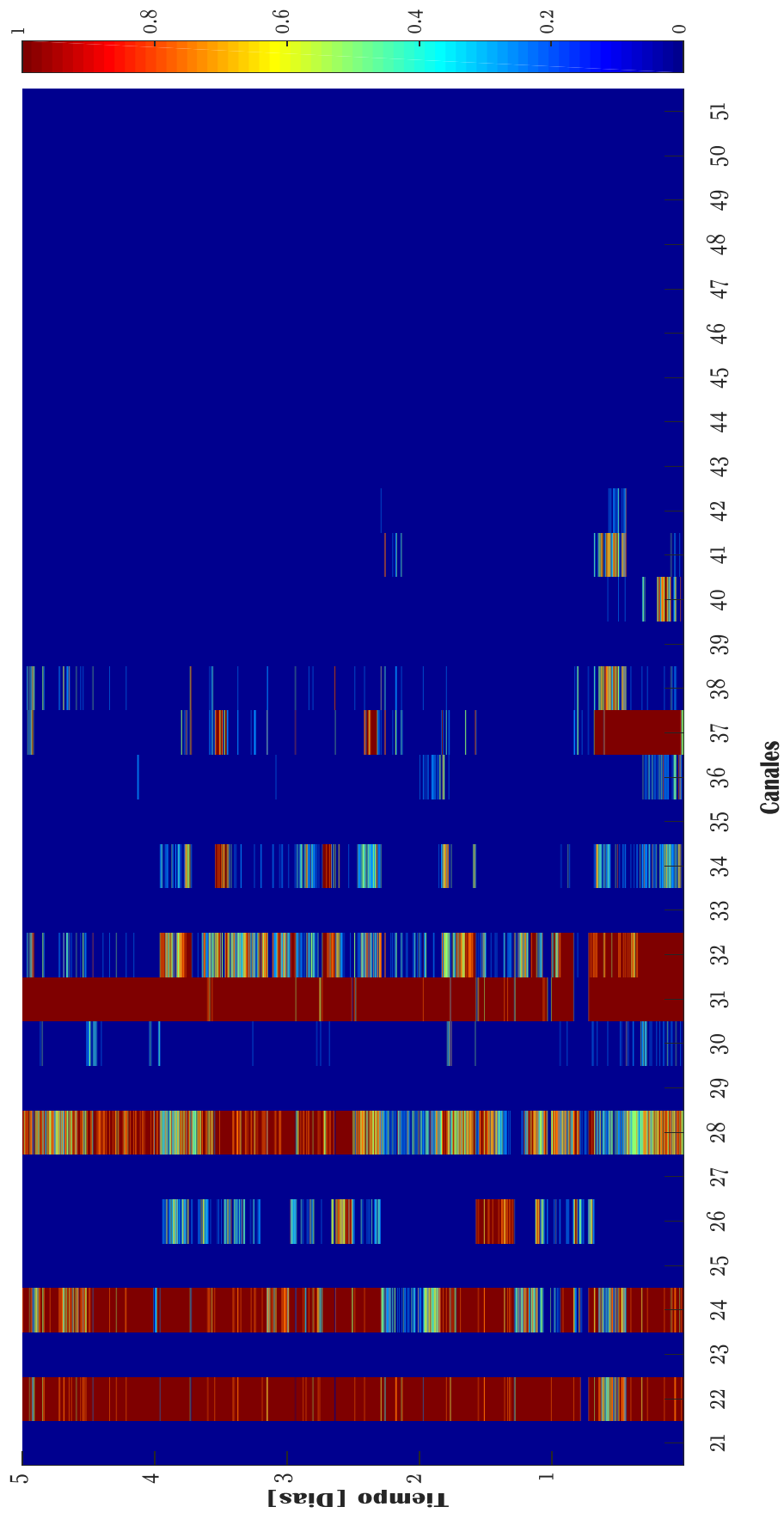


Figura 4.7: Disponibilidad de Canales (Primer Piso)

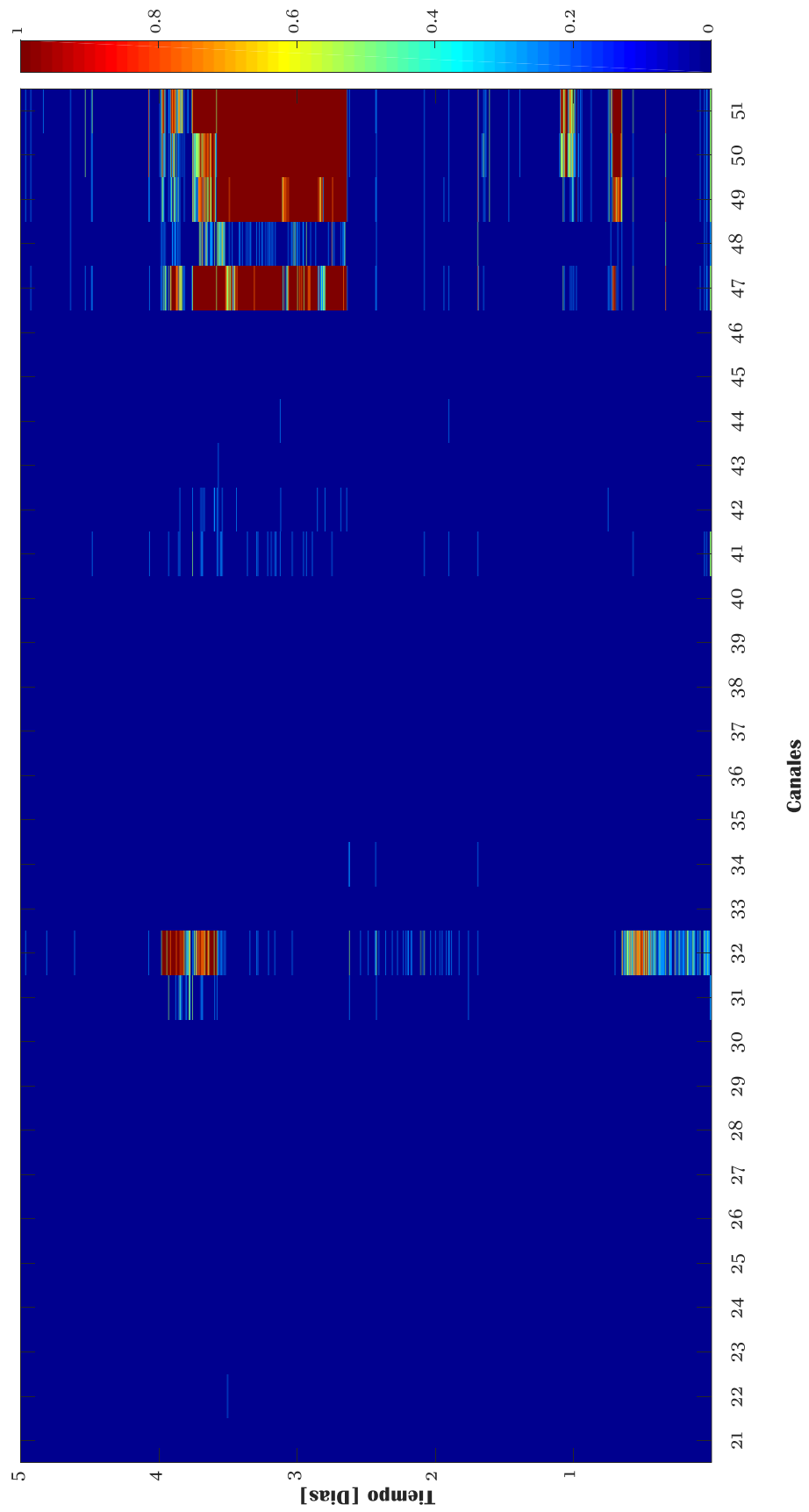


Figura 4.8: Disponibilidad de Canales (Segundo Piso)

4.5 Disponibilidad Acumulada de canales individuales por pisos

En esta parte se analiza cómo varía la disponibilidad de los canales por piso, como se muestra en la figura 4.9 la curva azul representa la planta baja del edificio, la curva de color rojo el primer piso y por último la curva verde el segundo piso. Para entender cómo se distribuye la disponibilidad de los canales se opta por utilizar la distribución acumulada de cada piso. Se aprecia en la figura que a medida que se aumenta de nivel en el edificio, la disponibilidad disminuye. La planta baja consta con la mayor cantidad de canales disponibles, en promedio la planta baja consta con 17 canales (15 %) con lo que obtenemos 102 MHz de ancho de banda disponible, en el mejor de los casos 23 canales (100 %); mientras que en el peor de los casos 12 canales, con lo cual se dispone de entre 138 MHz y 72 MHz de disponibilidad.

El primer piso se tiene en promedio 5 canales (82 %) 30 MHz, con un máximo de 10 canales (100 %) y mínimo 1 canal, dando una disponibilidad en ancho de banda de 60 MHz entre 6 MHz.

Por último, el segundo piso dispone de un promedio de 4 canales (95 %) 24 MHz, con un máximo de 9 canales (100 %) y un mínimo de 1 canal, dando una disponibilidad de ancho de banda de 54 MHz entre 6 MHz.

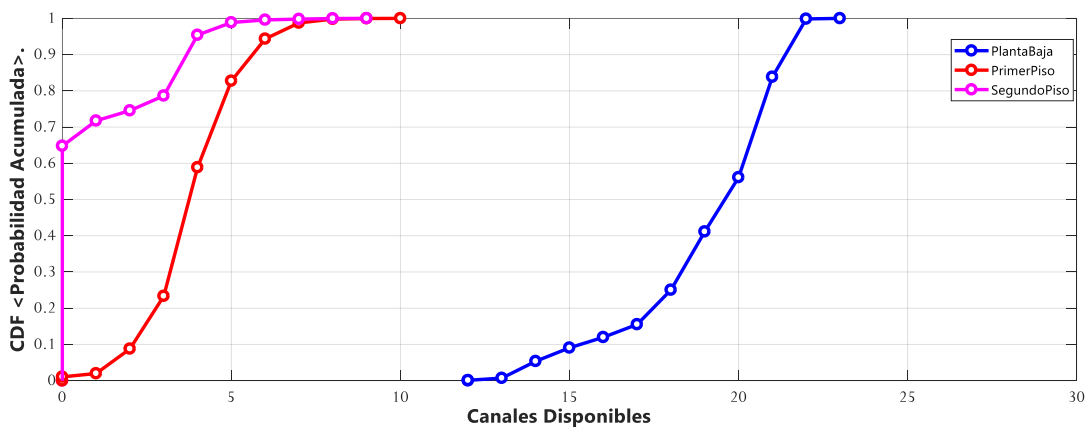


Figura 4.9: Disponibilidad acumulada de canales por piso

4.6 Disponibilidad Acumulada de canales conjuntos por pisos

Las figuras 4.10, 4.11 y 4.12 representan la disponibilidad de canales conjuntos por pisos, basándose en la función de probabilidad acumulada para comprender la distribución de los canales conjunto en función de la probabilidad.

En la figura 4.10 se muestra las diferentes agrupaciones de canales conjuntos para la planta baja, la curva azul representa agrupaciones de 2 canales conjuntos, dicha curva posee un máximo de 8 canales conjuntos (100 %), un mínimo de 5 canales conjuntos y en promedio 6 canales conjuntos (32 %) aproximadamente 12 MHz por cada canal conjunto. La curva roja representa agrupaciones de 3 canales conjuntos, esta curva posee un máximo de 6 canales conjuntos (100 %), un mínimo de 2 canales conjuntos y en promedio 4 canales conjuntos (46 %) aproximadamente 18 MHz por cada canal conjunto. La curva café representa agrupaciones de 4 canales conjuntos con un máximo de 3 canales conjuntos (100 %), un mínimo de 1 canal conjunto y en promedio 2 canales conjuntos (95 %) alrededor de 24 MHz por canal conjunto, para la curva morada representando agrupaciones de 5 canales conjuntos se tiene un máximo de 3 canales conjuntos (100 %), un mínimo de 1 canal conjunto y en promedio 1.75 canales conjuntos (90 %), la curva turquesa denota agrupaciones de 6 canales conjuntos con un máximo de 2 canales conjuntos (100 %) y un promedio de 0.75 canales conjuntos (80 %). Por último, la curva verde representando agrupaciones de 7 canales conjuntos con un máximo de 1 canal conjunto y en promedio 0.33 canales conjuntos. Mencionado las especificaciones de las curvas se observa que a menor agrupación de canales conjuntos se destaca una mayor cantidad de espectro de frecuencia disponible para hacer uso de diferentes tecnologías inalámbricas.

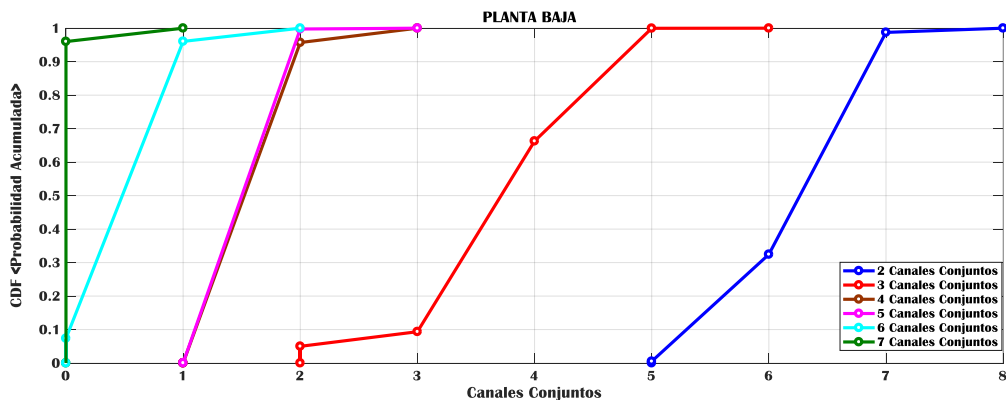


Figura 4.10: Disponibilidad acumulada de canales conjuntos (Planta Baja)

En la figura 4.11 muestra la disponibilidad de canales conjuntos en lo que respecta al primer piso de mediciones, en comparación a la figura anterior en esta ubicación de edificio la cantidad de agrupaciones de canales conjuntos se redujo de seis (figura 4.10) a tres, con lo cual se puede concluir nuevamente que la cantidad de canales conjuntos también disminuye al aumentar la altura del nivel de la edificación. Para este caso se dispone de 3 curvas: azul, roja y café que representan las agrupaciones de 2, 3 y 4 canales conjuntos respectivamente. Donde la curva azul tiene en promedio 1.67 canales conjuntos (97%), con un máximo de 4 canales conjuntos disponibles, por otra parte, la curva roja y café tienen un máximo de 1 canal conjunto.

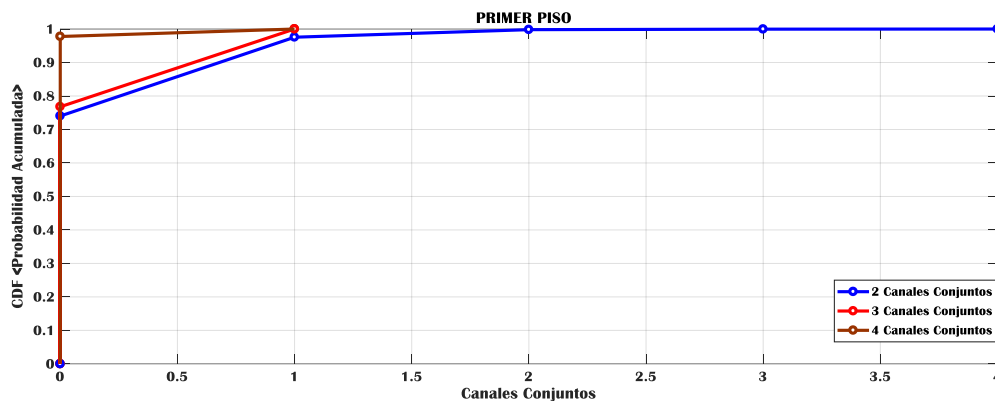


Figura 4.11: Disponibilidad acumulada de canales conjuntos (Primer Piso)

En la figura 4.12 que corresponde al segundo piso la cantidad de agrupaciones de canales conjuntos disminuyó nuevamente, obteniendo solo agrupaciones de 2 canales conjuntos y 3 canales conjuntos, con lo cual en la curva azul posee en promedio 1.2 canales conjuntos (97%) con un máximo de 3 canales conjuntos (100%) en agrupaciones de 2 y la curva roja con un máximo de 2 canales conjuntos (100%) con un promedio de 0.75 canales conjuntos (98%).

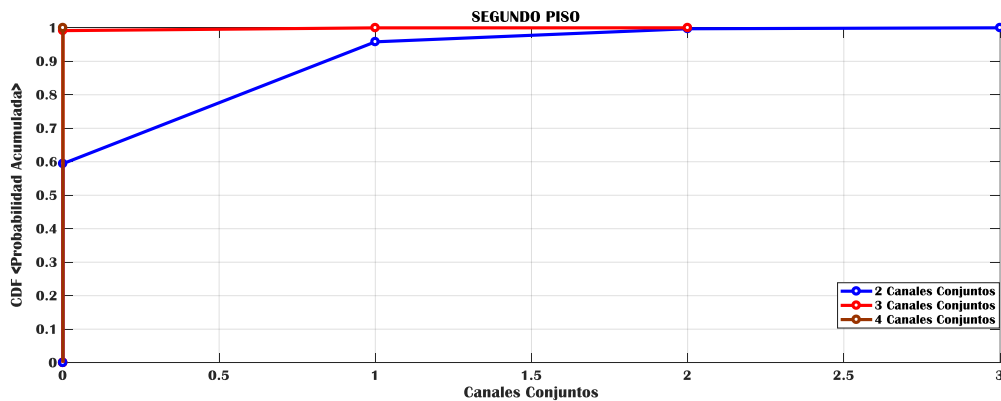


Figura 4.12: Disponibilidad acumulada de canales conjuntos (Segundo Piso)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Finalmente, mediante el análisis previo a las muestras tomadas en diferentes niveles de una edificación ubicada en una zona densamente poblada, se demuestra que existen canales individuales o conjuntos que ofrecen una disponibilidad temporal o total en el mejor de los casos, dando la oportunidad de aprovechar dichos canales disponibles para uso de otras tecnologías y reducir en menor grado el eventual problema de escasez del espectro radioeléctrico provocado por el inminente incremento de las nuevas tecnologías.

Debido a un incremento de la potencia receptada en cada canal de la banda de frecuencia de televisión UHF a medida que se asciende en los pisos del edificio, queda claro que la disponibilidad de canales individuales como de canales conjuntos disminuye, por el hecho que las potencias aumentan considerablemente en comparación con la potencia umbral.

El aumento de potencias conforme aumenta la altura se debe a que en las instalaciones superiores del edificio no existen tantos obstáculos como en los pisos inferiores. Un edificio que se encuentre ubicado en una zona urbana densa es propenso a estar rodeado por un número considerable de obstáculos (puertas, paredes, pisos, personas, etc.) que interfieren entre la señal propagada desde la antena trasmisora al receptor, provocando así un debilitamiento en la señal de potencia cada vez que colisiona con un obstáculo. En conclusión, a medida que aumenta la altura disminuyen los obstáculos por ende existe una línea de vista despejada entre transmisor y receptor.

La cantidad de canales disponibles individuales como conjuntos en el interior de un edificio es mayor en los pisos inferiores, promoviendo a que estos lugares sean los más indicados para hacer uso de transmisión y recepción en equipos de radio cognitiva mediante el uso de alternativas de acceso oportunista al espectro (OSA).

Los usuarios secundarios (SU) que pretenden hacer uso de los canales individuales o conjuntos deben considerar los espacios disponibles de tiempo y frecuencia exactos a lo largo de la semana tal y como se muestra en las gráficas de disponibilidad temporal por pisos; para así no interferir con el correcto funcionamiento de los usuarios primarios (PU). Tanto las gráficas de Niveles de potencia por piso, disponibilidad por piso como las CDF de canales individuales y conjuntos corroboran todo lo anteriormente dicho.

RECOMENDACIONES

Debido al propósito del tema de estudio el cual involucra determinar la disponibilidad de canales conjuntos dentro de un edificio ubicado en una zona muy concurrida, se recomienda trabajar en la banda de frecuencia UHF, debido a sus características de propagación esta banda es recomendada a utilizar en espacios cerrados o interiores, además de ser más penetrantes y menos propensa a interferencias.

La configuración de los parámetros y la instalación correcta de los complementos del software a través de Matlab juegan un papel muy importante, ya que sin estos es posible que el algoritmo de captura de datos no detecte correctamente el receptor SDR-RTL o en su defecto una mala configuración provocaría una recepción de datos erróneos.

Es preciso ubicar el dispositivo SDR-RTL lejos de lugares que produzcan calor y mantenerlo con una adecuada ventilación, ya que en el proceso de captura de datos se producen temperaturas elevadas en su interior y podría averiarse, por ende, es de vital importancia darle periodos de reposo y mantener bajo vigilancia continua para así evitar fallos y pausas no deseadas en las mediciones.

Para determinar la potencia de promedio de recepción de los canales, en la banda de frecuencia UHF-TV con la que más tarde se comparara la potencia umbral para determinar disponibilidad, es necesario especificar que canales son digitales, analógico o simplemente están libres, ya que de acuerdo a su clasificación se procede a encontrar su potencia promedio.

Para determinar la potencia promedio de un canal analógico es preciso ubicarse a 1.25 MHz de la frecuencia inicial del canal, es decir en la portadora de video. Una vez ubicado en la portadora se procede a tomar los valores de potencias que se encuentren 25 KHz a la derecha como a la izquierda de la portadora, para posteriormente encontrar un promedio de esos datos que corresponde a la potencia promedio del canal analógico. Por otro lado, para los canales digitales se procede a ubicarse donde exista el 90% de concentración de la señal del canal, para luego encontrar un promedio el cual sería la potencia promedio del canal digital. Por último, la potencia promedio de un canal libre es el promedio de todos sus datos

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Swine, Frank, «BBC Mundo,» 26 Octubre 2013. [En línea]. Available: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/10/131025_tecnologia_banda_ancha_saturacion_espectro_amv_finde.
- [2] Belén Cavanillas, «smartLighting,» 10 Febrero 2016. [En línea]. Available: <http://smart-lighting.es/el-70-de-los-habitantes-seran-usuarios-de-datos-moviles-en-2020-segun-informe-de-cisco-vni-mobile/>.
- [3] Universidad Politécnica de Catalunya, «UPCommons,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/12749?show=full>.
- [4] Webmaster La Prensa, «La Prensa / Economía,» 6 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.laprensa.com.ni/2014/09/06/economia/210889-optimizacion-del-uso-del-espectro-radioelectrico>.
- [5] D. Muñoz Solano, «Seminario Universidad,» 5 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <https://semanariouniversidad.com/cultura/sutel-reconoce-caos-en-uso-del-espectro-radioelctrico/>.
- [6] Galeano Gómez, Esteban, «Revista Cronopio,» 11 Noviembre 2009. [En línea]. Available: <http://blog.revistacronopio.com/?p=129#more-129>.
- [7] Daniel Ospina, Andrés F. Ocampo, Roberto Hincapié, «Aplicación de esquemas de Acceso Oportunista al Espectro en ambientes inalámbricos heterogéneos,» Revista en Telecomunicaciones e Informática, Vol. 1, Nº 1, pp. 49-71, Medellín - Colombia. Enero - Junio del 2011, ISSN 0120-131X. [En línea]. Available: <https://revistas.upb.edu.co/index.php/telecomunicaciones/article/viewFile/1250/1142>
- [8] Ian F.Akyildiz, Won-YeolLee, Mehmet C.Vuran, ShantidevMohanty, «"NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey",» Computer Networks, vol. 50, nº 13, pp. 2127-2159, 15 septiembre 2006. [En línea].

Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128606001009>

[9] Jorge Gómez, Washington Medina, Francisco Novillo, «"Modeling Channel Availability in TV Bands for Devices with OSA Capabilities in Urban Zones",» de 7ª Conferencia Latinoamericana de IEEE sobre Comunicaciones, Arequipa, 2015. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/291704578_Modeling_Channel_Availability_in_TV_Bands_for_Devices_with_OSA_Capabilities_in_Urban_Zones

[10] E. D. Troya Chanta, «"IDENTIFICACIÓN DE WHITE SPACES EN LA BANDA VHF/UHF PARA LA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE RADIO COGNITIVA EN LA CIUDAD LOJA",» Loja - Ecuador, 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11407/1/Troya%20Chanta%20%20Edison%20Dario.pdf>

[11] J. Luque Ordoñez, «Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico». [En línea]. Available: http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf

[12] M. d. I. A. Virguez, «Los 8 tipos de ondas electromagnéticas y sus características,» Venezuela, 2016. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/tipos-de-ondas-electromagneticas/>

[13] Camila Salgado, Hans Márquez, Víctor Gómez, «Técnicas inteligentes en la asignación de Espectro dinámica para Redes Inalámbricas Cognitivas,» Revista Tecnura, vol. 20, nº 49, pp. 135-153, 2016. [En línea]. Available: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/Tecnura/article/view/10981/11904>

[14] A. Galvis Quintero, «ACCESO DINAMICO AL ESPECTRO: ESTADO ACTUAL, TENDENCIAS Y RETOS,» 2008. [En línea]. Available: <http://biblioteca.ucp.edu.co/ojs/index.php/entrecei/article/viewFile/1952/1858>

[15] Capitulo 2, «Radio Cognitiva» [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/894/A5.pdf?sequence=5>

[16] C. Gómez, «TV WHITE SPACES: MANAGING SPACES OR BETTER MANAGING INEFFICIENCIES?,» 2013. [En línea]. Available: http://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/GSR/Documents/GSR_paper_WhiteSpaces_Gomez.pdf

[17] «Televisión Digital,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://tvdigitalepn.blogspot.com/p/blog-page.html>.

[18] Fernando Laya Gutiérrez; Jorge Rico Ramón, «COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA PARA TELEVISIÓN, VÍDEO Y ELECTRÓNICA DE CONSUMO». [En línea]. Available: https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_01_02/EMC_TV/Compatibilidad.htm

[19] AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES, RESOLUCIÓN ARCOTEL-2015-. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analogafinal.pdf>

[20] José Antonio, «Tecnología Inalámbrica,» 2009. [En línea]. Available: <http://tecinal.blogspot.com/>

[21] Dairox, « ¿Qué es y cómo funciona el 4G?,» México, 19 Marzo del 2014. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/celulares-y-smartphones/que-es-y-como-funciona-el-4g>

[22] radiotelefonos.org, « ¿Cuál es la diferencia entre los radios de comunicación UHF y los VHF?». [En línea]. Available: <http://radiotelefonos.org/diferencia-radios-de-comunicacion-uhf-y-vhf/>

[23] ARCOTEL, «NORMA TECNICA DE RADIODIFUSION DE TELEVISION DIGITAL TERRESTRE,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2016/06/norma-television-digital-terrestre.pdf>

[24] Qing Zhao, Ananthram Swami, «A SURVEY OF DYNAMIC SPECTRUM ACCESS: SIGNAL PROCESSING AND NETWORKING PERSPECTIVES,» 2007. [En línea]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.125.7505&rep=rep1&type=pdf>

[25] DiploMagic, «Diferentes sistemas de TV». [En línea]. Available: <http://diplomagic.com/trucos-utiles/mudanzas-y-traslados/531-sistemastv.html>

[26] «Sistemas de Televisión del Mundo,» Mayo, 2000. [En línea]. Available: http://electronica.ugr.es/~amroldan/asignaturas/curso01-02/tv1/material/guia_tv.htm

[27] EcuRed, «PAL». [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/PAL>

[28] Eduard Lara, «UD-4 NTSC, PAL, SECAM». [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/73678320/NTSC-PAL-SECAM>

[29] Curso Completo de TV, «Normas de TV». [En línea]. Available: <http://curso-completo-de-tv.com/apendice/normas-de-tv/>

[30] Carlos García Quiroz, «Fundamentos Técnicos de la Ingeniería de la Producción, Norma NTSC,» México, 2003. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/89070636/Fundamentos-de-la-Norma-NTSC>

[31] V.D. Chakravarthy, Z. Wu, A. Shaw, M.A. Temple, R. Kannan, F. Garber, «A General Overlay/Underlay Analytic Expression Representing Cognitive Radio Waveform,» 2007. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/201170653/A-General-Overlay-Underlay-Analytic-Expression-Representing-Cognitive-Radio-Waveform>

[32] Centro Internacional de Televisión Abierta, «TV Digital» 2009. [En línea]. Available: <http://www.centrotv.org/es/tv-digital>

[33] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, «Qué es el dividendo digital y en qué consiste su liberación,» Madrid, España. [En línea]. Available: <http://www.televisiodigital.gob.es/DividendoDigital/Paginas/dividendo-digital.aspx>

[34] Constantino Pérez Vega, «TRANSMISION DE TELEVISION DIGITAL,» Universidad de Cantabria, 25 Febrero, 2014. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/242127622_TRANSMISION_DE_TELEVISION_DIGITAL

[35] Valentina Ulibarri, «Ecuador retrasa su apagón analógico para el 2018,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.todotvnews.com/news/Ecuador-retrasa-su-apagon-analogico-para-el-2018.html>

[36] Televisión Digital Terrestre Ecuador (TDT), «Televisión Digital Terrestre». [En línea]. Available: <https://tdtecuador.mintel.gob.ec/preguntas-frecuentes/>

[37] IEEE Xplore Digital Library, «Co-channel and adjacent channel interference mitigation in cognitive radio networks,» 2012. [En línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6127445/>

[38] RF Wireless World, «Home of RF and Wireless Vendors and Resources,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/rf-interference.html>

ANEXOS

ANEXO A1

| Parámetros Básicos | PAL B-G-H | PAL I | PAL D | PAL N | PAL M |
|-------------------------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Líneas/Campos | 625/50 | 625/50 | 625/50 | 625/50 | 525/60 |
| Frecuencia Horizontal | 15.625 kHz | 15.625 kHz | 15.625 kHz | 15.625 kHz | 15.734 kHz |
| Frecuencia vertical | 50 Hz | 50 Hz | 50 Hz | 50 Hz | 60 Hz |
| Frecuencia de la portadora de color | 4.433618 MHz | 4.433618 MHz. | 4.433618 MHz | 3.582056 MHz | 3.575611 MHz |
| Ancho de banda de video | 5.0 MHz | 5.5 MHz | 6.0 MHz | 4.2 MHz | 4.2 MHz |
| Portadora de sonido | 5.5 MHz (FM) | 6.0 MHz | 6.5 MHz | 4.5 MHz | 4.5 MHz |

Tabla A1. 1: Clasificación de sistemas PAL

| Parámetros Básicos | SECAM B-G-H | SECAM D-K-K1-L |
|-------------------------|--------------|----------------|
| Líneas/campos | 625/50 | 625/50 |
| Frecuencia horizontal | 15.625 kHz | 15.625 kHz |
| Frecuencia vertical | 50 Hz | 50 Hz. |
| Ancho de banda de video | 5.0 MHz | 6.0 MHz |
| Portadora de sonido | 5.5 MHz (AM) | 6.5 MHz (AM) |

Tabla A1. 2: Clasificación de sistemas SECAM

| CANALES UHF | | | |
|------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| CANAL FÍSICO No. | FRECUENCIA INICIAL (MHz) | FRECUENCIA FINAL (MHz) | FRECUENCIA CENTRAL (MHz) |
| 14 | 470 | 476 | 473 + 1/7 |
| 15 | 476 | 482 | 479 + 1/7 |
| 21 | 512 | 518 | 515 + 1/7 |
| 22 | 518 | 524 | 521 + 1/7 |
| 23 | 524 | 530 | 527 + 1/7 |
| 24 | 530 | 536 | 533 + 1/7 |
| 25 | 536 | 542 | 539 + 1/7 |
| 26 | 542 | 548 | 545 + 1/7 |
| 27 | 548 | 554 | 551 + 1/7 |
| 28 | 554 | 560 | 557 + 1/7 |
| 29 | 560 | 566 | 563 + 1/7 |
| 30 | 566 | 572 | 569 + 1/7 |
| 31 | 572 | 578 | 575 + 1/7 |
| 32 | 578 | 584 | 581 + 1/7 |
| 33 | 584 | 590 | 587 + 1/7 |
| 34 | 590 | 596 | 593 + 1/7 |
| 35 | 596 | 602 | 599 + 1/7 |
| 36 | 602 | 608 | 605 + 1/7 |
| 38 | 614 | 620 | 617 + 1/7 |
| 39 | 620 | 626 | 623 + 1/7 |
| 40 | 626 | 632 | 629 + 1/7 |
| 41 | 632 | 638 | 635 + 1/7 |
| 42 | 638 | 644 | 641 + 1/7 |
| 43 | 644 | 650 | 647 + 1/7 |
| 44 | 650 | 656 | 653 + 1/7 |
| 45 | 656 | 662 | 659 + 1/7 |
| 46 | 662 | 668 | 665 + 1/7 |
| 47 | 668 | 674 | 671 + 1/7 |
| 48 | 674 | 680 | 677 + 1/7 |
| 49 | 680 | 686 | 683 + 1/7 |
| 50 | 686 | 692 | 689 + 1/7 |
| 51 | 692 | 698 | 695 + 1/7 |

Tabla A1. 3: Distribución de canales UHF

Grupo de canales

| GRUPO | CANAL |
|-------|-------|
| A1 | 2 |
| | 4 |
| | 5 |
| A2 | 3 |
| | 6 |

| GRUPO | CANAL |
|-------|-------|
| B1 | 8 |
| | 10 |
| | 11 |
| B2 | 7 |
| | 9 |
| | 11 |
| | 13 |

| GRUPO | CANAL | GRUPO | CANAL | GRUPO | CANAL | GRUPO | CANAL |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| G1 | 14 | G2 | 15 | G3 | 39 | G4 | 38 |
| | 21 | | 22 | | 41 | | 40 |
| | 23 | | 24 | | 43 | | 42 |
| | 25 | | 26 | | 45 | | 44 |
| | 27 | | 28 | | 47 | | 46 |
| | 29 | | 30 | | 49 | | 48 |
| | 31 | | 32 | 51 | 50 | | |
| | 33 | | 34 | | | | |
| 35 | 36 | | | | | | |

Tabla A1. 4: Grupos de canales para televisión

Intensidad de Campo Mínima a Proteger

| BANDA | BORDE DE AREA DE COBERTURA SECUNDARIA | BORDE AREA DE COBERTURA PRINCIPAL |
|--------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| I | 47 dBuV/m | 68 dBuV/m |
| III | 56 dBuV/m | 71 dBuV/m |
| IV Y V | 64 dBuV/m | 74 dBuV/m |

Tabla A1. 5: Intensidad de campo mínima

Relaciones de Protección Señal Deseada / Señal No Deseada

| RELACIÓN DE PROTECCIÓN PARA LA SEÑAL DE IMAGEN | |
|---|--|
| <i>Interferencia Co-canal</i> | |
| Separación entre Portadoras | Relación señal deseada/señal interferente |
| Inferior a 1000Hz | 45 dB |
| 1/3, 2/3, 4/3, ó 5/3 de la frecuencia de línea | 28 dB |
| <i>Interferencia de Canales Adyacentes</i> | |
| Interferencia | Relación señal deseada/señal interferente |
| Del canal inferior | -6 dB |
| Del canal superior | -12 dB |
| RELACIÓN DE PROTECCIÓN PARA SEÑAL DE SONIDO | |
| Relación señal deseada / señal Interferente | |
| 28 dB | |

Tabla A1. 6: Relación de protección

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

| | | | | |
|---------------------------|----|---------|--------|--------|
| (614-644 MHz) | 41 | 632-638 | 633,25 | 637,75 |
| | 42 | 638-644 | 639,25 | 643,75 |
| UHF V (644-698 MHz) | 43 | 644-650 | 645,25 | 649,75 |
| | 44 | 650-656 | 651,25 | 655,75 |
| | 45 | 656-662 | 657,25 | 661,75 |
| | 46 | 662-668 | 663,25 | 667,75 |
| | 47 | 668-674 | 669,25 | 673,75 |
| | 48 | 674-680 | 675,25 | 679,27 |
| | 49 | 680-686 | 681,25 | 685,75 |
| | 50 | 686-692 | 687,25 | 691,75 |
| | 51 | 692-698 | 693,25 | 697,75 |

Tabla A1. 7: Canalización de las bandas de radiodifusión de televisión abierta

ANEXO A2

Algoritmo Matlab

Matriz de disponibilidad de canales conjuntos

//Limpiar consola y variables de entorno.

```
clc;
```

```
clear;
```

```
LIMITE_CANALES = 31;
```

```
matriz_disponibilidad = xlsread('Matriz_Disp_PISO1.xlsx');
```

```
dim = size(matriz_disponibilidad);
```

```
num_filas = dim(1);
```

```
num_cols = dim(2);
```

//Se crea la Matriz de Canales Conjuntos

```
matriz_canales_conjuntos = zeros(num_filas, 2*(num_cols-1));
```

```
for i = 1:num_filas
```

```
    disponibilidad_tiempo = matriz_disponibilidad(i,:);
```

```
    j = 1;
```

```
    for num_veces_cc = 2:num_cols
```

```
        [existe_cc, veces_cc] =
```

```
        calcularCanalesConjuntosXTiempo(num_veces_cc,  
        disponibilidad_tiempo);
```

```
        matriz_canales_conjuntos(i,j) = existe_cc;
```

```
        j = j + 1;
```

```
        matriz_canales_conjuntos(i,j) = veces_cc;
```

```
        j = j + 1;
```

```
    end
```

```
end
```

//Se crea la Matriz de Disponibilidad + Canales Conjuntos (Se unen ambas)

```
matriz_resultado = [matriz_disponibilidad,
```

```
matriz_canales_conjuntos];
```

//Se crean los títulos para la presentación de los datos

```
nombres_campos = {};
```

```
j = 1;
```

```
for i = 1: LIMITE_CANALES
```

```
    nombres_campos{j} = strcat('ch',int2str(j));
```

```
    j = j + 1;
```

```
end
```

```
veces_titulo = 2;
```

```

for i = 1:num_cols-1
    nombres_campos{j} = strcat('CanalCon ',
int2str(veces_titulo));
    j = j + 1;
    nombres_campos{j} = strcat('Cantidad
',int2str(veces_titulo));
    j = j + 1;
    veces_titulo = veces_titulo + 1;
end

```

//Se Crea el Reporte de Datos Finales

```

MD = array2table(matriz_resultado, 'VariableNames',
nombres_campos);

```

//Se exporta el Reporte de Datos Finales a excel.

```

warning('off', 'MATLAB:xlswrite:AddSheet');
writetable(MD,'matriz_cc.xlsx','Sheet',1);

```

//Función que retorna si existe un canal conjunto y el número de veces que se repite

```

function [existe_cc, veces_cc] =
calcularCanalesConjuntosXTiempo(num_veces_cc,
disponibilidad_tiempo)
    dim = size(disponibilidad_tiempo);
    tamaño = dim(2);
    loop = 1;
    i = 1;
    tmp = [0,0];
    while loop == 1
        f = i+num_veces_cc-1;
        if f <= tamaño
            if sum(disponibilidad_tiempo(i:f)) == num_veces_cc
                tmp(2) = tmp(2) + 1;
                if tmp(1) == 0
                    tmp(1) = 1;
                end
                i = f + 1;
            else
                i = i + 1;
            end
        else
            loop = 0;
        end
    end
    existe_cc = tmp(1);
    veces_cc = tmp(2);
end

```