



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN ESPECTRAL, ANÁLISIS Y MODELAMIENTO
ESTADÍSTICO DE LA DISPONIBILIDAD DE CANALES EN LA
BANDA VHF – TV EN EL INTERIOR DE UN EDIFICIO EN UNA
ZONA URBANA EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

JACHO BARRETO HENRY MARCELO

PEREIRA OLIVES JULIO CESAR

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTO

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestros familiares, a las personas, amigos maestros y colaboradores que directa o indirectamente nos han ayudado y brindado su confianza a lo largo de nuestra vida universitaria. A nuestros padres, quienes son la parte importante y fundamental dentro de nuestra formación personal y profesional, y que además nos dieron todo su apoyo y los recursos necesarios para culminar con el objetivo.

Al Ingeniero Jorge Gómez, nuestro tutor, por guiarnos, por su dedicación y vocación de enseñanza para con sus alumnos, por su colaboración y paciencia durante todo el desarrollo de este proyecto. Y principalmente a Dios por ofrecernos salud, fuerzas y vida para la culminación de este proyecto.

DEDICATORIA

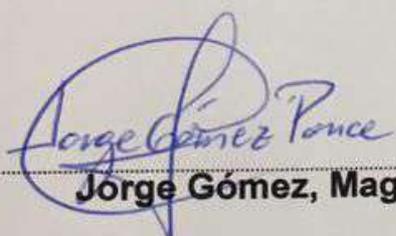
El presente trabajo es dedicado Dios por ofrecerme sus bendiciones, a mi padre Julio que siempre me brindó su apoyo y motivación, a mi madre Patricia que me dio la vida y jamás desistió su confianza para conmigo, a mi tía Rocío por enseñarme el valor de estudiar, formarse y aprender diariamente para días mejores, a mi novia Kerly la incansable mujer que siempre me apoyo incondicionalmente, a sus padres y familiares que siempre me tuvieron en sus consideraciones, a familiares y amigos, que confiaron en mí e incitaron valor para seguir y a los que no, también gracias porque me dieron motivación y fortaleza para demostrar lo contrario, y finalmente agradezco infinitamente a mis abuelos seres tan especiales que me regalaron su cariño, confianza y amor desde casi mi nacimiento sin exigir nada a cambio, este trabajo es dedicado principalmente para ellos, a las dos personas que se volvieron mis padres a lo largo del transcurso de mi vida, Esther mi madre y Eulogio mi padre.

Julio Cesar Pereira Olives.

El presente proyecto lo dedico a mi padre Marcelo y a mi madre Consuelo que supieron darme la motivación, confianza y apoyo para superar los obstáculos que se presentaron durante cada fase de mi vida. A mi tía Leticia, por su apoyo incondicional y a mis amigos que estuvieron durante el transcurso de mi vida universitaria con los cuales tuve momentos divertidos.

Henry Marcelo Jacho Barreto

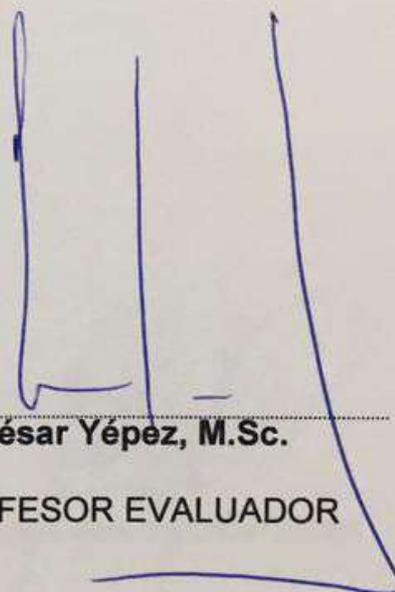
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Jorge Gómez Ponce

Jorge Gómez, Mag.

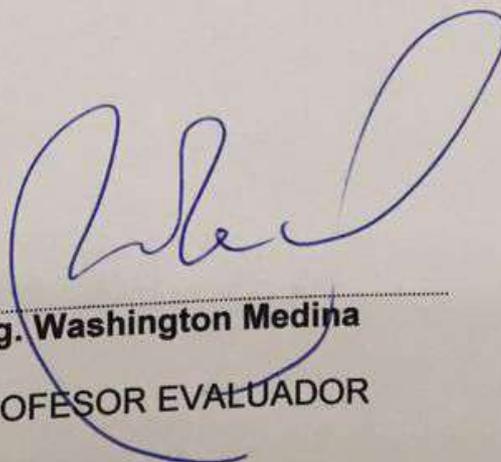
PROFESOR EVALUADOR



César Yépez

César Yépez, M.Sc.

PROFESOR EVALUADOR



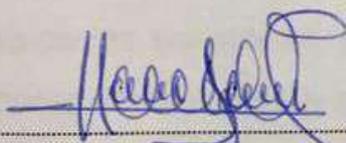
Washington Medina

Ing. Washington Medina

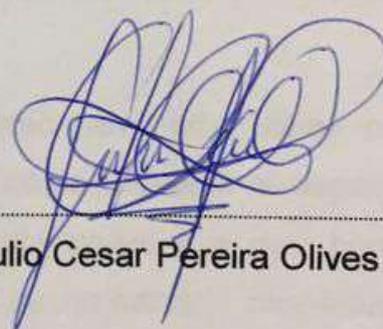
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

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



Henry Marcelo Jacho Barreto



Julio Cesar Pereira Olives

RESUMEN

La tecnología ha ido evolucionando inmensurablemente en beneficio y a favor de la sociedad, y a su vez se ha venido dando el incremento de equipos y dispositivos en cuanto al uso de la tecnología inalámbrica. Esto ha generado la co-dependencia de la misma en nuestras labores cotidianas, volviéndose una costumbre y hasta una necesidad. En consecuencia, debido al excesivo uso de estos equipos los recursos que están asignados para ellos se están volviendo más escasos, uno de estos recursos es el espectro radioeléctrico el cual permite que estos equipos puedan realizar sus funciones sin ningún problema.

Las consecuencias del problema antes mencionado son la calidad del servicio, saturación, capacidad, cobertura, interferencia. Pero el detalle radica en que el espectro, a pesar de ser un recurso renovable no es ilimitado, lo que ha motivado a buscar soluciones para suplir esta necesidad.

Una de las soluciones que se ha presentado en la actualidad para poder utilizar este recurso de una forma más eficiente, es el criterio de acceso dinámico al espectro (DSA) el cual permite organizar que los equipos puedan acceder a otra banda disponible y licenciada, en el momento que se requiera de un servicio respetando ciertas especificaciones establecidas. Uno de los componentes importantes para el desarrollo de sistemas que cumplan con el criterio DSA, es determinar la disponibilidad de bandas espectrales que no están usadas (espacios en blanco) las cuales van a permitir, que un nuevo sistema haga uso de esa banda en un instante de tiempo determinado. Por tal motivo; es necesario realizar un análisis de disponibilidad de espectro y modelar el comportamiento a través del tiempo para conocer cómo se comporta los canales de una banda específica.

En este contexto, el siguiente estudio pretende analizar la disponibilidad de espectro en la banda VHF-TV en una zona urbana, así también del comportamiento de esta parte del espectro en un escenario interno de un edificio para su posterior modelamiento el cual describa la conducta del mismo en el transcurso del tiempo.

Los resultados obtenidos al final de la experimentación determinaron que en el piso 16 la disponibilidad fue de 0 canales, en el caso del piso 9 se obtuvo un intervalo de

2 a 4 canales disponibles, el cual representa desde 12 a 24 MHz de ancho de banda, ninguno de estos canales son contiguos. Finalmente; en la planta baja la disponibilidad aumentó considerablemente con respecto al piso 9, se obtuvo un promedio de entre 10 y 11 canales disponibles, lo cual determina que exista un ancho de banda aproximado de 60 a 66 MHz, la cual es una cantidad considerable de espectro. De la cantidad de canales mencionados, solo 6 son canales contiguos.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| AGRADECIMIENTO | ii |
| DEDICATORIA | iii |
| TRIBUNAL DE EVALUACIÓN | iv |
| DECLARACIÓN EXPRESA | v |
| RESUMEN | vi |
| ÍNDICE GENERAL..... | viii |
| ABREVIATURAS | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xiv |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Problema a resolver | 2 |
| 1.3 Justificación | 3 |
| 1.4 Objetivos..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo general | 4 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.5 Metodología..... | 4 |
| 1.6 Alcance..... | 5 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 2..... | 7 |
| 2. ESTADO DEL ARTE | 7 |
| 2.1 Características la señal VHF – TV..... | 8 |
| 2.2 Parámetros de los transmisores de televisión analógica..... | 9 |
| 2.3 Sistema de telecomunicaciones asignado (VHF – TV)..... | 11 |
| 2.4 Problemas en la transmisión – recepción en sistemas VHF – TV | 12 |
| 2.5 Reglamentación y regulaciones en Ecuador | 13 |
| 2.6 Radio cognitiva, Acceso Dinámico al Espectro (DSA) y Espacios en Blanco (TVWS)..... | 14 |
| 2.7 Estudios realizados sobre TVWS | 16 |
| CAPÍTULO 3..... | 18 |
| 3. ESCENARIO DE ESTUDIO | 18 |
| 3.1 Descripción del escenario..... | 18 |
| 3.2 Descripción de equipos y proceso de medición..... | 19 |
| 3.3 Sistematización. | 21 |
| 3.4 Comparativa de umbral y probabilidad estadística. | 23 |
| CAPÍTULO 4..... | 28 |
| 4. ANÁLISIS DE LOS DATOS Y GRÁFICAS RESULTANTES..... | 28 |
| 4.1 Descripción..... | 28 |
| 4.2 Ubicación geográfica del escenario de las mediciones | 28 |
| 4.3 Valores para la configuración del equipo y software de medición | 30 |

| | | |
|--|--|----|
| 4.4 | Análisis de las mediciones en planta baja y piso 9..... | 31 |
| 4.5 | Disponibilidad instantánea entre dos pisos | 38 |
| 4.6 | CDF por canal y comparación con funciones estadísticas | 39 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 44 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 46 |
| ANEXOS..... | | 50 |
| Anexo 1: Toma de datos de potencia recibida | | 50 |
| Anexo 2: Medición realizada en el piso 16 (Edificio WTC) | | 51 |
| Anexo 3: Medición realizada en el piso 9 (Edificio WTC) | | 51 |
| Anexo 4: Medición realizada en la planta baja (Edificio WTC) | | 52 |

ABREVIATURAS

| | |
|-------------|--|
| ARCOTEL: | Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones |
| CDF: | Función de Distribución Acumulada |
| DSA: | Acceso Dinámico al Espectro |
| FCC: | Federal Communications Commission |
| Gant: | Ganancia de la antena |
| Gursp: | Ganancia del USRP |
| ITU: | Unión Internacional de Telecomunicaciones (por sus siglas en ingles) |
| Lc: | Perdidas por cables |
| Lcon: | Perdidas por conectores |
| λ : | Potencia umbral |
| Pant: | Potencia real a la entrada de la antena |
| NTSC: | Comité Nacional de Servicio de Televisión |
| OSA: | Acceso al Espectro de manera Oportunista |
| SDR: | Radio definido por Software |
| S/N: | Relación señal - ruido |
| TDT: | Televisión Digital Terrestre |
| TVWS: | TV White Spaces |
| USRP: | Universal Serial Radio Peripheral |
| UHF: | Ultra High Frequency |
| VHF: | Very High Frequency |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1: Máscara de una señal VHF- TV..... | 9 |
| Figura 2.2: Topología para la transmisión-recepción de una señal de televisión analógica | 11 |
| Figura 2.3: Diagrama de las mediciones..... | 14 |
| Figura 2.4: White spaces en una banda de frecuencia..... | 15 |
| Figura 3.1: Escenario de las mediciones | 19 |
| Figura 3.2: Etapas para la toma de datos | 20 |
| Figura 3.3: Diagrama de flujo del algoritmo de captura | 22 |
| Figura 4.1: Distancia entre el edificio y las antenas de transmisión..... | 29 |
| Figura 4.2: Perfil de elevación (desde torres de transmisión hasta edificio WTC) | 29 |
| Figura 4.3: Niveles de potencia recibidos (planta baja) | 33 |
| Figura 4.4: Niveles de potencia recibidos (piso 9) | 34 |
| Figura 4.5: Disponibilidad momentánea (planta baja)..... | 36 |
| Figura 4.6: Disponibilidad momentánea (piso 9)..... | 37 |
| Figura 4.7: Disponibilidad temporal..... | 38 |
| Figura 4.8: Modelo estadístico del canal 5 comparado con otras funciones estadísticas..... | 39 |
| Figura 4.9: Modelo estadístico del canal 7 comparado con otras funciones estadísticas..... | 40 |
| Figura 4.10: Modelo estadístico del canal 9 comparado con otras funciones estadísticas..... | 41 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.11: Modelo estadístico del canal 13 comparado con otras funciones estadísticas | 41 |
| Figura 4.12: Canales 5 y 7 con modelos estadísticos para comparar..... | 42 |
| Figura 4.13: Canales 9 y 13 con modelos estadísticos para comparar..... | 43 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Parámetros del estándar NTSC | 8 |
| Tabla 2: Parámetros de operación de EcuadorTV | 10 |
| Tabla 3: Parámetros de operación de GamaTV..... | 10 |
| Tabla 4: Valores de intensidad de campo eléctrico..... | 13 |
| Tabla 5: Parámetros de configuración | 30 |
| Tabla 6: Distribución de los canales según el rango de frecuencias..... | 53 |
| Tabla 7: Grupos de canales para televisión VHF..... | 53 |
| Tabla 8: Relación de protección..... | 54 |
| Tabla 9: Test K – S para canales en la planta baja..... | 54 |
| Tabla 10: Test K – S para canales en el piso 9 | 54 |

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Antecedentes

En la actualidad, el uso y distribución del espectro radioeléctrico no es eficiente lo cual conlleva a buscar mejoras, debido a que en el futuro si no se soluciona este problema puede ocasionar inconvenientes graves por motivo de la presencia de nuevas tecnologías móviles o servicios modernos solicitados por los clientes.

Esto, combinado con el hecho de que el espectro radioeléctrico es un recurso renovable pero limitado, ha motivado la búsqueda de nuevas formas de asignación de este recurso para poder satisfacer la demanda de un mayor ancho de banda. Por lo cual; conlleva a un desafío de afrontar nuevos paradigmas que a su vez se transformen en reglamentaciones para una administración optima del espectro [1].

Uno de los segmentos de espectro más observados para poder aplicar estas nuevas políticas es la banda de televisión tanto en UHF como en VHF porque si existiese disponibilidad en los canales de la banda seleccionada, se podría hacer uso de los segmentos de espectro que no estén siendo aprovechados sin interferir a los usuarios principales. De esta manera; se puede descongestionar un canal que está siendo usado a su máxima capacidad.

En el caso de la banda de VHF – TV, este ofrece una gran oportunidad para poder ser usado con estos nuevos modelos, debido a que nuestro país entrará a un estado de transición de televisión analógica a digital. Por tal motivo; gran parte del espectro que corresponde a esta banda quedará libre y pueden ser reutilizadas para satisfacer los requerimientos actuales de comunicación que es fomentar la calidad, seguridad y cobertura de los servicios de telecomunicaciones, así como los demás puntos que corresponden al objetivo 11.3 del Plan Nacional del Buen Vivir [2].

1.2 Problema a resolver

Los servicios móviles se van incrementando de una manera rápida, por lo cual se ha hecho necesario una mayor asignación del espectro radioeléctrico. Sin embargo; el problema mayor radica en el uso ineficiente del mismo, por esta razón se ha generado la búsqueda de soluciones que permitan disminuir dichos inconvenientes.

La cobertura de señal en edificios ubicados en zonas densas, por su propia estructura provoca pérdidas de potencia, atenuaciones y variaciones en la señal recibida. En consecuencia, provocan que parte del espectro este subutilizado, lo que indicaría que existen canales desocupados por intervalos de tiempo [3], [4].

La señal de VHF – TV no está bajo demanda de usuarios, con lo cual se determina que los canales que corresponden a esta banda no están siendo utilizados en toda su capacidad o trabajan por determinados intervalos de tiempo en diferentes niveles de actividad. Sin embargo; al no existir muchos canales adyacentes con lo cual se previene la interferencia y la existencia de pocos canales en esta banda, provoca que no todo el ancho de banda este siendo utilizado de una manera eficiente lo que indica que el problema radica en el desperdicio de espectro.

Por otro lado; la llegada de la televisión digital terrestre (TDT) a nuestro país, implica que parte del espectro que está siendo utilizado por la televisión analógica pasa a ser un rango de frecuencias disponibles. Por lo tanto; permitirá una administración más eficiente del espectro, pero el no tener un objetivo claro del nuevo uso que se podría dar a esta banda de frecuencia [5], podría volverse un problema reincidente, aunque una buena opción serían los servicios de banda ancha móvil.

1.3 Justificación

Para resolver los problemas indicados en el literal anterior es necesario aplicar nuevos paradigmas en la asignación del espectro. Una de las posibles soluciones que se puede aplicar son las tecnologías con sistemas DSA, la cual permite que dispositivos inteligentes puedan censar el espectro y puedan reutilizar la frecuencia sin interferir con usuarios primarios.

La situación reglamentaria y saturación del espectro son algunos de los inconvenientes que afectan a zonas donde se necesita más espectro con el que se encuentra trabajando. Para los sistemas que trabajan en bandas licenciadas, se debe garantizar que su aprovechamiento sea mayor y que los clientes no provoquen ni ocasionen interferencias [6].

Es necesario conocer el nivel de ocupación que tienen las bandas del sistema VHF - TV debido a que se pueden utilizar para otros tipos de servicios. Cabe resaltar, que en Ecuador la transición de televisión analógica a digital empezará en el 2016; lo cual nos sugiere que algunos canales quedarán libres, por consiguiente se necesitará menos espectro para transmitir un mayor número de canales.

Aprovechar los white spaces (TVWS) origina un gran interés para satisfacer la limitación del espectro y emplear de una manera correcta las fracciones de espectro de los canales que no estén siendo usados sin que se afecte al beneficiario principal [7].

Por esta razón; utilizar los “espacios en blanco” que se encuentren dentro del área de cobertura de la señal de televisión abierta, surge como una solución para mitigar la escasez de espectro siempre y cuando no se afecte la recepción de esta señal debido a la interferencia [8]. Dentro de este contexto; es necesario evaluar el espectro para determinar cómo es su comportamiento y disponibilidad temporal de canales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Determinar el comportamiento y disponibilidad de los canales de la banda VHF – TV en escenarios interiores con el objetivo de un eficiente uso y aprovechamiento del mismo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Medir los niveles de potencia recibidos de canales de la banda VHF en la parte interior de un edificio dentro de una zona urbana.
- Calcular la disponibilidad de canales y su nivel de aprovechamiento.
- Modelar las mediciones obtenidas para determinar su comportamiento mediante un análisis estadístico.
- Analizar la disponibilidad y eficiencia de los canales de la banda VHF – TV para disminuir los conflictos de escasez del espectro.

1.5 Metodología

Este proyecto consiste en realizar mediciones en el interior de un edificio en la zona urbana, se procederán a realizar las mediciones en 3 diferentes niveles del edificio y mostrar la disponibilidad de los canales que pertenecen a la señal de VHF - TV.

Cada piso será evaluado por mediciones espectrales a nivel de potencia recibida, que llega al interior del piso en el que se esté analizando. Estas mediciones serán receptadas por una antena, transmitidas a un dispositivo transceptor flexible (USRP) que consta de un software que distingue estas potencias en combinación con el paquete de comunicaciones de LabView, serán procesadas y archivadas a su vez en un equipo de cómputo que será en última instancia el destinatario de dichas mediciones.

Estos datos se almacenarán de forma independiente en una base de datos de Excel, este ciclo se repetirá durante el tiempo ya mencionado en cada piso, una vez receptados estos datos se procederá a elaborar la distinción entre potencias, se procesarán estos datos para identificar el comportamiento de disponibilidad de cada canal en el tiempo.

Una vez procesados los datos el siguiente paso será elaborar un modelo estadístico que se acople o aproxime a dicho comportamiento, esto utilizando tipos diferentes tipos de variables estadísticas, para así notar cual se ajusta más a la conducta de estos canales y a su vez distinguir el nivel de ocupación o disponibilidad de éstos.

1.6 Alcance

El alcance de este proyecto es extenso, en cuanto a expectativas, no solo a nivel institucional sino global, todo esto debido a la gran afluencia de usuarios de las redes inalámbricas mediante el uso del espectro ya sean estos por servicios móviles, equipos electrónicos, etc.

El estudio proporcionará el nivel de ocupación durante todo el tiempo; con lo cual pudiésemos conocer si es que este medio está siendo aprovechado de una manera eficaz, caso contrario nos conlleva a una reestructuración del mismo y determinar un modelo óptimo de asignación de frecuencias de trabajo.

Se pretende indagar acerca del uso del espectro en una banda específica (VHF-TV) y advertir que canales se encuentran libres o con un grado menor de ocupación; es decir; con un mayor nivel de disponibilidad se puede reusar la frecuencia para un uso más eficiente del espectro para la llegada de futuras tecnologías o por el contrario, demostrar su ocupación total.

En el Ecuador aún no está definido a ciencia cierta a que o quienes será atribuido este recurso, el poder y saber cómo re-utilizar el espectro con diferentes enfoques y porque no, a beneficio de las redes inalámbricas. En cuanto a la televisión digital y sus avances, nos brinda esta ventaja que por medio de cuatro canales digitales podrían ser representados en lo que es un canal analógico [9], por ende esto

brindará una disponibilidad de canales donde tecnologías que ya se encuentran en estudio podrían ser aplicadas.

A causa de estas investigaciones, entrarán en juego tecnologías como las de geo-localización con técnicas en bases de datos que protegerán a los usuarios titulares de la interferencia de usuarios secundarios, sino también brindará la disponibilidad de un canal en los espacios en blanco de televisión que se encuentren aptos, en consecuencia proporcionará niveles de energía seguros para la transmisión de tal manera que no causen intromisión para las redes a clientes principales [10].

Por este motivo y gracias a esta medida se está optando por explotar el área de sistemas de acceso oportunista al espectro donde se han implantado referencias acerca de la accesibilidad de beneficiarios secundarios a una red primaria sin que intervengan a los usuarios principales o primordial de dicha red aislándolos de la interferencia que provocarían a estos usuarios preferentes [11], todo esto utilizando modelos de propagación en edificios similares al de este proyecto.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

El espectro radioeléctrico es un recurso importante pero limitado, por lo cual en la actualidad se están explorando nuevas formas de maximizar su potencial, con el fin que contrarrestar las necesidades de los usuarios de los diferentes servicios de conectividad. La gestión, administración y asignación de bandas de frecuencias le corresponde al Estado, se los asigna dependiendo del servicio en un canal de frecuencias establecido a una región geográfica con la finalidad de impedir la interferencia con otros sistemas.

El espectro que no esté siendo utilizado en los canales que le corresponden a la banda de TV puede proporcionar el acceso a la información y comunicación. Indudablemente la búsqueda de los espacios de frecuencia libres en la banda de frecuencias ayudará para las nuevas aplicaciones inalámbricas para beneficiar a los usuarios.

Dado el problema y los objetivos planteados, es necesario conocer ciertos aspectos básicos del sistema VHF – TV, el espectro que ocupa esta banda tiene excelentes propiedades de propagación lo que provoca que esta banda sea óptima para el uso de servicios móviles, porque tiene una área de cobertura más extensa, la penetración de la señal en edificios y lugares donde exista una alta concentración de construcciones es buena [12]. Las propiedades mencionadas y la apertura de las bandas de televisión analógica a digital permitirán una transmisión de información a través de grandes distancias con lo cual se obtiene un incremento en la eficiencia del espectro. Los espacios en blanco que ofrece esta banda son diez veces mayor a las demás tecnologías que están por encima de 1 GHz [12].

2.1 Características la señal VHF – TV

Ecuador pertenece a la región 2 según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), que está conformada por América del Norte y del Sur. El sistema NTSC (National Television System Committee) por sus siglas en inglés, fue instaurado por Estados Unidos NTSC y es empleado en gran parte de América del Norte, Centro América, América del Sur y Japón. Haciendo una variación se tiene el sistema M/NTSC, el cual es el estándar para la televisión analógica para la transmisión y recepción. Este sistema cuenta con las propiedades técnicas que es decretada por la ITU y complementada por la Federal Communications Commission (FCC), en [13] nos muestra las características de este sistema que se presentan en la Tabla 1.

La definición del término “cuadros” se refiere a las imágenes que se transmiten; por otra parte cuando se fracciona al cuadro en dos partes se lo califica como campos, el objetivo de realizar la división es que al momento en que se emiten las imágenes y si se presenta el problema de parpadeo se lo corrige con la mencionada división; en conclusión la relación 60:30 señala 60 campos a 30 cuadros por segundo. También, hay que considerar que la relación de aspecto se explica como la razón entre la anchura y la altura de la pantalla.

| Estándar NTSC | |
|----------------------|-------|
| Ancho de Banda | 6 MHZ |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Líneas | 525 |
| Campos/Cuadros | 60/30 |
| Relación de Aspecto | 4:3 |

Tabla 1: Parámetros del estándar NTSC [14]

Una señal que use NTSC está compuesta por tres elementos: luminancia (imagen), crominancia (color) y la señal de audio. La figura 2.1 nos indica la máscara de una señal de VHF – TV, el ancho de banda de una señal de televisión es 6 MHz (señal en banda base) en este espacio se encuentran los componentes

de video y audio, la sub-portadora de color y las bandas de guarda entre los otros canales adyacentes [15] de ahí que; cada señal (audio y video) deber ser modulada de manera individual sobre una portadora.

Basados en [15] nos indica que la frecuencia de portadora de luminancia se encuentra a 1.25 MHz del límite inferior del canal y separada 4.5 MHz de esta portadora se encuentra la portadora de audio, también es correcto decir que dicha portadora se encuentra a 0.25 MHz antes del límite superior del canal. Para las transmisiones de televisión a color la portadora de crominancia está ubicada a 3.58 MHz de la portadora de imagen.

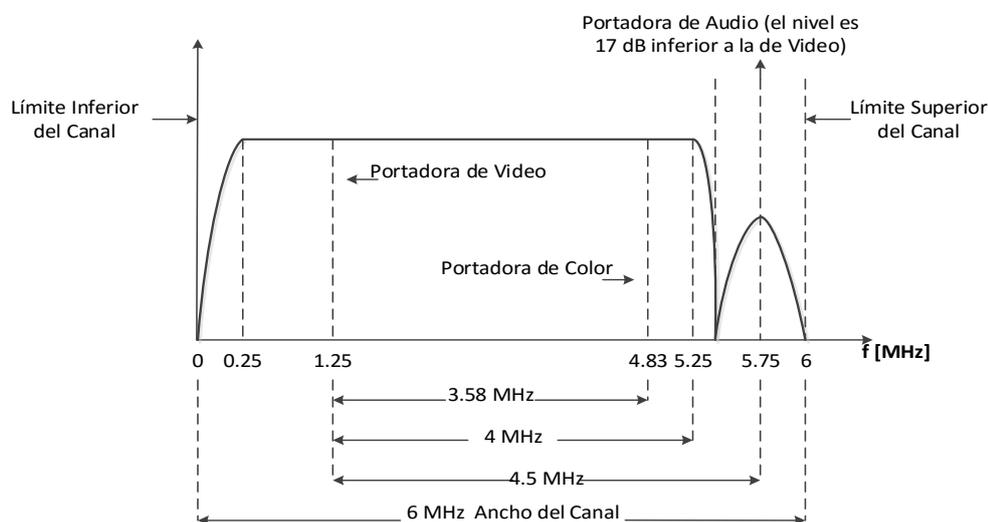


Figura 2.1: Máscara de una señal VHF- TV

2.2 Parámetros de los transmisores de televisión analógica

Tomando al canal 7 que representa a (ECUADOR TV) cuya cobertura principal es la ciudad de Guayaquil, el tipo de estación que usa es una repetidora y está ubicada en el Cerro del Carmen, las coordenadas del transmisor son: 79° 52' 52.5" Oeste y 02° 10' 47.2" Sur, en la Tabla 2 se indican las características principales de la estación.

| Canal 7 VHF | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|-----|------|------|
| Tipo de Antena | Arreglo de 24 diedros VHF | | | |
| Azimuts de máxima radiación | Omnidireccional | | | |
| Azimuts de ubicación de antenas | 0° | 90° | 180° | 270° |
| Número de antenas | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Ganancia | 7,5 dBd | | | |
| Polarización | Horizontal | | | |
| Potencia efectiva radiada(video) | 39,8 kW Azimut de máxima radiación | | | |
| Potencia de operación transmisor | 10 kW | | | |

Tabla 2: Parámetros de operación de EcuadorTV

De la misma manera se tienen los datos del canal 8 (TELEVISIÓN DEL PACÍFICO), las coordenadas del transmisor son: 78° 31' 22" Oeste y 00° 10' 02.1" Sur y está ubicado en el Cerro del Carmen, la Tabla 3 nos indica los valores de operación:

| Canal 8 VHF | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----|------|------|
| Tipo de Antena | Arreglo de 16 paneles VHF | | | |
| Azimuts de máxima radiación | Omnidireccional | | | |
| Azimuts de ubicación de antenas | 0° | 90° | 180° | 270° |
| Número de antenas | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Ganancia | 7,5 dBd | | | |
| Polarización | Horizontal | | | |
| Potencia efectiva radiada (video) | 39,8 kW Azimut de máxima radiación | | | |
| Potencia de operación transmisor | 10 kW | | | |

Tabla 3: Parámetros de operación de GamaTV

Según la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) en su página web, sección Estadísticas muestra el reporte acerca de las concesiones de las emisoras de televisión analógica y digital nos indica que el número de estaciones concesionadas de TV para la provincia del Guayas medidas hasta el mes de Noviembre del 2015 para la parte comercial privada es de 11 y en el servicio público son 2 estaciones, del mismo modo; el número de

matrices es 23 y repetidoras 10 en comercial privada, así mismo para el servicio público se tiene 2 matrices y 7 repetidoras.

2.3 Sistema de telecomunicaciones asignado (VHF – TV)

El estudio se centra en la banda VHF – TV; este sistema nos permite la emisión unilateral de señales de audio y video por propagación, este tipo de señal puede ser recibida por cualquier beneficiario que se encuentre dentro del rango de cobertura del canal de transmisión. Para evitar la interferencia al momento de transmitir, el sistema necesita que los canales adyacentes al canal por el cual se va enviar la información deben estar libres, debido a que; solo tolera un programa por el canal.

Una red de transmisión de televisión analógica se desarrolla por medio de la difusión o broadcast. La figura 2.2 muestra la topología de la emisión – recepción de la señal VHF – TV, la señal es generada en la estación de televisión y luego es remitida hacia las estaciones de transmisión; con lo cual es enviada a los receptores (repetidoras) para los pobladores que tengan acceso al servicio, el medio por el cual se propaga este tipo de señal es el aire.

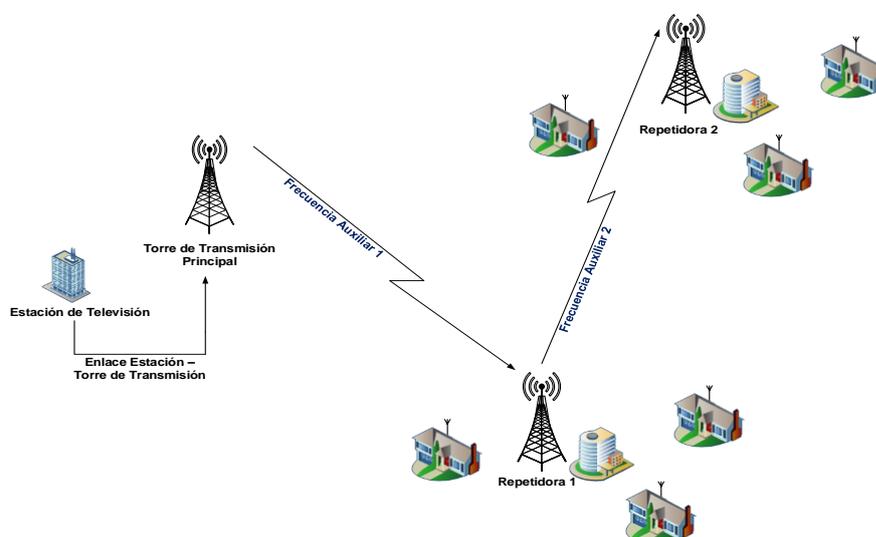


Figura 2.2: Topología para la transmisión-recepción de una señal de televisión analógica

Para que la cobertura sea mayor; es decir abarque a la mayoría del territorio ecuatoriano es necesario el uso de repetidoras que trabajan a la par con los transmisores principales, dichas repetidoras cubren las conocidas “zonas de sombra” a las cuales no llegan las señales generadas por los emisores principales [16].

Para prevenir la interferencia co – canal en los márgenes de las zonas de cobertura se procede a que cada bloque o sitio en el que se está transmitiendo se lo realice en un canal con frecuencia diferente.

2.4 Problemas en la transmisión – recepción en sistemas VHF – TV

Los principales problemas que se presentan en estos sistemas son: disminución de la calidad de audio y video, multitrayectoria, efecto Doppler, intermodulación [17], ruido impulsivo, interferencia de canal adyacente, exceso de recursos e infraestructura, niveles insuficientes de relación S/N. A continuación se procede a realizar una descripción de estos tipos de inconvenientes.

- Efecto Doppler.- Se forma por la variación de la frecuencia de la onda generada, tiene dos características: si es por acercamiento se incrementa la frecuencia; caso contrario si es por alejamiento entonces la frecuencia se reduce.

- Multitrayectoria (multipath).- Se origina a partir de las reflexiones de las señales (rebotes) que son provocadas por las estructuras que estén cercanas a las antenas, si al sector al cual le llega la señal está alejado con una distancia considerable del transmisor la señal se vuelve débil; por consiguiente es más factible esta clase de error [17]. En la recepción de este tipo de señal con esta problemática se observa una doble imagen.

- Intermodulación. - Se combina la información de dos canales.

- Ruido Impulsivo. - Está compuesto por pulsos no constantes que tienen un corto tiempo de duración [17]. Es producido por causas del medio exterior, por ejemplo; fallas en el sistema de comunicación utilizado.

- Niveles insuficientes de la relación S/N.- Es producido debido a la reducción en la potencia de la señal en las denominadas “zonas de sombra” en la cual las antenas no alcanzan a cubrir toda la superficie de cobertura establecida. En cierta medida, también influye si los parámetros de las antenas empleadas para la emisión de la señal no son los apropiados (ganancia, eficiencia, altura de la ubicación de la antena, tipo de antena usada). Por consiguiente, si se ha reducido el nivel de potencia de esta señal en la recepción se notará la imagen con distorsión, los colores no se podrán observar de una manera óptima.

2.5 Reglamentación y regulaciones en Ecuador

Siguiendo la resolución ARCOTEL – 2015 – 00218 en la cual se indican las normas para el servicio de televisión analógica se indica la división con respecto a las frecuencias principales que son los canales destinados a la operación de servicios de televisión abierta y que constan en el Plan Nacional de Frecuencias son los que se muestran en la Tabla 8 (véase en la sección anexos).

Partiendo de las definiciones de la mencionada resolución [18], los artículos 9 y 11 tienen relación con respecto al área de cobertura y la intensidad de campo mínima a proteger respectivamente; los valores de la intensidad de campo se los toma a 10 metros sobre el nivel del suelo, luego se los compara con valores predeterminados que se muestran en la Tabla 4.

Teniendo en cuenta la definición de cobertura se presenta un ejemplo siguiendo el reporte de [19] que para la provincia del Guayas, el canal 2 (ECUAVISIA) brinda cobertura a las siguientes ciudades: Guayaquil, Daule, Durán, Milagro, Naranjal, Samborondón y Yaguachi.

| Intensidad de Campo mínima a proteger | | | |
|--|-------------------------|--|---|
| Banda | Canales | Cobertura principal (dBμV/m) | Cobertura secundaria (dBμV/m) |
| VHF I | 2, 3, 4, 5, 6 | 68 | 47 |
| VHF III | 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 | 71 | 56 |

Tabla 4: Valores de intensidad de campo eléctrico

Un estudio realizado por la ARCOTEL nos muestra un reporte sobre los Parámetros Técnicos de Radiodifusión y Televisión con fecha de publicación Noviembre 2015, en el cual se realizó la medición de Intensidad de Campo y para la provincia del Guayas se obtuvieron los siguientes datos presentados en la Figura 2.3.

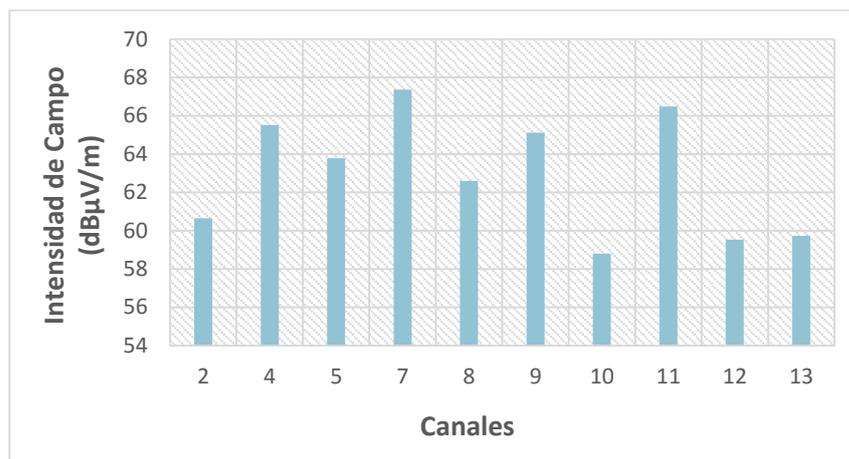


Figura 2.3: Diagrama de las mediciones

La figura 2.3 nos muestra que los canales cumplen con los requisitos técnicos en la intensidad de campo suficiente, todos están por debajo del límite permitido.

2.6 Radio cognitiva, Acceso Dinámico al Espectro (DSA) y Espacios en Blanco (TVWS).

La “Cognitive Radio” o radio cognitiva se define como un dispositivo que puede cambiar sus parámetros de transmisor de una manera oportunista basado en la interacción con el entorno del cual este rodeado. Está diseñado para localizar de manera ingeniosa si una parte del espectro está siendo utilizado en ese momento, también puede reconfigurarse para poder dar un salto al determinar si otra frecuencia no está siendo ocupada en su totalidad siempre y cuando no ocasione interferencia a otros usuarios titulares. En ese sentido; su mecanismo de trabajo se basa en: localizar la frecuencia, conocer si esa frecuencia tiene “white spaces” y la aplicación del servicio.

DSA es un término con el cual se hace referencia al conjunto de técnicas y tecnologías que garantizan que los dispositivos tengan acceso oportunista al ancho de banda disponible en el lugar y en el instante en el cual se requiera de la prestación del servicio, siempre y cuando cumplan con las especificaciones establecidas dependiendo de la arquitectura de la red.

TVWS (TV White Spaces) son las porciones de frecuencias (figura 2.4) que no están siendo utilizadas parcial o totalmente por las operadoras de prestadoras de servicios, también hay que considerar a las bandas de guarda entre canales y los canales que pudiesen ser liberados al momento de la transición de la televisión analógica a digital.

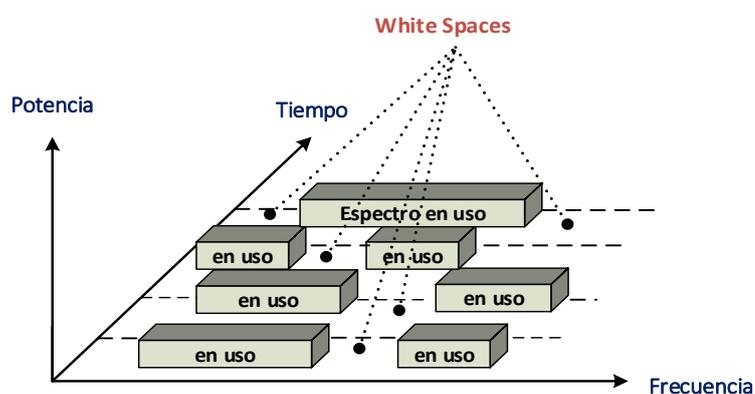


Figura 2.4: White spaces en una banda de frecuencia

Para poder ser usado no debe interferir o interrumpir los servicios de los usuarios principales, los mecanismos de detección de los “espacios en blanco” deben definir los canales de las frecuencias que no están siendo utilizados o están disponibles y el lugar con el propósito de evitar la interferencia. Estados Unidos es el precursor del desarrollo de la tecnología TVWS [20]. Por otra parte; la FCC aprobó a Spectrum Bridge como administrador de base de datos de TVWS, fue pionera en el adelanto de la base de datos de para la localización ubicación de los “huecos espectrales”.

De la misma manera; OFCOM estableció requerimientos para el uso y operación de estas bases de datos con el propósito de que no se produzcan inconvenientes con los clientes primarios, la información que debe suministrar es la ubicación

geográfica porque el porcentaje de disponibilidad de uno o varios canales depende de la localización, frecuencia libre o no utilizada en toda su capacidad y el horario en el cual un dispositivo puede trabajar en esa frecuencia sin ocasionar problemas a los clientes principales que estén usando el servicio. La banda VHF – TV y sus “espacios en blanco” es de gran interés debido a que cubre una mayor distancia; realizando una comparación con la señal de Wi – Fi transmitiendo con la misma potencia la señal de VHF – TV puede avanzar hasta 400 m contra los 100 metros que abarca la señal de Wi – Fi. De modo similar; las frecuencias de VHF y UHF pueden atravesar una mayor cantidad de obstáculos físicos [21].

2.7 Estudios realizados sobre TVWS

El acceso de los clientes a los servicios de envío y recepción de datos por medio de una red inalámbrica ha dispuesto que se necesite más ancho de banda, pero el problema surge con la demanda del espectro, debido a la limitación de la misma. Debido a esta problemática se han realizado estudios para conocer el nivel de eficacia en el uso del espectro en países como Estados Unidos, Nueva Zelanda, Alemania, los resultados mostraron una baja utilización del mismo [22]. El poder aprovechar los “espacios en blanco” temporales en las frecuencias de VHF–TV dentro de su área de cobertura, permitiría una salida para descongestionar el acceso limitado al espectro. Por otra parte; para determinar la eventualidad de espectro utilizable en TVWS de la banda VHF se necesita conocer la densidad de población, el área de cobertura de los canales, las características del terreno, etc.

Con el fin de conocer el porcentaje de ocupación del ancho de banda en escenarios interiores y exteriores [23], se concluyó que el nivel de señales de TV y WIMAX recibidas en escenarios interiores es menor en comparación con el exterior; esto se debe por las pérdidas por penetración debido al material que haya sido usado durante la construcción del lugar, de ahí que la ocupación de la banda en forma total o parcial tiene una relación con el lugar donde se encuentre el usuario.

En 2012, en Bogotá se presentó un análisis estadístico del nivel de ocupación de su espectro [24] y se evidenció que en zonas urbanas el uso del mismo es bajo,

es decir; la mayoría del tiempo es subutilizado con lo cual se orientan a usar esas bandas desocupadas temporalmente para proveer una mejor prestación de servicios inalámbricos. Por otra parte, existen algunas bandas que pasan más tiempo ocupadas en relación a otras, el factor a considerar es conocer de manera oportuna la proporción de espectro utilizable que este en un momento determinado.

De modo similar; un estudio en Hong Kong [25] demostró que la diferencia es mayor entre la cantidad de vacíos espectrales que se encuentran en la banda de frecuencia que existen en ambientes interiores en comparación a los que hay en los exteriores. En cambio, en [26] se indica que en determinados canales que se hallaban ocupados en la parte alta (azotea) al realizar el estudio en la parte baja pasaban a estar en gran mayoría libres o disponibles por la disminución de la potencia de la señal recibida, con lo cual aumentan los “espacios en blanco”.

CAPÍTULO 3

3. ESCENARIO DE ESTUDIO

Con los objetivos establecidos, tanto generales como específicos, además de haber presentado una reseña de los antecedentes y de cómo ha ido evolucionando la tecnología, lo cual ha llevado de la mano a la evolución de la banda de televisión VHF, se espera analizar su comportamiento para aportar a las posibles soluciones que se puedan encontrar a futuro a los problemas de saturación de espectro. En este capítulo se detallará el escenario, el procedimiento de la medición y los argumentos que se tomaron en cuenta que conllevan a la búsqueda de resultados de este estudio, pasos que se han mencionado anteriormente en el capítulo 1 pero de manera muy subjetiva pero que son parte muy fundamental para el desarrollo del proyecto.

3.1 Descripción del escenario.

Para el desarrollo de este proyecto el escenario ideal al que se tomó en consideración es un edificio ubicado en una zona urbana densa, debido a que se encuentra rodeado de otros edificios lo que provoca que la señal de VHF –TV sufra de multitrayectoria, lo que provoca que exista una disminución de la potencia de la señal por intervalos de tiempo (véase figura 3.1). Se busca es el comportamiento de la disponibilidad y el nivel de uso del espectro en el tiempo y la incidencia de una gran afluencia de usuarios. Por este motivo se eligió la ciudad de Guayaquil, ya que cumple con algunas de las características antes descritas.

Sin embargo; se seleccionó la zona norte de la ciudad por el motivo que ese sector debe cumplir con ciertos requisitos que se detallaran a continuación:

- El escenario debe estar a una distancia mínima de 1.5 kilómetros, entre la o las antenas de transmisión de las señales de televisión analógica y el lugar en el que se va a realizar el estudio, debido a que la potencia que se propaga en el medio a través de las antenas de televisión será más intensa alrededor de este perímetro.



Figura 3.1: Escenario de las mediciones

- La edificación debe ser de una altura mínima de diez pisos para obtener en diferentes pisos los niveles de potencias recibidos, debido a la atenuación que posiblemente sufrirá en cada nivel debido a la estructura que posea cada nivel, ya sean estas paredes, puertas, etc.

3.2 Descripción de equipos y proceso de medición.

El proceso de captura de datos consta de tres fases: la antena SIRIO SD – 2000, el USRP (Universal Serial Radio Peripheral) y la parte final es una computadora (véase figura 3.2). Para la recepción de la señal en cuanto a niveles de potencia elegimos a la antena SIRIO SD-2000 debido a sus características principales, es decir; por su rango de frecuencia que va desde los 100 a 2000 MHz por lo que son ideales para monitorear y receptor las señales de los canales, por la ganancia que brinda el equipos que va entre 1.3 a 3.45 dBi, es omnidireccional es decir esta antena posee la cualidad de que puede percibir señales en todas las direcciones y sentido, polarización vertical, impedancia de 50 ohmios.

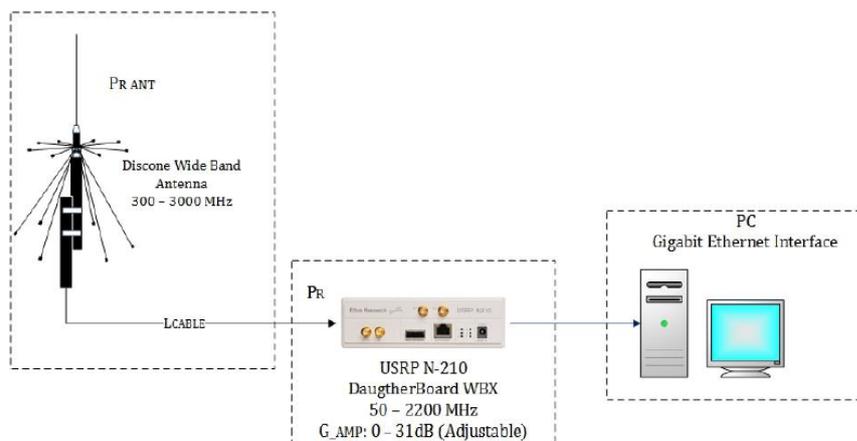


Figura 3.2: Etapas para la toma de datos [27]

Lo más importante es que su margen de pérdida en cuanto a conectores es muy bajo lo que resulta ideal para las mediciones ya que representa una forma más real y exacta de la toma de mediciones para un procesamiento más óptimo y eficaz.

Conocidas las características de la antena, se describirá el equipo con el cual se recepto las señales captadas en el ambiente de estudio, este equipo es el transceptor NI USRP. El transceptor NI USRP es un equipo el cual consta con un transmisor y un receptor interno, diseñado para las comunicaciones inalámbricas y para soluciones en radio frecuencia lo que permite una visualización más didáctica y simple.

Este dispositivo es capaz de trabajar en las frecuencias que van desde los 50MHz hasta los 6 GHz, con un monitoreo espectral por capas físicas fáciles de diseñar, siendo capaz de captar hasta 25 millones de muestras por segundo para su posterior procesamiento por medio del software LABVIEW.

El NI USRP es capaz de establecer una conexión con el HOST de una PC con el que se establecerá la transmisión de datos lo que resulta muy útil para la disposición de las muestras censadas en un tiempo determinado.

Finalmente para el almacenamiento y control y como ya se mencionó antes, se usará una PC a la que le resulten compatibles, tanto el software del NI USRP como el software de LABVIEW, y además posea la aplicación Excel de Microsoft

en donde serán almacenadas las muestras obtenidas durante los días en los que se registraran los datos.

La señal que recepta la antena no es totalmente integra debido a las pérdidas de cables, conectores inclusive el medio, sin embargo esta es compensada con una ganancia que posee el equipo NI-USRP la cual equilibra el rendimiento de la potencia ocasionada por las pérdidas mencionadas anteriormente. Esta ecuación está dada por la siguiente ecuación:

$$P_g = P_{ant} - L_c - L_{con} + G_{usrp} + G_{ant} \quad (3.1)$$

Como se aprecia en la ecuación 3.1 la potencia que se guardará en el sistema es decir en el archivo de Excel; es (P_g) y está dada por la sumatoria de potencia que es captada por la antena desde la estación de transmisión (P_{ant}) la cual llega hasta nuestro edificio donde se realiza el estudio, menos la pérdida que se da debido a los conectores (L_{con}), además de la pérdida por el cable utilizado (L_c) que a pesar de sus características de baja pérdida no deja de representar cierto porcentaje que atribuye una disminución en la señal, y finalmente le agregaremos a la ecuación 3.1 la ganancia del equipo (G_{usrp}) sumada a la ganancia que proporciona nuestra antena (G_{ant}), características que se agregan gracias a las propiedades que poseen cada uno de estos equipos.

3.3 Sistematización.

Ya detalladas las variables físicas, escenarios y equipos a utilizar, se ilustrará el sistema lógico de las variables que se implementarán para la captura de potencias, y de cada una de las variables asignadas en el diagrama de la figura 3.3.

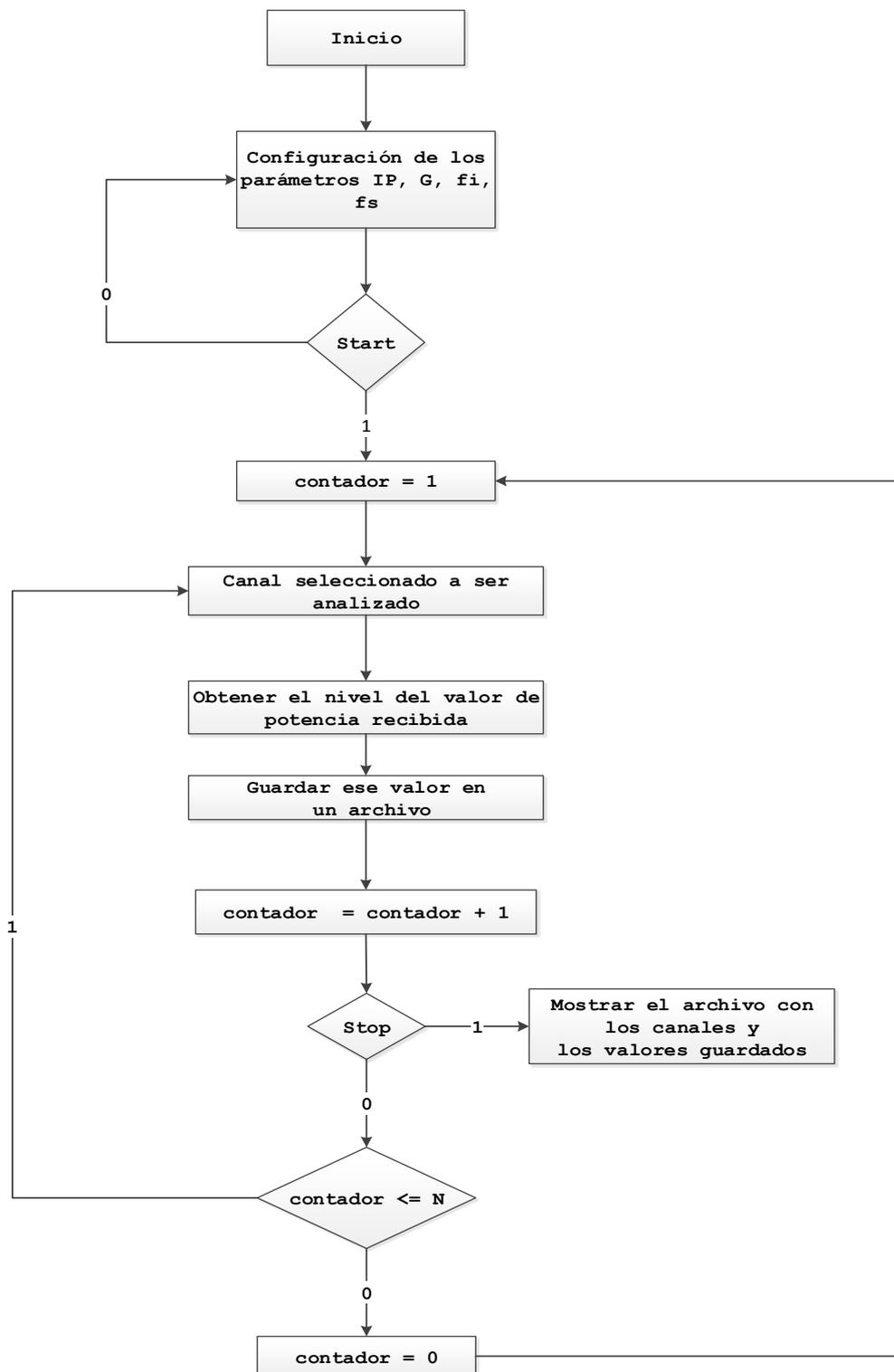


Figura 3.3: Diagrama de flujo del algoritmo de captura

Por medio del equipo USRP fueron procesados los datos y través del software LABVIEW se dio la configuración para las señales captados por la antena. Para la configuración se necesitó la IP del equipo (USRP), la ganancia del mismo (G_{usrp}), las frecuencia inicial (f_i), la frecuencia final (f_n) y la frecuencia central (f_c) de los canales que serán censados, una vez adaptados estos parámetros en el software, se dará inicio al proceso de censo de las señales.

Para que todos los canales sean detectados se estableció una variable llamada contador el cual proporcionara el cambio necesario para percibir cada uno de los canales. Cuando se encuentre en un canal el equipo tomara muestras durante un tiempo de muestreo (f_s) una vez alcanzado este lapso el software elegirá el valor más ideal, de las muestras obtenidas, en el archivo se guardará la señal del canal seleccionado, y luego será guardado en un archivo creado en Excel del canal propio, asignado en ese instante de tiempo.

Después de haber guardado el valor, el contador aumentará para seguir con el siguiente canal. Este proceso se mantendrá hasta que se hayan tomado las muestras de todos los canales (N) de la banda, y se repetirá el proceso hasta que llegue al último canal en el que el contador volverá a reiniciarse en cero, y repetirá el proceso. El sistema dejara de censar completamente una vez que se detenga el equipo (*STOP*) por un usuario.

3.4 Comparativa de umbral y probabilidad estadística.

Para una comparativa del umbral más específica se debe acotar que el nivel de señal receptado por nuestra antena (S_{BS}) se encuentra atenuada debido al medio en el que se traslada y por obstáculos que se encuentren en su camino desde la estación base hasta la antena, esta de interferencia será denotada con la letra (I), además existe un nivel de ruido que también influye en la potencia este será denotado por la variable (R). Por ende la ecuación que dará lugar a estas condiciones es:

$$X = S_{BS} + I + R \quad (3.2)$$

A pesar de que en la ecuación 3.2 se describe un nivel de ruido (R), éste tiene características de una distribución gaussiana lo que representa un valor insignificante y despreciable para este sistema con una media $\mu = 0$ y su varianza de σ^2 . De la misma manera la interferencia (I) que se genera en esta banda no procede a representar un cambio importante en cuanto al valor de potencia receptada y archivada, ya que ésta posee características de uso exclusivo y único para este rango del espectro radioeléctrico.

La potencia que se evaluará será aproximadamente la misma que la transmitida por la estación base, la ecuación 3.3 indica que el número de muestras (M) a capturar son bastantes, las cuales variarán por cada canal establecido continuamente en el tiempo en lo que duren las mediciones por piso, de una forma muy similar a la del ruido gaussiano, solo que su media cambiará debido a la potencia que se recepta, es por eso que ésta variable conservará las mismas características de una distribución gaussiana lo que equivale a una distribución normal, quedará evidenciado en la ecuación 3.4

$$M = [M_1, M_2, M_3, \dots, M_n] \quad (3.3)$$

$$M \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (3.4)$$

Ahora para la connotación del estado que indicara si la potencia del canal se encuentra entre los parámetros de disponibilidad u ocupación utilizaremos el siguiente argumento matemático.

$$\Psi_i = \begin{cases} 1; & M_i < \lambda \\ 0; & M_i \geq \lambda \end{cases} \quad (3.5)$$

Para la ecuación 3.5 se evaluará el nivel de potencia (M_i), guardada en el archivo de Excel la cual fue captada por nuestro sistema antes expuesto. A través de una comparación entre el nivel de potencia M_i y la de un umbral de sensibilidad de recepción determinado por (λ), donde el valor del estado (Ψ) en el instante i tomará valores de “1” para disponible o “0” para ocupado.

Si el valor de la muestra (M_i) es menor al umbral de sensibilidad (λ) el estado en ese instante (Ψ_i) se adjudicará el valor de "1" con el que se representará la disponibilidad del canal, para cualquier otro caso, es decir, para valores mayores o iguales al umbral (λ) se atribuirá el valor de "0" para denotar la ocupación del mismo.

Conocido el umbral que será el límite el cual indicará el estado de un canal, ya sea su disponibilidad u ocupación, se puede divisar a simple inspección que la variable de estado (Ψ_i) solo tomara valores de 0 y 1, valores que se rigen coincidentemente a una distribución de modelo dicotómica o más conocida como distribución Bernoulli.

Una distribución Bernoulli toma probabilidades de éxito y fracaso, que son representados con valores entre "1" y "0". Entonces si denotamos las variables para estos casos se darían las siguientes ecuaciones representativas.

- La representación para la probabilidad de éxito será p mientras que para la probabilidad de fracaso será q .

$$p = \text{exito}$$

$$q = \text{fracaso}$$

Entonces, si:

$$p = P(M_i < \lambda) = P(\Psi_i = 1) \quad (3.6)$$

- La ecuación 3.6 representará la probabilidad de éxito.

$$q = P(M_i \geq \lambda) = P(\Psi_i = 0) \quad (3.7)$$

$$\text{ó } q = 1 - p = 1 - P(M_i < \lambda) = 1 - P(\Psi_i = 1) \quad (3.8)$$

- Las ecuaciones 3.7 y 3.8 representaran la probabilidad de fracaso.

Para identificar y obtener el nivel de disponibilidad de un canal en un determinado tiempo utilizaremos la siguiente especificación.

$$D_t = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} \psi_i}{N_s} \quad (3.9)$$

Para la ecuación 3.9 la variable D_t representa la disponibilidad de un canal en el tiempo t y es equivalente a la sumatoria de los estados de las N_s muestras tomadas en ese lapso de tiempo divididas para la cantidad de muestras tomadas en total (N_s) de un determinado canal.

Una vez conocida y analizada la disponibilidad del canal con respecto al umbral y su probabilidad estadística debemos ahora conocer cómo se realizará el modelamiento de nuestra función.

Así como se conoció anteriormente la disponibilidad de un canal respecto al tiempo, nos da una idea puntual de cuál es el comportamiento de dicho canal pero como se mencionó anteriormente, este trabajo será direccionado con la comparación a través de gráficas, para el modelamiento de los datos y el comportamiento obtenido por cada uno de los pisos.

La comparación de las gráficas brinda detalles más específicos del canal todo esto mediante sus funciones de distribución acumulada (CDF); es decir; se graficará el comportamiento de los datos procesados a través de su CDF la cual será determinada como CDF observada originalmente y se comparará con ciertas funciones de diferentes entre sí por medio de sus respectivas CDF's empíricas para buscar cual se adapte o cumpla con las características de la obtenida en los datos experimentales, todo esto gracias al recurso que obtenemos del ajuste de la gráfica a través de sus parámetros, recurso que resulta muy importante para el modelado.

Para poder realizar este proceso debemos tener en cuenta que mientras mayor cantidad de datos obtengamos, no solo será mejor el proceso de modelado por medio de su grafica sino que la los datos se comportaran con una variable aleatoria continua, es decir será capaz de tomará cualquiera de los numerosos valores existentes y posibles en un determinado lapso de tiempo.

Entonces, una vez encontrado el acoplamiento más ideal o próximo para el modelado de nuestra CDF observada con alguna(s) de la(s) CDF(s) empíricas, el siguiente paso será realizar la prueba de Kolmogorov - Smimov también conocido como Test K-S que consiste en establecer relaciones de semejanza entre la función de distribución acumulada (CDF) observada y la encontrada a nuestro propósito de comparación [28].

Esta prueba consiste en el tamaño de la muestra (N_s) con los que se halló la función acumulada (CDF) y su ajuste de confiabilidad (α), con el cual se establecerá la mayor diferencia entre sus funciones de distribución acumulada tanto la observada como la elegida para establecer una relación de diferencia o semejanza con el valor $k(\alpha, N_s)$ el cual determinará la relación de aceptación o rechazo.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE LOS DATOS Y GRÁFICAS RESULTANTES

4.1 Descripción

En esta sección se presentará y se especificará la zona en donde se realizaron las mediciones de los niveles de potencia recibida de la banda analizada; así mismo se mostrará en detalle los valores que se consideraron para configurar el equipo. Con los valores obtenidos de potencia se evaluará la capacidad de disponibilidad mediante la presentación de gráficos. De la misma manera, se procederá a realizar un análisis del comportamiento de disponibilidad de todos los canales del piso de la parte alta con respecto al piso de la planta baja.

4.2 Ubicación geográfica del escenario de las mediciones

Para realizar las mediciones de potencia que recibe cada uno de los canales de la banda VHF- TV, hay que tener en cuenta que el edificio debe ser de una altura considerable; se consideró que el número de pisos que debe tener debe ser de por lo menos 10 pisos; con el fin de que se pueda observar la variación de los niveles de potencia que se reciben al pasar de un piso alto a un piso bajo. Además; esta edificación debe estar a una distancia considerable de las antenas de transmisión de la señal de televisión analógica, además el estudio como se lo ha descrito anteriormente está enfocado para zonas urbanas densas debido a que en estos sectores se considera la pérdida de potencia percibida por la obstrucción que puede ser por otros edificios en los alrededores, montañas, cerros. Estos factores ocasionan la disminución de la señal debido al tipo de material de construcción del lugar de estudio.

Las mediciones se las realizó en el edificio World Trade Center Torre A el cual consta de 16 pisos, la distancia entre esta edificación y las antenas transmisoras de la señal de televisión analógica es de 2.34 Km. La figura 4.1 nos muestra una panorámica del edificio; está localizado en el norte de la ciudad de Guayaquil con ubicación geográfica con latitud 2° 9' 49.39" Sur y longitud 79° 53' 50.96" Oeste. Para el desarrollo de las mediciones se eligió 3 pisos: Planta Alta (piso 16), Planta

Media (piso 9) y Planta Baja; el periodo para la medición fue de cinco días por piso.

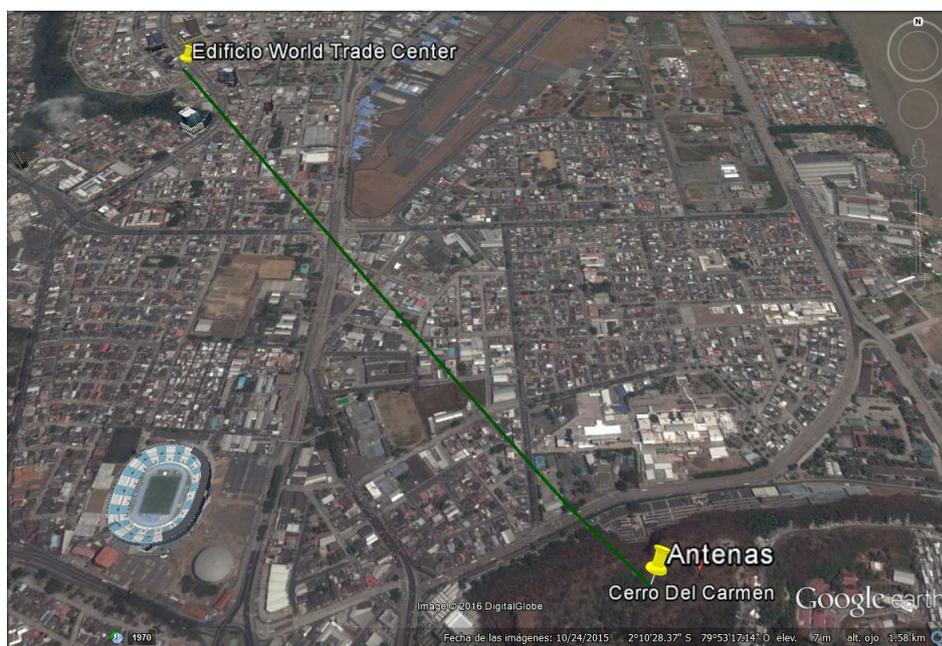


Figura 4.1: Distancia entre el edificio y las antenas de transmisión

En la figura 4.2 se observa el perfil de elevación desde el cerro hasta el edificio, con lo cual podemos conocer que no existen obstáculos desde el punto de transmisión hasta la recepción, de tal forma que tenemos línea de vista directa en especial con respecto al piso 16, lugar donde se realizó la primera medición.

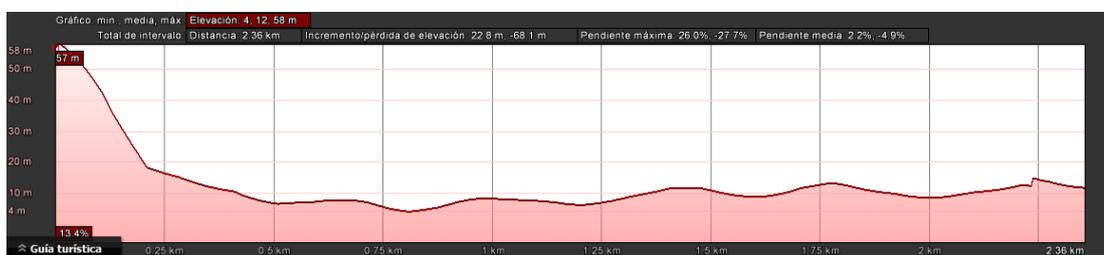


Figura 4.2: Perfil de elevación (desde torres de transmisión hasta edificio WTC)

4.3 Valores para la configuración del equipo y software de medición

La banda que se ha analizado es VHF – TV la cual va desde los 54 MHz hasta 216 MHz pero con es continua en toda la frecuencia, existen saltos de frecuencia consta de 12 canales, cada uno con un ancho de banda de 6 MHz.

| Variables a configurar | Valores |
|---|----------------|
| Ancho de banda (B_W) | (54 - 216) MHz |
| Ancho de banda por Canal (Δf) | 6 MHz |
| Frecuencia Inicial ($frec_i$) | 54 MHz |
| Frecuencia Final ($frec_{fin}$) | 216 MHz |
| Canal Inicial (Ch_i) | 2 |
| Canal Final (Ch_f) | 13 |
| Número de Canales (N) | 12 |
| Número de Muestras (Disponibilidad) (N_s) | 25 |
| Potencia Umbral (λ) | -70 dBm |
| Tiempo de captura por Canal (T_C) | 8,77 s |
| Tiempo de muestreo por Canal (T_S) | 0,731s |

Tabla 5: Parámetros de configuración

La Tabla 5 nos ilustra los parámetros que caracterizan a la señal de VHF- TV, por otra parte también se muestra los valores que se configuraron para el uso del USRP así como del programa que se implementó en LabView (véase Anexos). El valor de la potencia umbral nos sirve para realizar la comparación con los niveles de potencia recibida por canal, con lo cual podremos decidir si dicho valor está por debajo o encima del umbral y así formar la Matriz de Estados que está formada por 1's y 0's tal como se definió en el capítulo 3.

El valor de la variable N_s es calculada basándose en el total de muestras tomadas durante el periodo de captura (5 días), entonces se saca un tiempo para tomar una muestra y ese tiempo calculado aplicando la granularidad que para este caso fue de 3 minutos se calcula N_s , Con este valor se procede a calcular la matriz de disponibilidad.

4.4 Análisis de las mediciones en planta baja y piso 9

Se mostrará en detalle las gráficas resultantes de potencias recibidas así como de la de disponibilidad de los datos procesados de la planta baja y piso 9. Se podrá analizar la diferencia entre los niveles de potencia recibidas entre estos dos pisos con el nivel de umbral, por consiguiente se visualizará la disponibilidad temporal con respecto a la capacidad de canales disponibles entre el un piso y el otro usando su función de distribución acumulada (CDF) para cada uno de ellos. Finalmente se tomará dos canales por piso y se le graficara su CDF y su modelo se lo comparará con alguna función estadística con características similares.

Los valores de potencia recibida corresponde a la portadora de luminancia, debido a que esta portadora es la que tiene un nivel mayor de potencia, como se lo mencionó en el capítulo 2, la portadora de luminancia está ubicada a 1.25 MHz del inicio de cada canal de la banda VHF – TV, tomando como ejemplo 55.25 MHz que es el canal 2 o 175.25 MHz que es del canal 7.

Las figuras 4.3 y 4.4 nos muestran que la mayor disponibilidad está representada por el color azul y que el canal que en su mayoría este ocupado se lo representa con la tonalidad roja, para ambos pisos el canal 3 presentaba una alta disponibilidad durante el tiempo de análisis. Este canal actualmente no está concesionado para ninguna televisora; por lo tanto este canal es de guarda o protección para prevenir la interferencia de canal adyacente, en este caso entre el canal 2 y 4.

En la figura 4.3 el canal 2 indica que existe disponibilidad con un mayor enfoque entre el día 4 y 5, al mismo tiempo en el canal 4 se observa que los niveles estuvieron en un intervalo de -70 dBm y -80 dBm; de la misma manera la potencia recibida para el canal 5 y 8 presenta una gran similitud ambos estuvieron entre -70 dBm a -85 dBm, este canal presenta disponibilidad. Por el contrario; el canal 7 la mayoría del tiempo pasa ocupado porque muestra niveles elevados de potencia, existen valores próximos al umbral establecido, esto ocurre en el canal 10 desde el día 3 hasta el día 5.

Para los canales 12 y 13 por determinados momentos del día existe una mayor disponibilidad y luego sigue existiendo disponibilidad pero con un nivel menor.

Continuando con el mismo análisis, en la figura 4.4 se puede observar que la tercera parte del total de canales (4, 6, 7, 10) de la banda VHF – TV pasan ocupados todo el tiempo y tienen una potencia alta. El canal 5 gran parte del tiempo pasa ocupado con valores cercanos al umbral de -70 dBm pero durante un tiempo del primer día y el inicio del cuarto día existe disponibilidad, los canales 2 y 8 presentan similitudes en su comportamiento. Los canales 9 y 11 presentan un mayor tiempo de disponibilidad que por ciertos lapsos de tiempo pasa a estar ocupado, lo que indica que existe una intermitencia, por el contrario en el canal 12 muestra que en promedio sus valores de potencia están cercanos al umbral establecido, en cuanto al canal 13 nos orienta a que hay una dominancia de pasar un mayor tiempo ocupado.

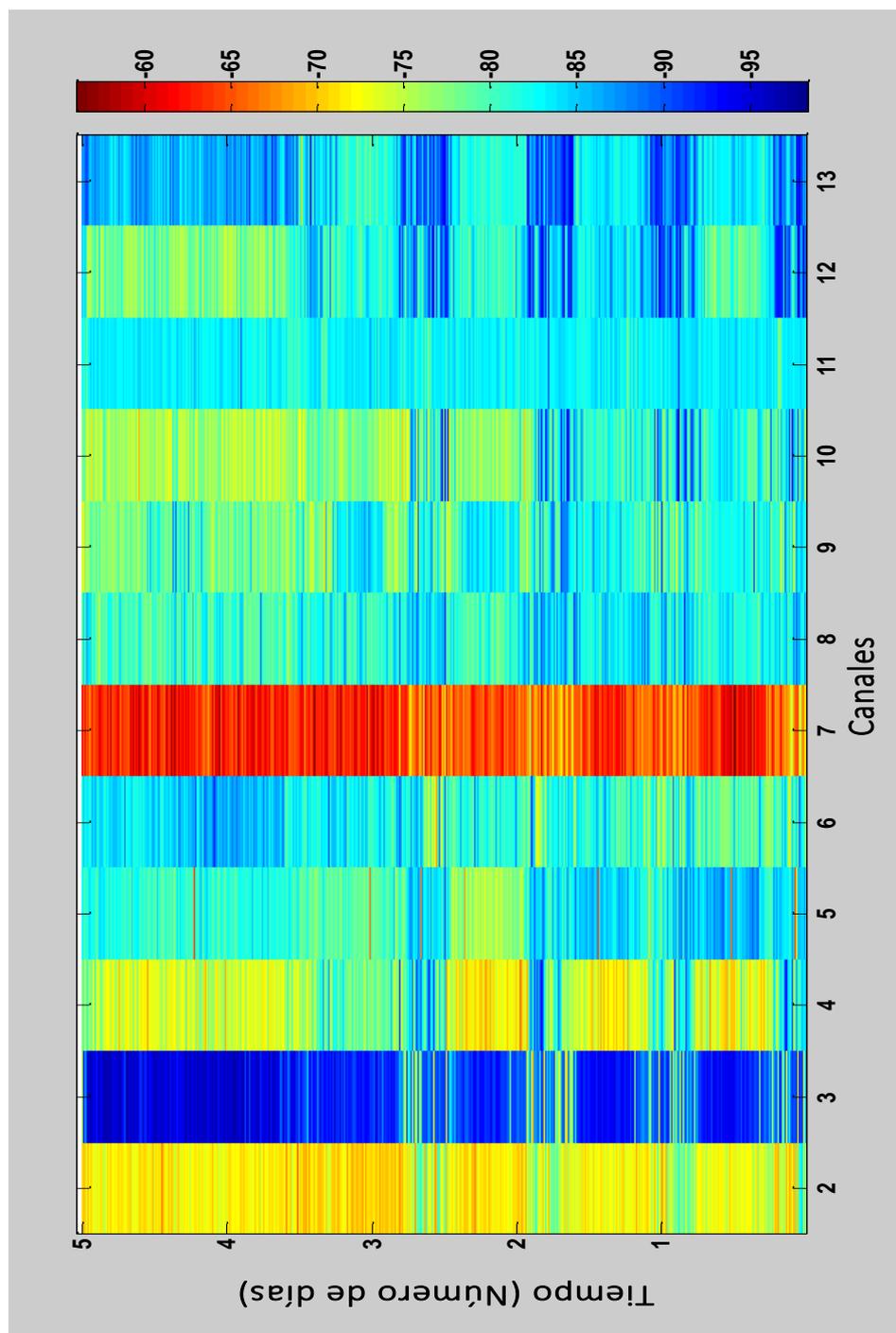


Figura 4.3: Niveles de potencia recibidos (planta baja)

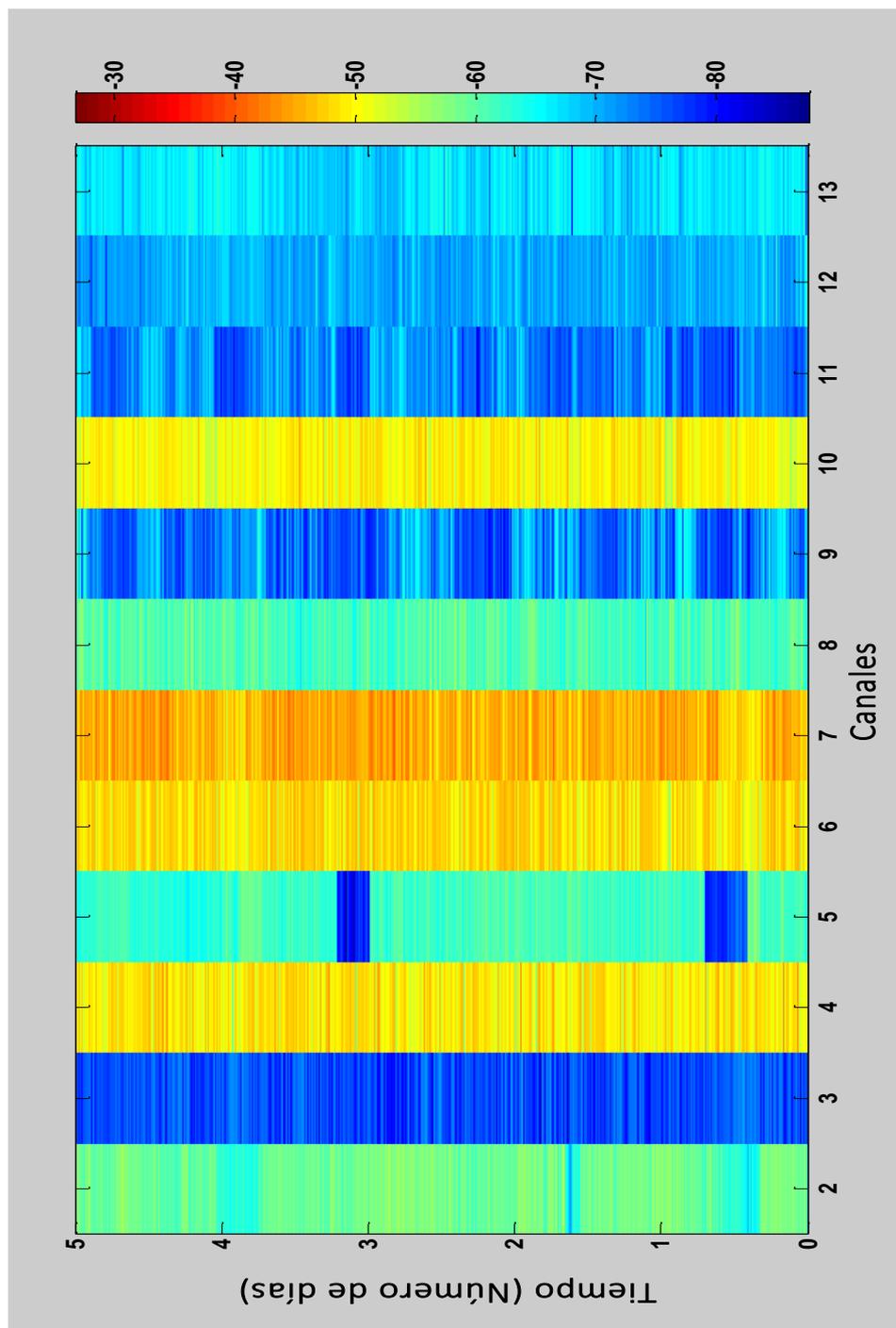


Figura 4.4: Niveles de potencia recibidos (piso 9)

Los canales 8, 11 y 12 muestran una mayor disponibilidad (figura 4.5) lo cual es demostrado por el color rojo que indica que la probabilidad de tener esa gran disponibilidad esta entre 0.9 y 1, para el canal 7 su disponibilidad es mucho menor debido a que la mayoría del tiempo pasa ocupado. El canal 4 tiene lapsos en el cual su disponibilidad baja durante los primeros 3 días de la medición, entre 0.8 y 1 es la disponibilidad que nos puede ofrecer el canal 5, la disponibilidad baja por ciertos momentos a 0.6 en el canal 2 y de ahí pasa a tener una mayor disponibilidad.

Para el piso 9, el canal 2 está muy próximo a estar siempre ocupado (véase figura 4.6), por otra parte; los canales 6, 7, 8 y 10 pasa en su totalidad ocupados, el canal 5 por determinados momentos es disponible aunque en un menor tiempo, el resto pasa ocupado por tener valores un poco altos cercanos al umbral de decisión que se definió en -70 dBm.

Los canales 9, 11 presentan características semejantes por las variaciones de disponibilidad, de la misma forma el canal 12 por porciones de tiempo en el día cambia su disponibilidad de alta a baja. Así mismo pasa a tener valores de 0.9 a 0.8 o 0.6, 0.5 y 0.4, en un pequeño lapso de tiempo en un día en el canal 13 nos indica que hay una disponibilidad total, luego el resto del tiempo pasa a estar ocupado.

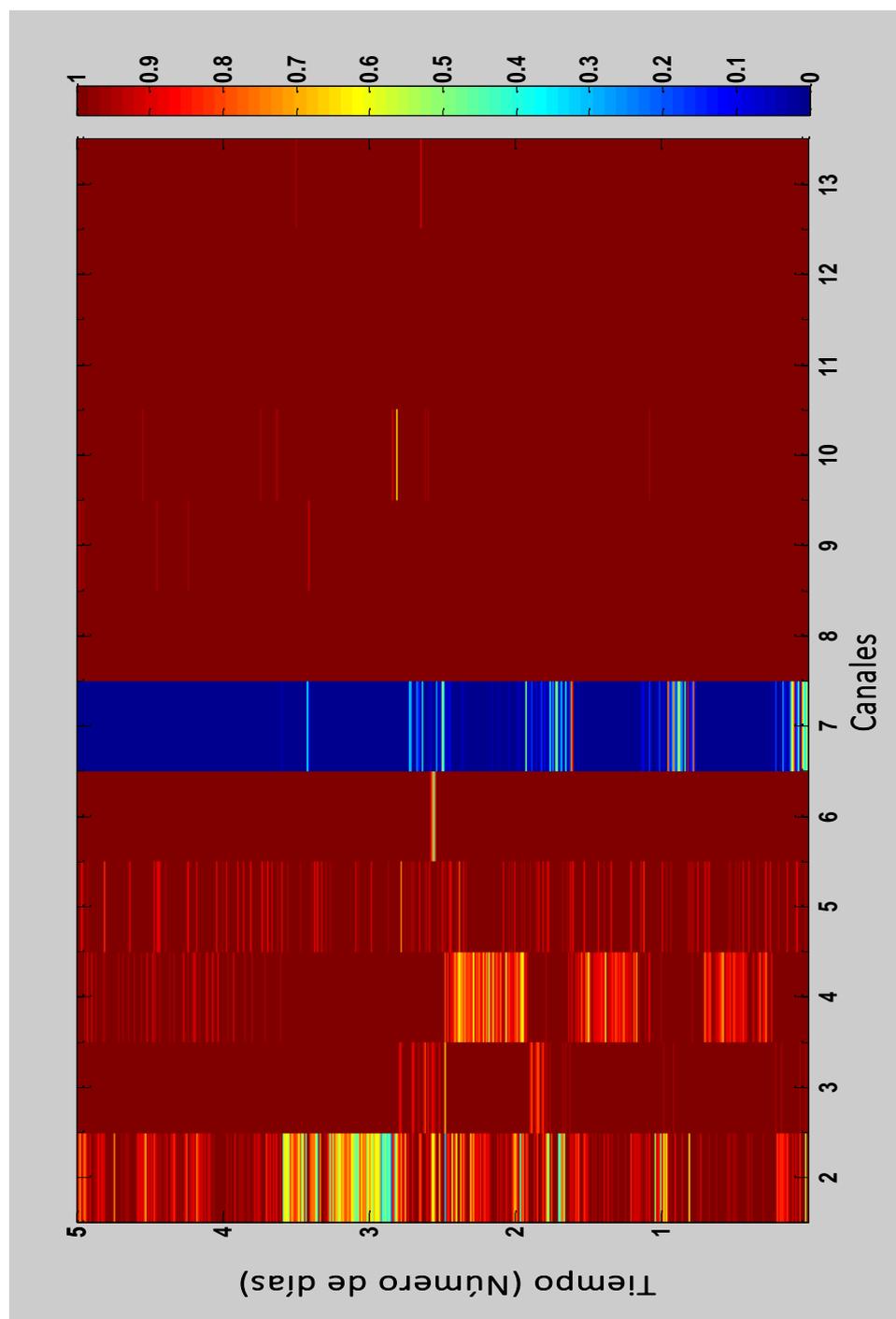


Figura 4.5: Disponibilidad momentánea (planta baja)

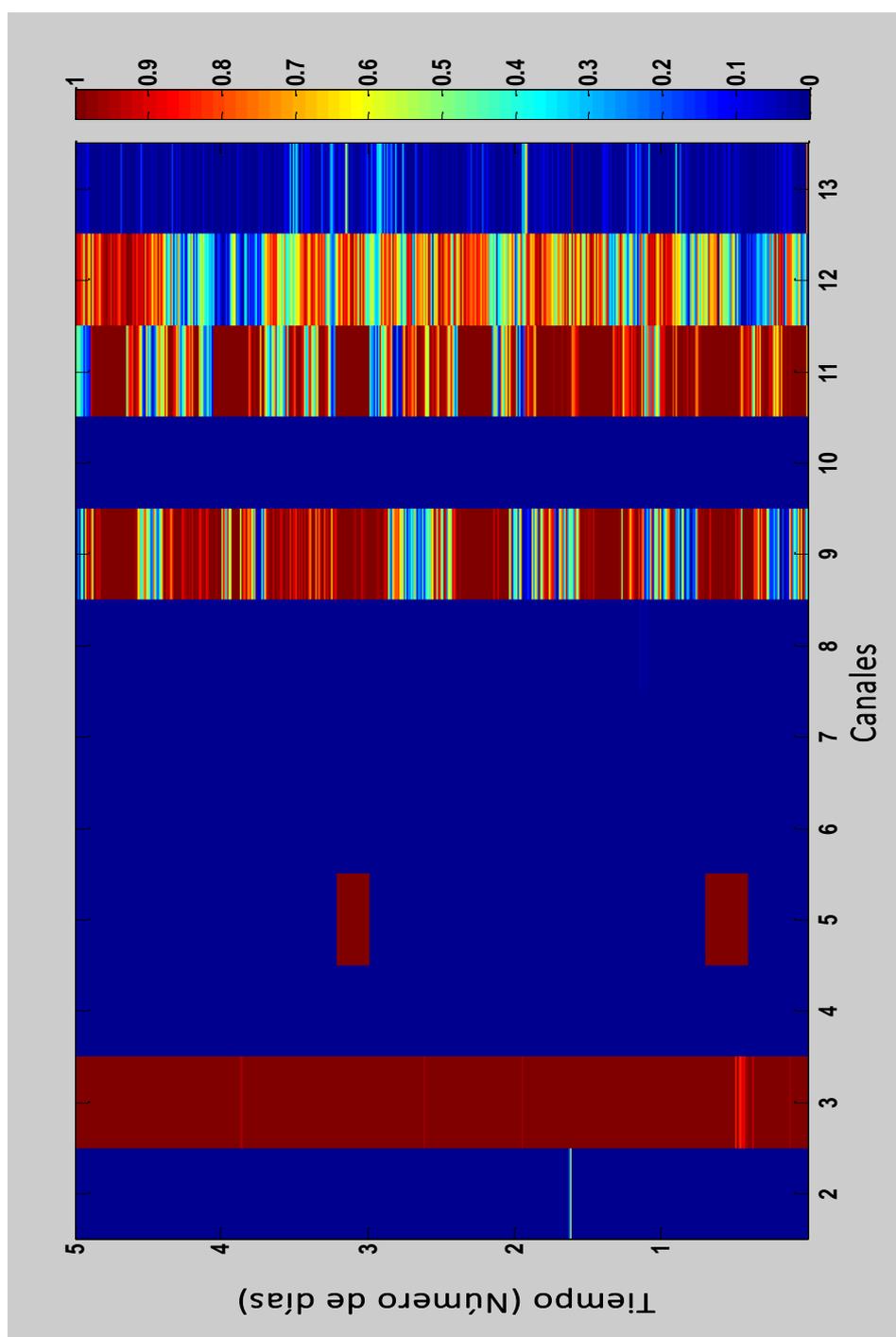


Figura 4.6: Disponibilidad momentánea (piso 9)

4.5 Disponibilidad instantánea entre dos pisos

En esta parte se procederá a analizar la disponibilidad de canales que hay en el piso 9 (línea de color rojo) en comparación a la planta baja (línea de color verde). Para realizar esta comprobación se ha usado la función de distribución acumulada de cada piso. Como habíamos mencionado anteriormente a nivel que se va bajando de piso la disponibilidad de canales aumenta, esto quiere decir que los canales que en la parte alta estaban ocupados ahora en la planta baja están más disponibles.

La figura 4.7 señala que en el piso 9 tendremos en promedio 3 canales disponibles con lo que se alcanzaría en el mejor de los casos 4 canales (92 %) y por lo contrario solo 2 canales (17 %); esto nos conduce a obtener entre 24 y 12 MHz, en su mayor provecho (100%) en este piso solo tendríamos una disponibilidad de 6 canales.

Para la planta baja se puede observar un desplazamiento a la derecha con lo cual se tiene un mayor número de canales disponibles, el valor inferior es de 10 canales (17 %) y un máximo de 11 (95 %) por consiguiente se tiene de 60 a 66 MHz respectivamente y el máximo de canales disponibles con los que se contaría es de 12 (100%).

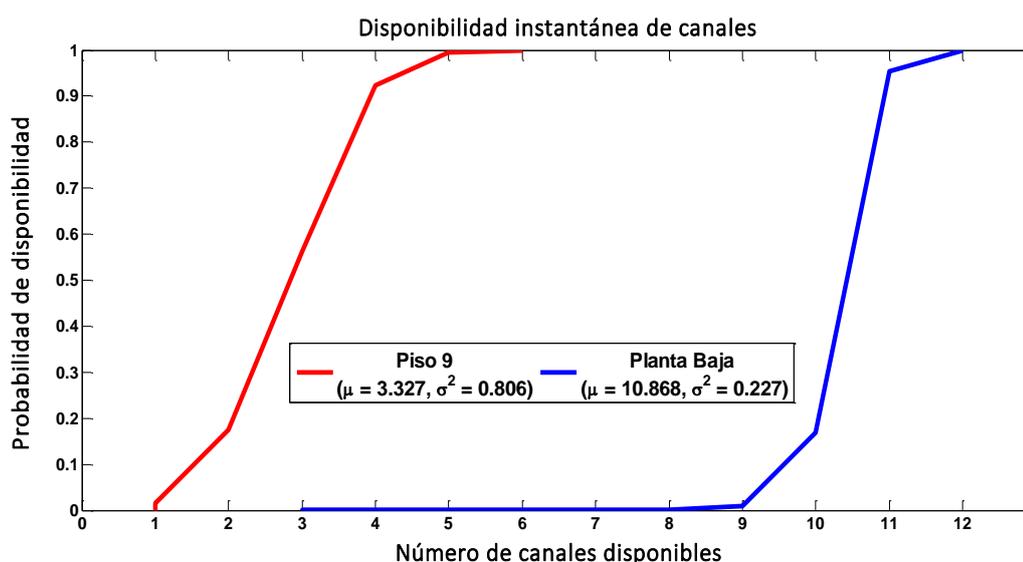


Figura 4.7: Disponibilidad temporal

4.6 CDF por canal y comparación con funciones estadísticas

Con los datos que se obtuvieron de las mediciones, se escogió los canales 5 y 7 de la planta baja y los canales 9 y 13 del piso 9, el propósito es modelarlos estadísticamente mediante su función de distribución acumulada y luego compararlos con funciones estadísticas predeterminadas con la característica de que se aproximen al comportamiento del canal para determinar si el modelo escogido es fiable.

Las funciones escogidas son la distribución Beta, Normal y la generalizada de Pareto, en la figura 4.8 se observa que el modelo del canal 5 tiene una proximidad con las funciones Beta y generalizada de Pareto, también nos indica que las medias y varianzas de las funciones mencionadas son valores cercanos con las del canal 5 con lo que se puede concluir que el patrón de comportamiento del canal puede ser modelado y representado por una función estadística; la función Normal también tiene una media aproximada y en su mayoría al gráfica se parece a la del canal analizado pero en un tramo la gráfica sufre un alejamiento y ahí es que su varianza difiere con las demás distribuciones y con el canal mismo.

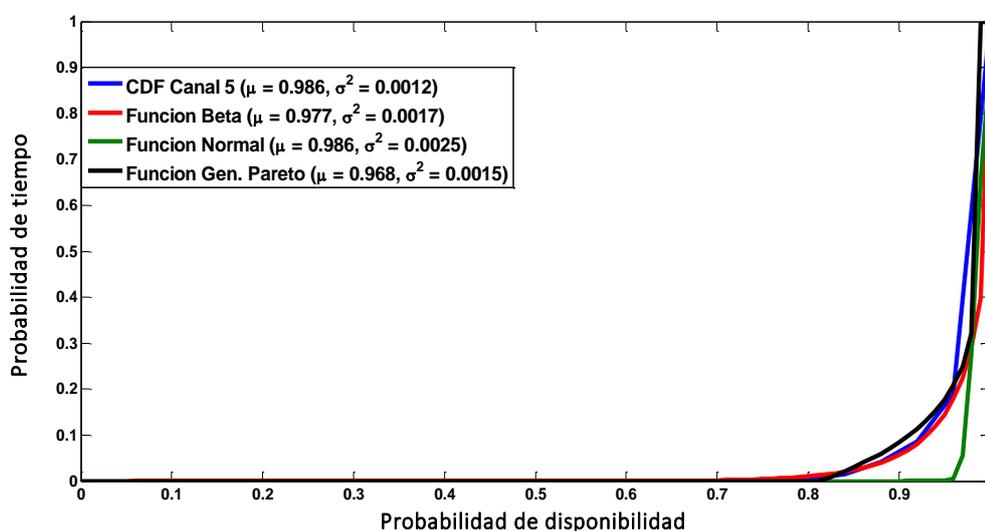


Figura 4.8: Modelo estadístico del canal 5 comparado con otras funciones estadísticas

El mismo proceso se aplica al canal 7 (figura 4.9), la función que mejor similitud tiene a la distribución del canal es la función Beta; así mismo las funciones Normal y generalizada de Pareto tiene una semejanza, pero también sufre un alejamiento de la gráfica principal, es por eso que la función Beta tiene media y varianza cercanas al del canal 7.

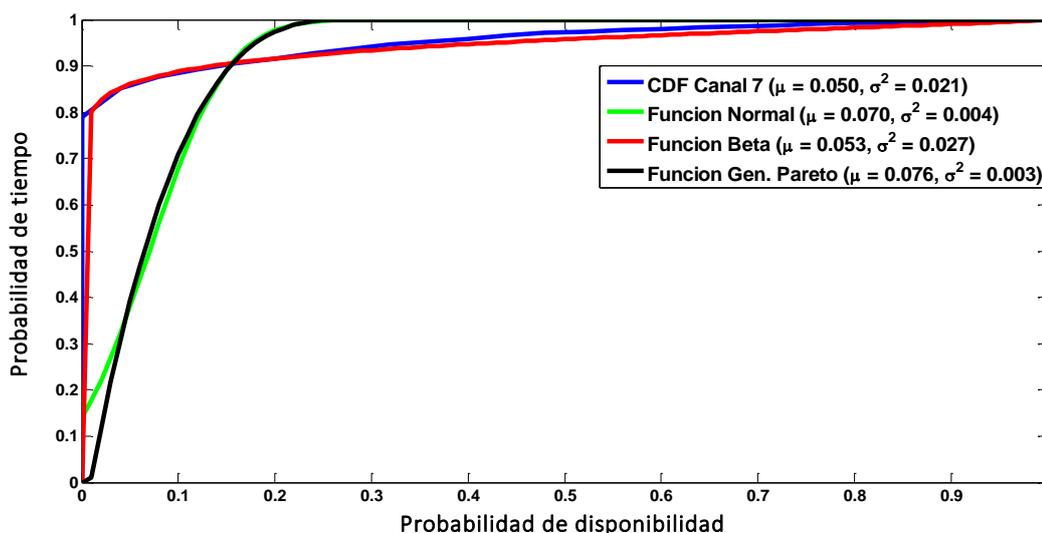


Figura 4.9: Modelo estadístico del canal 7 comparado con otras funciones estadísticas

Igualmente se realiza el mismo estudio para los pisos 9 y 13 de la planta alta y observamos en la figura 4.10 que el canal 9 nos ofrece disponibilidad, esto quiere decir que 50% del tiempo nos ofrece el 90% de disponibilidad, para este canal las funciones estadísticas que mejor se acoplan a nuestro modelo son la función Beta y generalizada de Pareto.

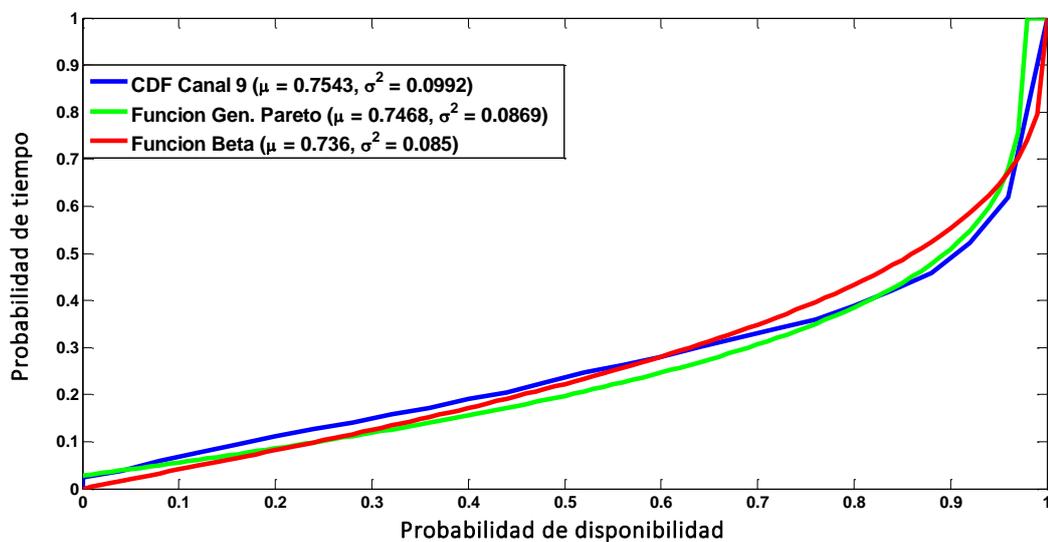


Figura 4.10: Modelo estadístico del canal 9 comparado con otras funciones estadísticas

Al mismo tiempo en la figura 4.11 el canal 13 pasa más tiempo ocupado, esto nos indica que el 88% del tiempo solo existe un 10% de disponibilidad, para este modelamiento las tres distribuciones estadísticas tienen la mejor aceptación y características comparando en el canal que se está analizando.

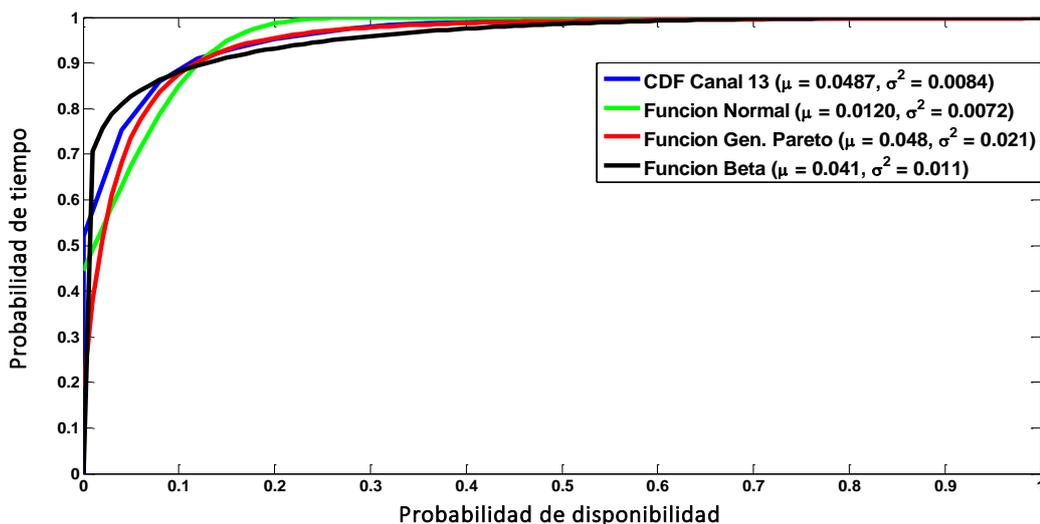


Figura 4.11: Modelo estadístico del canal 13 comparado con otras funciones estadísticas

Para comprobar que los canales que se han escogido obedecen a un comportamiento probabilístico de funciones ya determinadas, se procedió a escoger los canales 2, 4, 5 y 7 de la planta baja debido a que estos canales presentan variaciones entre disponibilidad y ocupado. En la figura 4.12 está el canal 7 que tiene características similares a una función Beta y el canal 5 tiene un comportamiento similar a una función generalizada de Pareto.

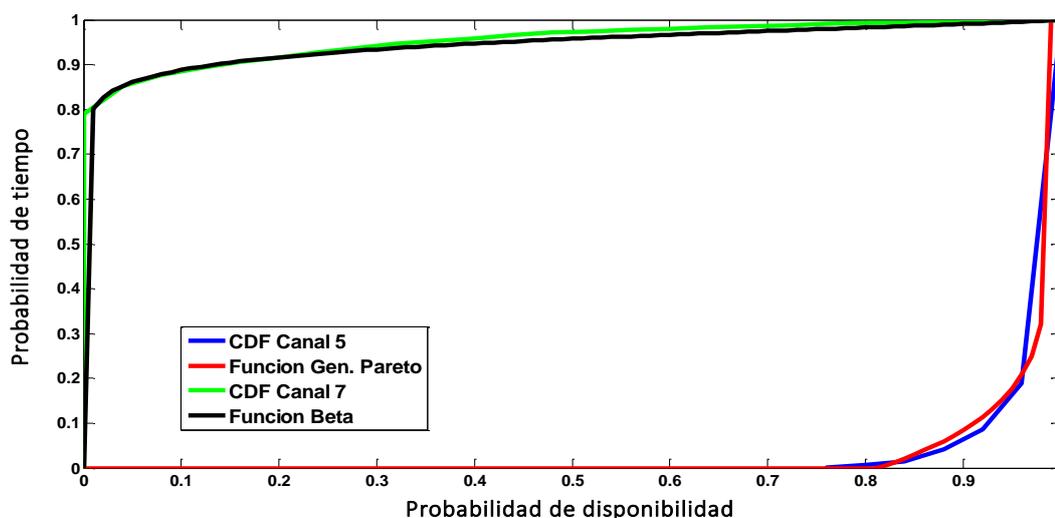


Figura 4.12: Canales 5 y 7 con modelos estadísticos para comparar

De la misma forma; se seleccionó a los canales 9, 11 y 13 del piso 9 con las funciones Beta y Normal respectivamente, en la figura 4.13 se indica que para el canal 9 el modelo probabilístico con el cual se va a contrastar es la función Beta y por consiguiente al canal 13 se lo va a relacionar con la función normal. Con la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov se determinará si los canales mencionados tanto para planta baja y del piso 9 se ajustan a alguna de las distribuciones de probabilidad ya mencionadas, los resultados se muestran en la Tabla 11 y 12 que se encuentran en la sección de Anexos.

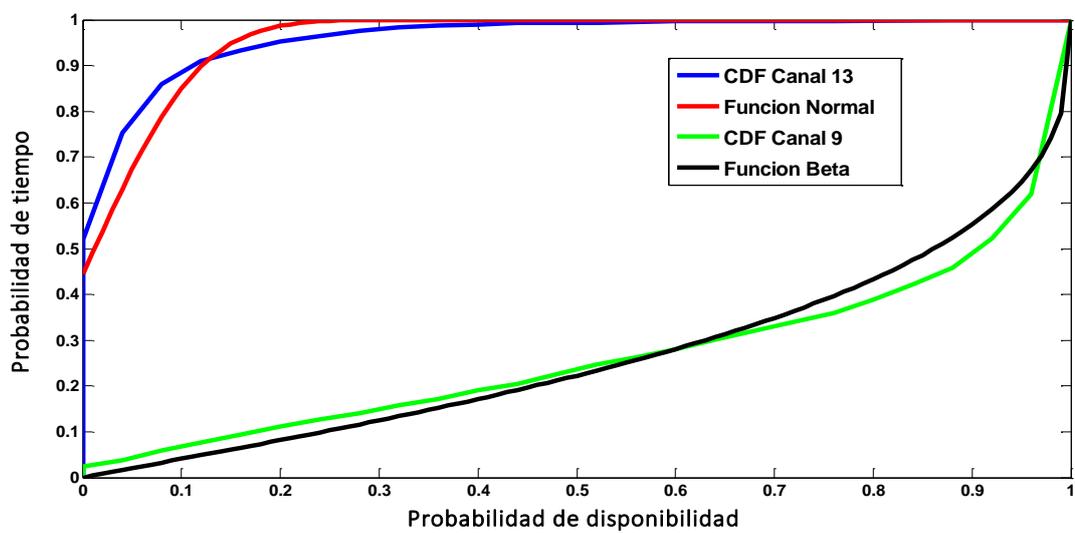


Figura 4.13: Canales 9 y 13 con modelos estadísticos para comparar

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se verificó que al pasar de un piso alto a planta baja, la disponibilidad de canales aumenta a medida que se reduce la altura del edificio, esto se debe a que la señal que llega tiene una menor potencia, por consiguiente en la planta baja se obtuvo un promedio de 10 a 11 canales disponibles, lo contrario ocurre en el piso 9 donde la disponibilidad de canales es tan solo, en promedio, de 2 a 4 canales. En el piso 16 se observó que durante todo el tiempo en el que se tomó las muestras los canales pasaron ocupados.
2. En la planta baja el canal 7 muestra que siempre pasa ocupado, recibe potencias altas con respecto al umbral de decisión de -70 dBm. Por lo contrario; en el piso 9 los canales 9 y 11 presentan características similares; es decir, pasa la mayor parte del tiempo disponible y por pequeños intervalos de tiempo la potencia tienen valores cercanos al umbral y se vuelve ocupado.
3. Las funciones estadísticas escogidas para relacionar con el modelamiento de los datos empíricos por canal fueron las funciones Beta, Normal y generalizada de Pareto; se las eligió porque son las que mejor similitud comparten con los canales, cada una con su parámetro de media y varianza correspondiente.
4. De los canales escogidos para modelarlos y compararlos mediante tres funciones estadísticas se concluye que en el canal 5 su distribución se asemeja a la función generalizada de Pareto, el canal 7 a la función Beta; estos canales corresponden a la planta baja.
5. Los canales 2, 4, 5 y 7 de planta baja y 9, 11 y 13 del piso 9 se concluye que provienen de la función de distribución Beta, así mismo de un total de 5 canales a los que se los pudo comparar con otra función estadística de manera simultánea con la función Beta; se determinó que solo dos canales (canal 2 y

5 de planta baja) cumplen con la hipótesis de que tienen características similares a la distribución generalizada de Pareto.

Recomendaciones

1. La configuración interna (características) del USRP es de vital importancia revisar debido a que dependiendo de la frecuencia en la que se esté trabajando, el dispositivo debe estar acoplado caso contrario podría tomar datos erróneos de potencia o de frecuencias diferentes a las establecidas.
2. Al empezar con las pruebas se debe verificar que la señal esté llegando al equipo, dando una configuración idónea con los canales que se desean receptar, haciendo pruebas iniciales por un periodo pequeño, cinco minutos aproximadamente, para luego analizar el archivo generado, luego de esto dejar que el equipo quede censando continuamente en el transcurso de los días.
3. Este sistema es autónomo sin embargo se debe monitorear continuamente en caso o motivo de que se haya detenido alguno de los equipos, ya sea por falta de energía eléctrica o alguna otra falla técnica, en un lapso de tiempo. Este se puede recuperar ya que el comportamiento es muy similar en días iguales de diferentes semanas.
4. Este trabajo puede ser utilizado como referencia para el estudio de diferentes medios, sistemas o tecnologías futuras, como sistemas oportunistas al espectro, o TVWS, en los que se desee conocer las disponibilidades de canales en esta banda, ya que este proyecto brinda el análisis de las mediciones y el modelamiento estadístico y su disponibilidad.

BIBLIOGRAFÍA

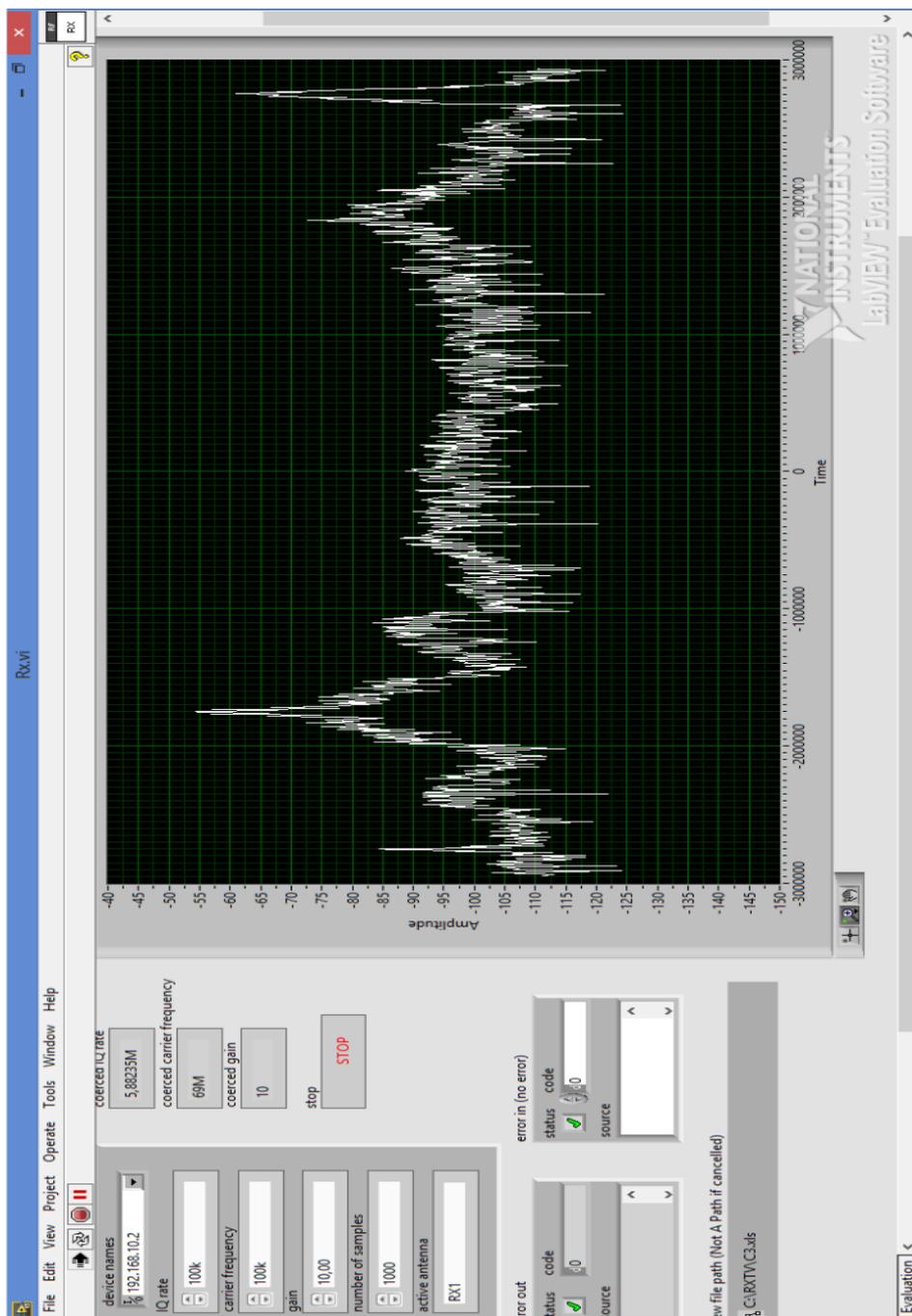
- [1] A. Llanos, “Marco teórico-conceptual: aspectos regulatorios del espectro radioeléctrico” en Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador nueva modalidad para radiodifusión y televisión abierta, Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional, 2013, pp. 17-60.
- [2] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, “Objetivo 11: Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica” en el Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017, Quito, Ecuador, 2013, pp. 324–325.
- [3] L. F. Pedraza, F. Forero, I. P. Páez, “Evaluación de ocupación del espectro radioeléctrico en Bogotá-Colombia,” Ing. Cienc., vol. 10, no. 19, pp. 127-143, Enero-Junio. 2014.
- [4] J. M. Diez, M. Vélez, R. Sancho, C. Regueiro, “Detección de White Spaces en redes cognitivas en entornos Indoor,” en XXVIII Simposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI), Santiago de Compostela, España, 2013.
- [5] D. Alulema, “La Televisión Digital Terrestre en el Ecuador es interactiva,” Eídos 5, vol. 5, pp. 12-19, Diciembre. 2013.
- [6] M. Rico, D. Contreras, E. San Juan, “Interferencias en sistemas de radiodifusión en zonas de frontera colombiana,” Ingenium, vol. 15, no. 30, pp. 50-66, Octubre. 2014.
- [7] H. Akhazzan, “Desarrollo de un Mapa de Entorno Radioeléctrico de apoyo a la utilización de espacios en blanco de TV para el despliegue de sistemas celulares en escenarios de interiores,” Proyecto Final de Carrera, Escola Tècnica Superior d’Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España, 2015.
- [8] L. Shi, K. W. Sung, J. Zander, “Controlling Aggregate Interference under Adjacent Channel Interference Constraint in TV White Space,” en Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, Estocolmo, Suecia, 2012, pp. 1-6.

- [9] M. Roel, "El reto de la televisión: El "apagón analógico" y la consolidación de lo digital," *Rev. Latinoamericana de Com. Chasqui*, vol. 59, no. 94, pp. 52-59, Junio. 2006.
- [10] D. Gurney, G. Buchwald, L. Ecklund, S. L. Kuffner, J. Grosspietsch, "Geo-location Database Techniques for Incumbent Protection in the TV White Space," en *Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, Chicago, Estados Unidos, 2008, pp 1-6.
- [11] F. Novillo, H. Galeana, R. Ferrús, R. Agustí, "Spectrum Availability in Indoor Locations for Opportunistic Spectrum Access in Dense Urban Scenarios," en *Vehicular Technology Conference*, Barcelona, España, 2009, pp. 1-5.
- [12] B. Moreno, J. Salazar, "Estudio y Análisis de Factibilidad para la Implementación de la Televisión Digital Terrestre en el Ecuador," Tesis de Grado, Facultad de Ingenierías, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2011.
- [13] Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2014, Septiembre 11). Política para la Transición a la Televisión Digital Terrestre [Online]. Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5359731&fecha=11/09/2014
- [14] *Sistemas de Televisión Convencional, Recomendación UIT-R BT.470-6**, 1998.
- [15] SUPERTEL, "Operación de las estaciones de televisión abierta analógica en canales adyacentes de la banda III VHF," SUPERTEL, Quito, Ecuador, 2013.
- [16] D. Barba, "Migración de un sistema de televisión con transmisión analógica a digital terrestre en la estación TV MICC canal 47," Proyecto de Trabajo de Graduación, Facultad de Ingeniería en Sistemas Electrónica e Industrial, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2011.
- [17] A. Tizazu, "Spectrum Availability Assessment Tool for TV White Space," Tesis de Maestría, School of Electrical Engineering, Aalto University, Espoo, Finlandia, 2012.
- [18] Resolución ARCOTEL–2015–00218, "Norma Técnica para el Servicio de Radiodifusión de Televisión Abierta Analógica," ARCOTEL, Quito, Ecuador, 2015.

- [19] Corporación Ecuatoriana de Televisión S.A, “Informe de Rendición de Cuentas de Corporación Ecuatoriana de Televisión S.A – Ecuavisa,” Corporación Ecuatoriana de Televisión S.A Guayaquil, Ecuador, 2015
- [20] Telecommunications Regulatory Affairs Advisory Committee. (2014, Noviembre 20). Development of TV White Space Technology [Online]. Disponible en: http://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/en/content_757/traac6_2014.pdf
- [21] Broadband Center of Excellence, “TV White Space: Ready for prime time?” University of New Hampshire, New Hampshire, Estados Unidos, 2014.
- [22] S. Jayavalan, H. Mohamad, N. M. Aripin, A. Ismail, N. R. Ramli, A. Yaacob, M. A. Ng, “Measurements and Analysis of Spectrum Occupancy in the Cellular and TV Bands,” *Software Engineering*, vol. 2, no. 2, Mayo, 2014.
- [23] K. Qaraqe, H. Celebi, M. Alouini, A. El-Saigh, M. Al-Mulla, O. Al-Mulla, A. Jolo, A. Ahmed, “Measurement and Analysis of Wideband Spectrum Utilization in Indoor and Outdoor Environments”, 2013.
- [24] L. F. Pedraza, A. Molina, I. Páez, “Spectrum Occupancy Statistics in Bogota-Colombia,” en *IEEE Colombian Conference on Communications and Computing*, Medellin, Colombia, 2013.
- [25] X. Ying, J. Zhang, L. Yan, G. Zhang, M. Chen, and R. Chandra, “Exploring Indoor White Spaces in Metropolises,” en *The 19th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Miami, Florida, Estados Unidos, 2013, pp. 255-266.
- [26] M. Nekovee, “Quantifying the TV White Spaces Spectrum Opportunity for Cognitive Radio Access” en *Communications Infrastructure. Systems and Applications in Europe*, Berlín, Alemania: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 46-57,
- [27] Gómez J. “Modelado de la disponibilidad de canales de la banda UHF – TV para el uso potencial de sistemas con acceso oportunista al espectro (OSA) en una zona urbana,” Tesis de Maestría, FIEC, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2015.

- [28] M. Pavloski, V. Rakovic, V. Atanasovski, L. Gavrilovska, "Multi-Level modeling of spectrum use," en 2012 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), París, Francia, 2012, pp. 81-85.

ANEXOS



Anexo 1: Toma de datos de potencia recibida



Anexo 2: Medición realizada en el piso 16 (Edificio WTC)



Anexo 3: Medición realizada en el piso 9 (Edificio WTC)



Anexo 4: Medición realizada en la planta baja (Edificio WTC)

| Canalización de las Bandas | | | | |
|-----------------------------------|--------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| Rango de Frecuencias (MHz) | Banda | Canal (No. MHz) | Portadoras | |
| | | | Video(MHz) | Sonido (MHz) |
| VHF 54 - 72 | I | 2 (54 - 60) | 55.25 | 59.75 |
| | | 3 (60 - 66) | 61.25 | 65.75 |
| | | 4 (66 - 72) | 67.25 | 71.75 |
| VHF 76 - 88 | I | 5 (76 - 82) | 77.25 | 81.75 |
| | | 6 (82 - 88) | 83.25 | 87.75 |
| VHF 174 -216 | III | 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 |
| | | 13 (210 - 216) | 211.25 | 215.75 |

Tabla 6: Distribución de los canales según el rango de frecuencias

| Televisión VHF | |
|-----------------------|----------------|
| Grupos | Canales |
| A1 | 2, 4, 5 |
| A2 | 3, 6 |
| B1 | 8, 10, 12 |
| B2 | 7, 9, 11, 13 |

Tabla 7: Grupos de canales para televisión VHF

| Relación de Protección para la señal de Imagen | |
|---|--|
| Interferencia Co - Canal | |
| Separación entre portadoras | Relación señal deseada/señal interferente |
| Inferior a 1000 Hz | 45 dB |
| 1/3, 2/3, 4/3 o 5/3 de la frecuencia de línea | 28 dB |
| Interferencia de canales adyacentes | |
| Interferencia | Relación señal deseada/señal interferente |
| Del canal inferior | - 6 dB |
| Del canal superior | - 12 dB |
| Relación de Protección para la señal de sonido | |
| Relación señal deseada/señal interferente | |
| 28 dB | |

Tabla 8: Relación de protección

| Planta Baja | | | | |
|--------------------|---------------------------------|-----------|-----------------------------------|---------------------|
| Canal | Distribución Estadística | Dn | Valor con 95% de confianza | Prueba K - S |
| 2 | Generalizada de Pareto | 0,0174 | 0.0276 | Aceptar |
| | Beta | 0.0259 | | Aceptar |
| 4 | Generalizada de Pareto | 0,0464 | | Rechazar |
| | Beta | 0.0134 | | Aceptar |
| 5 | Generalizada de Pareto | 0,0271 | | Aceptar |
| | Beta | 0.0108 | | Aceptar |
| 7 | Beta | 0,0155 | | Aceptar |

Tabla 9: Test K – S para canales en la planta baja

| Piso 9 | | | | |
|---------------|---------------------------------|-----------|-----------------------------------|---------------------|
| Canal | Distribución Estadística | Dn | Valor con 95% de confianza | Prueba K - S |
| 9 | Beta | 0,0207 | 0.0273 | Aceptar |
| 11 | Generalizada de Pareto | 0,0303 | | Rechazar |
| | Beta | 0.0261 | | Aceptar |
| 13 | Generalizada de Pareto | 0,0464 | | Rechazar |
| | Beta | 0.0267 | | Aceptar |

Tabla 10: Test K – S para canales en el piso 9