



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE ALGORITMOS PARA LA EVALUACIÓN DE
LA DISPONIBILIDAD ESPECTRAL DE CANALES
INDIVIDUALES Y CONJUNTOS EN LA BANDA UHF
UTILIZANDO UN DISPOSITIVO RTL SDR EN EL
INTERIOR DE UN EDIFICIO UBICADO EN ANDRÉS
MARÍN ENTRE SUCRE Y COLÓN EN LA CIUDAD DE
GUAYAQUIL”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

HENRY FABIÁN MIÑO VALLE

JOFFRE WLADIMIR ANZULES MERCHAN

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a mis padres por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, ellos junto a mí amada Susy me impulsaron a cumplir mi meta de ser profesional. A mi familia y amigos por su ayuda, comprensión y respaldo, sin ellos no podría disfrutar de este logro, a los profesores de la ESPOL por brindarme sus conocimientos y guiarme en mi camino universitario y finalmente a mis compañeros de trabajo, quienes me ayudan a mejorar cada día en el ámbito profesional.

Joffre Wladimir Anzules Merchán

Mis más sinceros agradecimientos a mi familia, la cual fue un pilar fundamental en todo este proceso, mediante su apoyo y comprensión en todo momento, agradezco a mis amigos y hermanos por estar ahí en momentos de dificultad y hacer ameno los momentos dentro de la institución, también a cada uno de los profesores con los cuales tuve la dicha de compartir dentro de la ESPOL.

Henry Fabián Miño Valle

DEDICATORIA

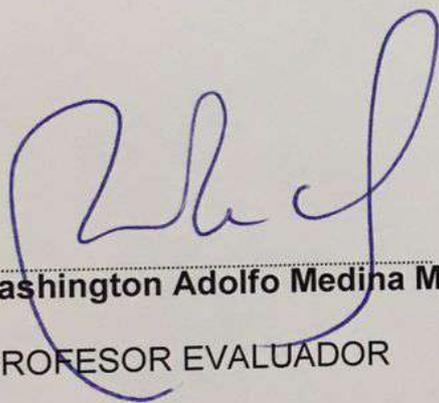
El presente proyecto lo dedico a, mis padres Angélica y Pedro, quienes con amor y mucha paciencia me enseñaron el significado de la honestidad, disciplina y perseverancia, valores que me permiten mejorar día a día tanto en el ámbito laboral como personal. A mi esposa Susy y mis hijos Daniel, Benjamín y Paula, quienes son mi soporte, a mis hermanos Jean y Joselyne a quienes adoro y a mis suegros Eduardo y Lelys por el respaldo que me brindan.

Joffre Wladimir Anzules Merchán

El presente proyecto lo dedico a Dios, por proveer los medios, los recursos, las personas y cada momento que han forjado mi carácter. Todo lo que tengo es por su infinita misericordia y bondad, por brindarme un hogar en el cual crecer y aprender, detalles de cada día que hablan de Él. También se lo dedico a mi tía Susana la cual ha mostrado un apoyo incondicional en todo momento para conmigo.

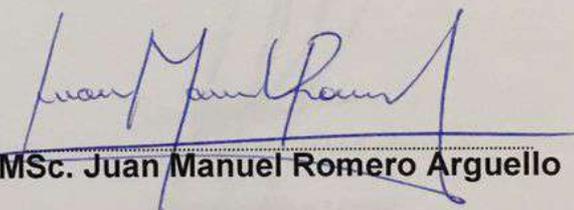
Henry Fabián Miño Valle

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



MSc. Washington Adolfo Medina Moreira

PROFESOR EVALUADOR

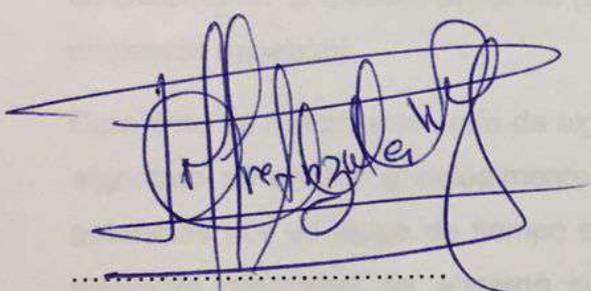


MSc. Juan Manuel Romero Arguello

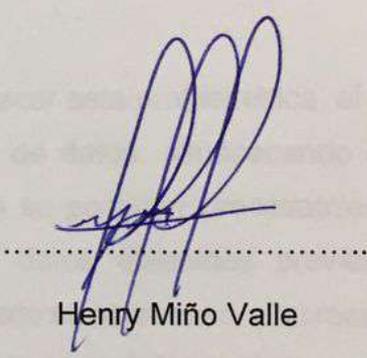
PROFESOR EVALUADOR

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"



Joffre Anzules Merchán



Henry Miño Valle

RESUMEN

Los espacios en blanco en la banda de televisión UHF son una oportunidad de uso eficiente del espectro radioeléctrico, debido a que actualmente por causa del alto crecimiento de las redes y dispositivos inalámbricos, la congestión y mala calidad de servicio son comunes. Por tal motivo el presente proyecto se enfoca en determinar la disponibilidad de espacios en blanco en la banda UHF TV en el interior de un edificio ubicado en Andrés Marín entre Sucre y Colón, el cual consta de 3 plantas; con el fin de determinar si existen espacios para el uso de alguna tecnología que ayude a la eficiencia espectral.

Para esto se realizó una serie de algoritmos para atacar esta problemática, el primer algoritmo se enfocó principalmente en el censado de datos, almacenando dichas potencias por un lapso de tiempo establecido, para su posterior procesamiento. El siguiente algoritmo se encargó de procesar los datos obtenidos previamente, mediante la disminución del ruido que se haya generado en el proceso, y su respectiva comparación con cada uno de los umbrales establecidos, brindando la matriz de estado lista para el procesamiento final. Por último, se procedió mediante métodos estadísticos a determinar la disponibilidad de canales individuales y conjuntos por día y semana.

Como resultado, a medida que las mediciones eran en los pisos inferiores mayor disponibilidad de canales se encontró, en el cual la capacidad obtenida en la planta baja es de 175Mbps para $\lambda = 10\text{dB}$ y solo 50Mbps para $\lambda = 4\text{dB}$, con una probabilidad de 0.8%. En la planta baja se encontró en promedio 11 canales disponibles durante el 30% del tiempo de estudio, mientras en el segundo y tercer piso 7 canales disponibles, con una diferencia en el tiempo que dichos canales se encuentran disponibles, 35% del tiempo para el segundo piso y 27% para el tercer piso, cuando se realizó el análisis con un umbral λ igual a 4dB. En la planta baja se encontró 1 canal conjunto de 18MHz de ancho de banda durante el 70% del tiempo para $\lambda=4\text{dB}$, mientras que para $\lambda=10\text{dB}$ se encontraron 4 canales conjuntos con ancho de banda de 36MHz durante el 25% del tiempo de estudio.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL	ii
CAPÍTULO 1.....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Planteamiento del problema.	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos.	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Especificos.....	4
1.5 Metodología.....	4
1.6 Alcance.	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1 Televisión analógica.	6
2.2 Interferencia.	8
2.2.1 Interferencia co-canal.....	8
2.2.2 Interferencia canal adyacente.....	9
2.3 Plan de canalización en el Ecuador.	9
2.4 Acceso dinámico al espectro.	12
2.5 Espacios en blanco.	15
2.6 Estudios Realizados.	15

CAPÍTULO 3.....	17
3. METODOLOGÍA.....	17
3.1 Escenario	17
3.2 Experimento	18
3.3 Algoritmos	19
CAPÍTULO 4.....	25
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.	25
4.1 Disponibilidad	26
4.2 Análisis de disponibilidad de sensibilidad	28
4.3 Análisis de la capacidad	31
4.4 Canales conjuntos	32
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXOS	40

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

1.1 Antecedentes.

Los cambios regulatorios en el sector de las telecomunicaciones se hacen presentes con el único propósito de asegurar el uso y una eficiente gestión del espectro radioeléctrico, siendo de gran valor económico y social; por lo cual es considerado un recurso natural limitado[1].

Partiendo del punto de que el espectro radioeléctrico es utilizado por sistemas que ofrecen servicios inalámbricos en un auge de crecimiento, más el despliegue de nuevas tecnologías y, considerando el uso de innovadores sistemas de telecomunicaciones, se requiere ocupar una porción del espectro radioeléctrico para poder brindar y transmitir sus datos o contenidos, por lo que se requiere de una reutilización del espectro para poder abordar de manera eficiente la demanda presente, por ejemplo, IoT (internet de las cosas) está próximo, y cada dispositivo electrónico podrá conectarse a internet, lo cual demandará más espacio en el espectro radioeléctrico[2].

Con el paso del tiempo se desarrollan nuevas tecnologías, formas de comunicación más avanzadas y mayor número de equipos que requieren el acceso a datos vía internet; este hecho ha dado lugar a varias investigaciones alrededor del mundo. Beijing, en mayo del 2012, realizó estudios en la banda que va desde los 440 MHz hasta los 2700 MHz que demostraron que el uso real del mismo es solamente del 15%[3].

En el Ecuador está próximo a ocurrir una transición del sistema analógico al digital llamada "Apagón analógico", el cual liberará segmentos del espectro radioeléctrico de televisión. Lo innovador de este sistema de televisión digital es que utiliza técnicas que optimizan el ancho de banda. Lo antes mencionado se puede considerar como una gran oportunidad y beneficio para el establecimiento de nuevos sistemas que trabajen correctamente en estos espacios libres[4] de

entre las cuales se encuentra DSA y OSA, las que requieren zonas del espectro que no se encuentren ocupada para así poder brindar mayor cobertura[5].

1.2 Planteamiento del problema.

Las redes inalámbricas permiten la interconexión entre dos o más puntos, nodos o estaciones, por medio de ondas electromagnéticas que viajan a través del espacio llevando información de un lugar a otro. En la actualidad estas redes se han vuelto muy populares, debido a la diversidad de equipos que soportan y a la facilidad de conexión que caracteriza a este tipo de redes. De esta manera, si se reúne una alta concentración de usuarios en una zona determinada, podrían ocasionar problemas en alguna banda de operación específica, desmejorando considerablemente la calidad de los servicios que se brindan a través de aquella banda.

Las redes inalámbricas suelen tener mucho auge debido a la necesidad de movimiento de información que se requiere en las instituciones públicas y privadas, la industria y el comercio, lo cual lleva al despliegue de una gran cantidad de redes inalámbrica.

El creciente número de dispositivos y el despliegue de numerosas redes inalámbricas pueden generar problemas de congestión e interferencia en las bandas de operación de otros servicios, lo que a su vez podría derivar en problemas de operatividad, por lo que es necesario incrementar la eficiencia de uso del espectro electromagnético. Razón por la que se vuelve prioritario el estudio y análisis de la disponibilidad tanto temporal como espacial de canales, por ello el presente trabajo se enfocará en la banda de frecuencia UHF-TV, la disponibilidad de canales en el interior de un edificio y el tiempo que permanecen libres.

1.3 Justificación.

Debido a los problemas previamente indicados, un nuevo concepto de sistema con Acceso Oportunista al Espectro (OSA)[6] se está introduciendo, el cuál basa su funcionamiento en la técnica de Radio Cognitiva. Este se desarrolla a través de un conjunto de procesos que forman el ciclo cognitivo[7]. Este ciclo se encarga del monitoreo del espectro, mediante el cual supervisa las bandas disponibles en el espectro en búsqueda de espacios en blanco "White Space".

El acceso oportunista al espectro ofrece una variedad de alternativas para disminuir los problemas debido a la no eficiencia en el uso del espectro, causado principalmente por los métodos actuales de asignación, gestión y demanda del mismo[6].

Debido a esto, este trabajo se enfoca en analizar el censado del espectro radioeléctrico en un escenario *indoor* de un edificio ubicado en la zona urbana de Guayaquil, para observar el comportamiento de cómo puede ir variando la disponibilidad de canales a medida que se cambia de piso, de esta manera obtenemos no solo la disponibilidad en el tiempo sino en el espacio.

Un punto favorable son las sombras que pueden existir debido a las obstrucciones y reflexiones de la señal ocasionadas por paredes, edificios, ventanas etc. Las cuales producen un debilitamiento de la señal o una completa perdida en el escenario *indoor*.

El propósito de estas mediciones es de obtener los niveles de potencia para poder modelarlos estadísticamente y determinar qué tan disponibles se encuentran los canales.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

- Determinar la disponibilidad espectral de canales individuales y conjuntos en la banda UHF TV en el interior de un edificio de la zona urbana de Guayaquil.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar un experimento que utilice un RTL SDR para recopilar información de los canales pertenecientes a la banda UHF TV.
- Elaborar un algoritmo que permita discriminar si un canal de la banda UHF TV se encuentra ocupado.
- Evaluar la disponibilidad de canales individuales y conjuntos de la banda UHF TV durante el tiempo que se ejecute el experimento.
- Concluir cuales son los canales individuales y conjuntos que se encuentran disponibles en un determinado espacio de tiempo.
- Proponer alternativas de uso de tecnologías para esta disponibilidad de canales encontrados.

1.5 Metodología.

Con la finalidad de evaluar los canales de la banda UHF TV se diseñó un algoritmo el cual permitió determinar si un canal se encuentra disponible u ocupado, se utilizó como dato de entrada la potencia percibida por nuestro receptor en un instante de tiempo establecido, el algoritmo se apoyó en las características del receptor para concluir si un canal se encuentra ocupado o libre. Además se identificó el ancho de banda de aquellos canales conjuntos que se encuentren libres y el tiempo que permanecen en ese estado.

Para recopilar información de los canales de la banda UHF TV, se diseñó un experimento que utilizó un dispositivo de adquisición de datos (RTL2832U) como herramienta de recopilación, dicho experimento se desarrolló en un lapso de 7 días por punto de medición y registró en una base de datos los niveles de

potencia recibida de cada uno de los canales de la banda UHF TV, en un instante de tiempo determinado.

El experimento se llevó a cabo en el interior del edificio ubicado en las calles Andrés Marín entre Sucre y Colón #407, zona urbana de la ciudad de Guayaquil y que consta de 3 niveles o pisos.

Concluida las mediciones se procedió al análisis y estudio de los resultados, aplicando métodos estadísticos para la verificación de espacios en blanco dentro de banda UHF TV.

Con estos resultados se procedió a proponer alternativas de tecnologías para aprovechar la disponibilidad de estos canales.

1.5 Alcance.

Se realizó mediciones de la densidad de potencia (dBm) de cada uno de los canales de la banda UHF-TV, en 3 plantas (*baja, media y alta*) del edificio ubicado en las calles *Andrés Marín entre Sucre y Colón #407* de la ciudad de Guayaquil, con coordenadas *-2.1922,-79.8998*.

Las mediciones se llevaron a cabo por un periodo de 7 días en cada uno de los pisos respectivamente, la ubicación del aparato de medición debe cumplir las siguientes condiciones: debe situarse a 1 metro de la pared y en la misma posición vertical en todos los pisos a analizar.

La banda a analizar es la banda de UHF TV (470-698 MHz) y el equipo de adquisición de datos fue el RTL-SDR RTL2832U, el cual opera en un rango de frecuencia desde 24MHz hasta 1.7 GHz, con un ancho de banda de 3.2Mhz.

El programa para la adquisición de datos que se utilizó fue Matlab.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE.

En el Ecuador, una de las bandas UHF, específicamente la 850 MHz la cual se encuentra asignada a telefonía móvil está saturada debido a la gran cantidad de abonados que este servicio representa; debido a esto y al compromiso de las operadoras en el Ecuador por ofrecer un mejor servicio, la agencia reguladora brindó apertura a la banda de 700 MHz, la cual se encuentra dentro de la banda UHF.

La banda de frecuencia UHF ha sido investigada y analizada para poder observar el comportamiento del uso del espectro radioeléctrico en varios países alrededor del mundo [8], y con este estudio se concluyó que una gran parte del espectro en la banda de frecuencia UHF específicamente para radiodifusión estaba siendo subutilizado.

2.1 Televisión analógica.

Actualmente en el Ecuador el sistema de televisión analógica se encuentra en una etapa de transición, ya que para el mes de junio del 2017 se tiene previsto el cese de emisiones de televisión analógica denominado “apagón analógico” dando paso a la televisión digital terrestre (TDT)[9]. Todo esto se ha efectuado mediante un proceso para no afectar a los usuarios, por tal motivo se dan en conjunto los servicios de televisión analógica y televisión digital.

Aquí se presentan algunas normativas y características del sistema de televisión analógica en el Ecuador:

- El ancho de banda de un canal analógico es de 6 MHz[10].
- La agencia de control y regulación de las telecomunicaciones (ARCOTEL) señala que los sistemas de televisión analógica utilizan 3 portadoras, una para video, color y sonido[10].

- La modulación utilizada para la transmisión en los sistemas de televisión analógica es AM/FM[10], en la figura 2.1 se observa un esquema de como viaja la señal hacia el usuario.

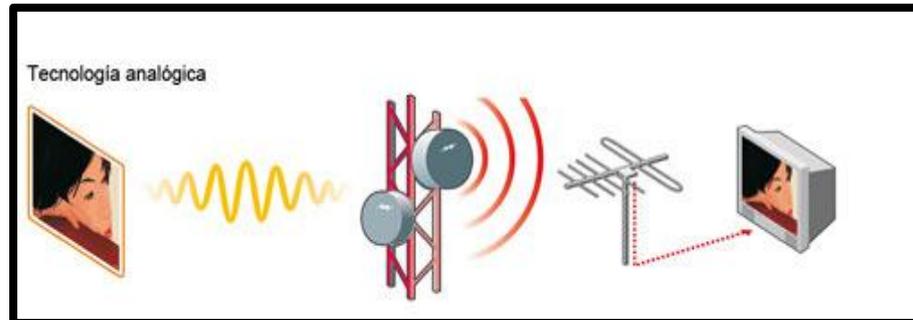


Figura 2.1: Tecnología analógica [11].

La comisión nacional de sistema de televisión (NTSC) definió el esquema de modulación del espectro de un canal de televisión como se observa en la figura 2.2, donde se observa que un canal del espectro de la señal de televisión está formado por 3 portadoras; portadora de color la cual es la de video, portadora de luminancia y portadora de audio, con un total de ancho de banda de canal de 6 MHz.

La portadora de luminancia se encuentra por encima del límite inferior del canal a 1.25 MHz, la portadora de color es modulada en QAM por la señal de crominancia con portadora suprimida, se encuentra a 3.579545 MHz por encima de la portadora de luminancia, y la portadora de audio se encuentra a 4.5 MHz por encima de la portadora de luminancia, está es modulada en frecuencia (FM) la cual tiene su portadora a 5.75 MHz del límite inferior del canal con una desviación de ± 25 KHz.

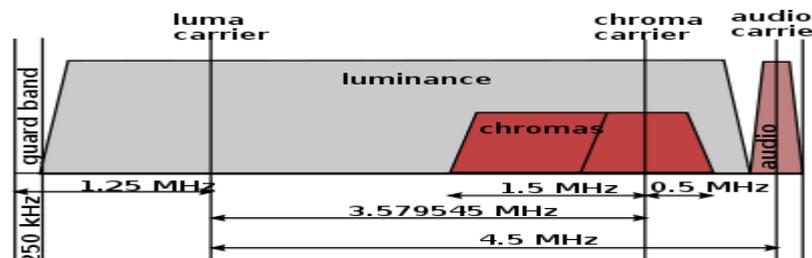


Figura 2.2: Canal de televisión NTSC [12].

2.2 Interferencia.

La interferencia ocurre cuando señales de radio no deseadas interrumpen las imágenes del televisor. La interferencia puede bloquear por completo la recepción de señales, también puede causar la pérdida momentánea de una señal o podría afectar la calidad del sonido o de una imagen. Las causas más frecuentes de interferencia son las generadas por transmisores y equipos eléctricos[13].

En los sistemas de radiodifusión de televisión analógica, son varios los factores que pueden generar una mala recepción de la señal; de los cuales están el multitrayecto de la señal, la pobre relación de potencia señal vs ruido, la intermodulación y las interferencias[14].

Las señales que se propagan por medio del espectro radioeléctrico, usualmente son afectadas por los siguientes modos de interferencia; interferencia co-canal [15] e interferencia de canal adyacente[16].

2.2.1 Interferencia Co-Canal.

La interferencia co-canal es ocasionada debido a la superposición de 2 o más señales, las cuales provienen de diferentes transmisores que operan en la misma banda de frecuencia o canal[14], como se puede observar en la figura 2.3.

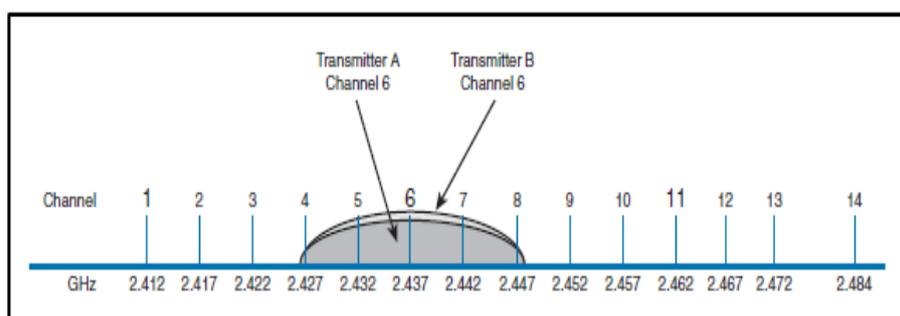


Figura 2.3: Interferencia co-canal [17].

En el caso de los sistemas de radiodifusión, en la banda UHF con el estándar NTSC, se ha establecido una distancia mínima de separación de 275 Km entre los transmisores, con el fin de reducir el problema de la interferencia co-canal[18].

2.2.2 Interferencia canal adyacente.

La interferencia de canal adyacente se debe principalmente a un mal filtrado en la entrada del receptor y debido a una incorrecta sintonización[19].

Este tipo de interferencia se presenta entre señales que se encuentran en canales adyacentes dentro del espectro, como se aprecia en la figura 2.4, la posibilidad de que un canal contiguo superior (N+1) o inferior (N-1) irradie su potencia a un canal N es muy probable.

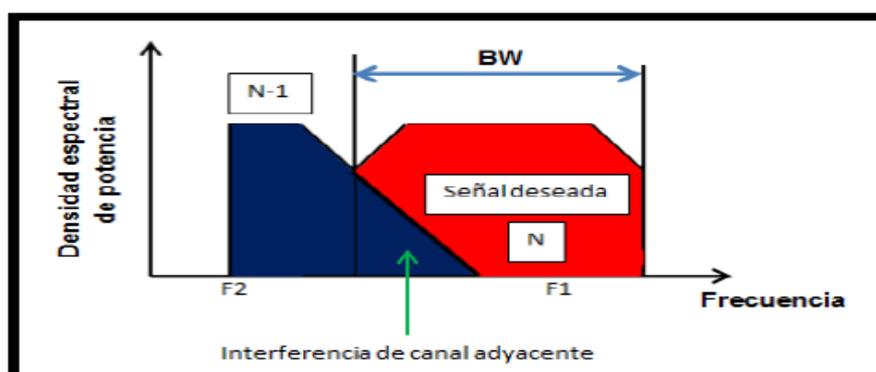


Figura 2.4: Interferencia de canal adyacente [20].

2.3 Plan de canalización en el Ecuador.

En el Ecuador de acuerdo a la “Norma técnica para el servicio de televisión analógica y plan de distribución de canales”[10] el esquema de las frecuencias en las que opera la banda de televisión UHF es como se observa en la tabla 1.

Televisión UHF	
Banda IV	De 500 a 608 MHz y de 614 a 644 MHz

Banda V De 644 MHz a 686 Mhz

Tabla 1: Bandas de frecuencia [10].

La banda de frecuencia de televisión UHF se divide en 33 canales con un ancho de banda de 6 MHz respectivamente. En la tabla 2 (ver anexos) se observa detalladamente la distribución de los canales con sus respectivos rangos de frecuencia, portadora de audio y video.

La agencia de regulación y control de las telecomunicaciones (ARCOTEL), con el objetivo de reducir el impacto de la interferencia de canal adyacente y co-canal, diseñó una distribución de grupos pequeños de los 33 canales UHF en todo el territorio ecuatoriano.

Como se observa en la tabla 3, la distribución y la agrupación de los canales está elaborada de tal manera que se tiene una separación de 1 canal o (banda de guarda) de 6 MHz entre cada canal, así se reduce las posibles interferencias de canal adyacente entre los canales de grupo al que pertenece.

GRUPO	CANAL	GRUPO	CANAL
G1	19	G2	20
	21		22
	23		24
	25		26
	27		28
	29		30
	31		32
	33		34
	35		36
G3	39	G4	38
	41		40
	43		42
	45		44
	47		46
	49		48

Tabla 3: Agrupación de canales [10].

La ARCOTEL mediante su plan de distribución de canales por zonas geográficas como se observa en la tabla 4 (ver anexos), reduce el impacto debido a la interferencia co-canal. De esta manera, la asignación de canal debe regirse a dicha distribución según el sitio geográfico donde se quiera transmitir. También existe la posibilidad de transmitir en canales de otro grupo (adyacentes), para lo cual se deben cumplir los requisitos técnicos descritos en el artículo 8 de la norma técnica para el servicio de televisión analógica y plan de distribución de canales[10].

Otro aspecto importante a cumplir para la protección debido a estos tipos de interferencias, es la relación entre señal deseada e interferente, entre otros aspectos, como se ve en la tabla 5.

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 CANAL ADYACENTE	
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 5: Relación de protección señal deseada/señal no deseada [10].

2.4 Acceso dinámico al espectro.

La asignación estática del espectro es uno de los mayores problemas de las redes inalámbricas debido a las políticas de asignación. Por eso, se enfoca a las redes de radio cognitiva (CR), las cuales plantean soluciones a este modelo mediante el acceso dinámico al espectro.

La asignación tradicional del espectro se basa en modelos estáticos, en el cual si un canal del espectro radioeléctrico no es utilizado pero le pertenece a un usuario con licencia, este no puede ser utilizado por los usuarios sin licencia. Esto implica que un sistema inalámbrico deba operar únicamente en una banda dedicada, y que no pueda adaptarse de acuerdo a los cambios en el entorno.

Debido a esto, el sistema Radio Definido por Software (SDR), es el indicado para el manejo de la gestión dinámica del espectro, además estos dispositivos SDR pueden funcionar fácilmente en redes heterogéneas, adaptándose a nuevas frecuencias y tipos de modulación[21],

El acceso dinámico al espectro se define como un instrumento para calibrar el espectro en un tiempo en respuesta a un cambio en el ambiente, como un canal disponible en el tiempo, cambios de estado de radio y limitantes externas. Este tipo de tecnología proporciona la ventaja de compartir el espectro entre los sistemas licenciados primarios y los sistemas secundarios no licenciados.

Son 3 los modelos principales de acceso dinámico al espectro que existen: uso común, uso compartido y uso exclusivo[22].

En el modelo de uso común, la ventaja que proporciona es un espectro abierto para el acceso de todos los usuarios, cabe recalcar que este ya es usado en la banda reservada internacionalmente para el uso no comercial en áreas industriales, médicas y científicas.

En el modelo de uso compartido, a los usuarios primarios (licenciados) se les asigna bandas de frecuencias, a las cuales los usuarios secundarios (no licenciados) pueden acceder oportunamente cuando estas no se encuentran ocupadas por los usuarios primarios.

En el modelo de uso exclusivo, el usuario licenciado puede conceder o denegar el acceso a una banda de frecuencia particular a un usuario no licenciado por el tiempo que este establezca.

En la figura 2.5 se observa un esquema de la arquitectura de la radio cognitiva. Como se aprecia, los usuarios que se encuentran dentro de la red de radio cognitiva (sin infraestructura) se comunican con la red primaria a través de un dispositivo que de acceso a la misma, mientras que los usuarios que se encuentran dentro de la red de radio cognitiva (con infraestructura) se conectan directamente con la estación base de radio cognitiva, además existe comunicación entre bandas licenciadas (I y II) y banda no licenciada. Por lo que se indica, este sistema en base al estado del entorno, ajusta dinámicamente los parámetros de radio para una comunicación efectiva y eficiente, mejorando así el uso del espectro[21].

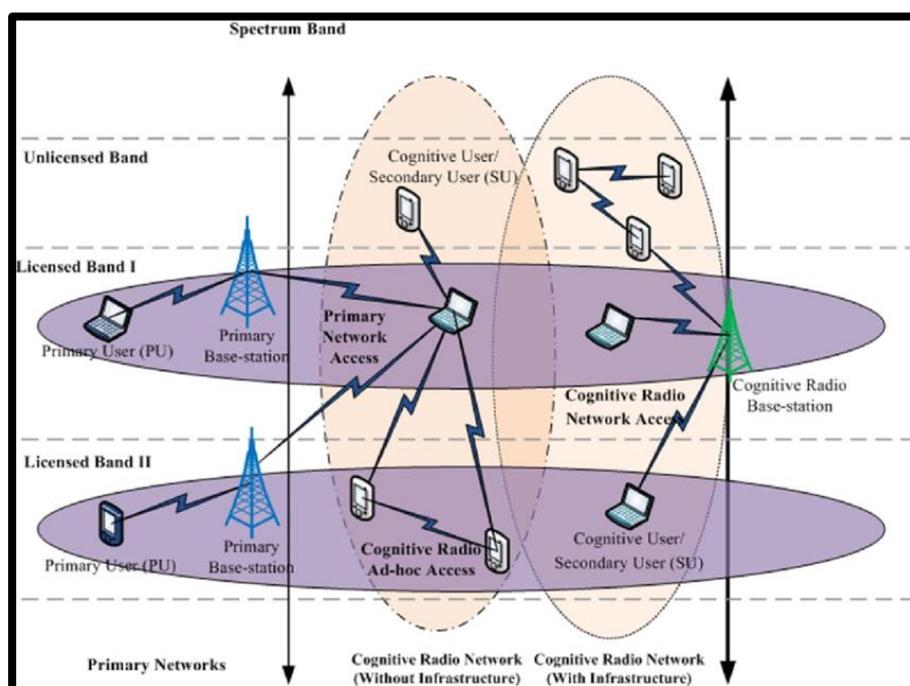


Figura 2.5: Arquitectura del sistema de radio cognitiva [21].

El esquema del ciclo cognitivo se observa en la figura 2.6, el cual requiere de un funcionamiento adaptivo, consta de 4 partes fundamentales que son: la detección del espectro, movilidad de espectro, decisión de espectro y compartir el espectro. En la primera parte de la detección del espectro permite detectar huecos espectrales y usuarios primarios, en el caso de existir usuarios primarios, se pasa al punto de movilidad de espectro en el cual se permite o se niega el acceso compartido o exclusivo, luego llegamos a la parte de decisión de espectro en el cual observa si el canal cumple los requerimientos necesarios para poder hacer uso y compartir el espectro.

Debido a la temática de este proyecto integrador, solo se enfocará en la primera parte del ciclo cognitivo que es la detección del espectro, ya que solo se realizarán mediciones de niveles de potencia.

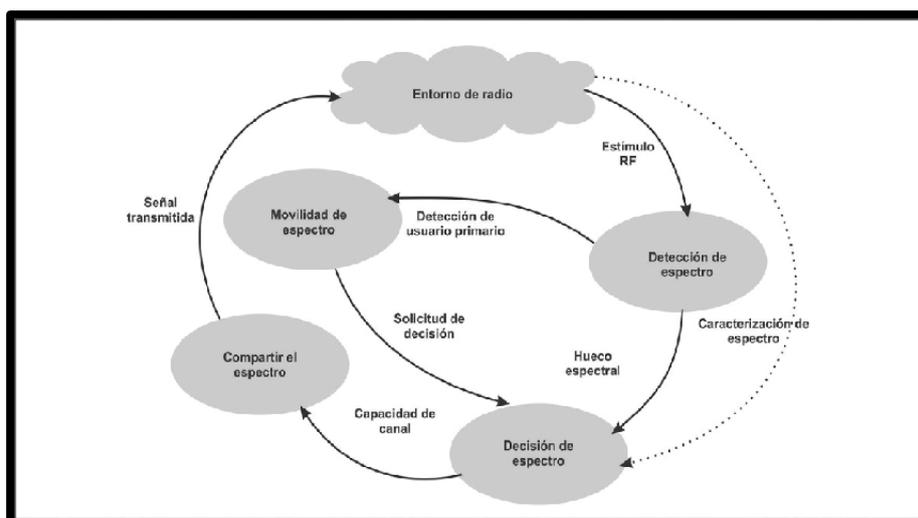


Figura 2.6: Ciclo Cognitivo [21].

2.5 Espacios en blanco.

Con el uso eficiente del espectro mediante DSA se pretende reducir la subutilización utilizando los espacios en blancos de televisión de una mejor manera. Los espacios en blanco en televisión (TVWS) son comunes en cualquier área geográfica, ya que esto disminuye la interferencia debido a canal adyacente entre transmisoras. Por tal motivo, cuando los canales de tv son asignados la FCC pone canales en blanco entre estaciones[23].

La FCC usa el término White Space para hacer referencia al espectro que no está siendo utilizado en la banda de televisión. Por tal motivo nació el concepto de TV White Space (TVWS), concepto por el cual las nuevas reglas del juego están cambiando, ya que proporcionan la facilidad de desarrollar nuevas redes inalámbricas para utilizar dichos espacios en blanco, debido a que las redes inalámbricas está presentando un crecimiento.

Las grandes oportunidades que brinda este concepto de TVWS ha hecho que sea estudiado y estandarizado, como por ejemplo el estándar IEEE 802.22 pensado para zonas poco pobladas con el propósito de facilitar el acceso de ancho de banda para redes de datos. Además existe el estándar IEEE 802.11af, el cual modifica la MAC y capa física del estándar previo IEEE 802.11 con el principal objetivo de cumplir los requerimientos legales de existencia conjunto para que los sistemas WIFI tengan acceso a TVWS.

2.6 Estudios Realizados.

Uno de los estudios sobre la disponibilidad de canales y uso eficiente del espectro fue el realizado en Serbia en el 2015[24], con la finalidad de realizar un análisis comparativo entre un analizador de espectro convencional y un RTL SDR de bajo costo. Este estudio nos proporcionó aspectos técnicos que fueron de utilidad en nuestro proyecto.

Para una mejor recepción de la señal es conveniente no conectar el dispositivo RTL SDR directamente al computador, ya que el ruido generado por este es demasiado alto, por lo cual es recomendable conectar el dispositivo a través de una extensión USB a una distancia de 1m.

Otro aspecto importante que proporcionó fueron los niveles de umbral sobre el piso de ruido mediante los cuales se realizaría el análisis, para un analizador convencional es de 10 dB, para el RTL SDR es de 4 dB, estos fueron los niveles de umbral utilizados para nuestro análisis de disponibilidad de canal.

Se concluyó que un analizador espectral de bajo costo como el RTL SDR es factible utilizar para el estudio del espectro, obviamente los datos no son completamente precisos que si se utilizara un analizador de alto costo, pero para su precio y función es conveniente su uso.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA.

El objetivo principal del proyecto fue descrito en los capítulos anteriores, mostrando la problemática y algunos estudios previos realizados en la Banda UHF acerca de la disponibilidad de canales unitarios y conjuntos. En el presente capítulo se procedió a describir la metodología, equipos a utilizar y el lugar en cual se realizó el estudio.

3.1 Escenario.

El análisis se llevó a cabo en el interior de un edificio de la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, ubicado en la calle Andrés Marín entre Sucre y Colón, en los alrededores se encuentran edificios de diferentes alturas como se muestra en la figura 3.1, la estructura de los edificios provocan pérdidas en la señales recibidas en el rango de frecuencias de la Banda UHF, generando canales libres o también llamados espacios en blancos. Las mediciones se llevaron a cabo en la planta baja, el segundo piso y el tercer piso del edificio, se escogió un lugar puntual en cada piso con la finalidad de identificar aquellos canales que se encuentre disponibles.

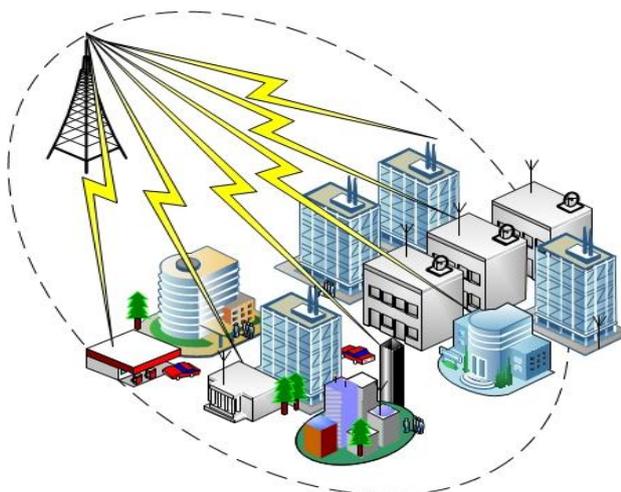


Figura 3.1: Escenario, zona urbana densa [24].

3.2 Experimento.

Se utilizó un RTL-SDR el cual es un dispositivo económico capaz de monitorear el espectro de la banda UHF con un hardware externo mínimo[24] este dispositivo tiene un rango de operación de 42-1002 MHz con una capacidad de ancho de banda de 2.4 MHz en el receptor, siendo este ancho de banda menor al del ancho de banda de un canal de TV, por lo cual es necesario realizar un algoritmo de barrido para poder recopilar la información de un canal y a su vez de toda la banda UHF. Dentro de sus características presenta una figura de ruido de 3.5dB y una potencia máxima de entrada de 10dbm. La conexión entre la antena y el RTL-SDR se realiza a través de un conector SMA y un cable coaxial de 1 metro para evitar grandes pérdidas de la señal. Finalmente la comunicación entre el RTL-SDR y la computadora se lo realiza a través de un cable extensor de USB de 15cm de longitud.



Figura 3.2: Sistema utilizado para la medición [24].

La figura 3.2, muestra el sistema de medición utilizado dentro del escenario planteado en el inciso anterior, donde la intensidad de señal recibida por la antena es expresada en la ecuación 3.1.

$$P_{R_{ant}} = P_R - (G_{Ant} + G_{SDR}) + (L_C + L_{Con}) \quad (3.1)$$

Para el análisis es necesario determinar la potencia percibida en la antena $P_{R_{ant}}$, que se obtiene al analizar la potencia medida por el receptor (P_R) a la cual se debe restar la ganancia de la antena (G_{Ant}) y la ganancia del RTL-SDR (G_{SDR}) y a lo anterior se debe adherir las pérdidas provocada por los cables (L_C) y los conectores (L_{Con}).

3.3 Algoritmos.

Para poder realizar el análisis de la banda UHF del sistema de televisión, se realizaron los siguientes algoritmos:

- Adquisición de datos.
- Cálculo de potencia del canal y tabla de disponibilidad.
- Canales conjuntos disponibles y capacidad.

La adquisición de datos se realizó a través de un programa desarrollado en Matlab el cual permitió recorrer el espectro de frecuencias que comprende la banda UHF y almacenar la información de la potencia recibida en varios archivos Excel, los parámetros a configurar son la ganancia del RTL SDR, el rango de frecuencias a ser analizado (500-698 MHz), el ancho de banda del receptor, el cual fue fijado en 2MHz para no tener pérdidas de datos, la ubicación del archivo Excel donde es almacenada la información y la cantidad de lecturas que son almacenadas por archivo, estos parámetros fueron configurados previo al inicio del programa.

El programa de adquisición generó 768 muestras por cada canal, obteniendo un total 25344 muestras para el total del espectro de la banda UHF TV, estos datos permitieron modelar el espectro de potencias en el rango de frecuencias de la banda en estudio, obteniendo una gráfica del espectro como se muestra en la figura 3.3.

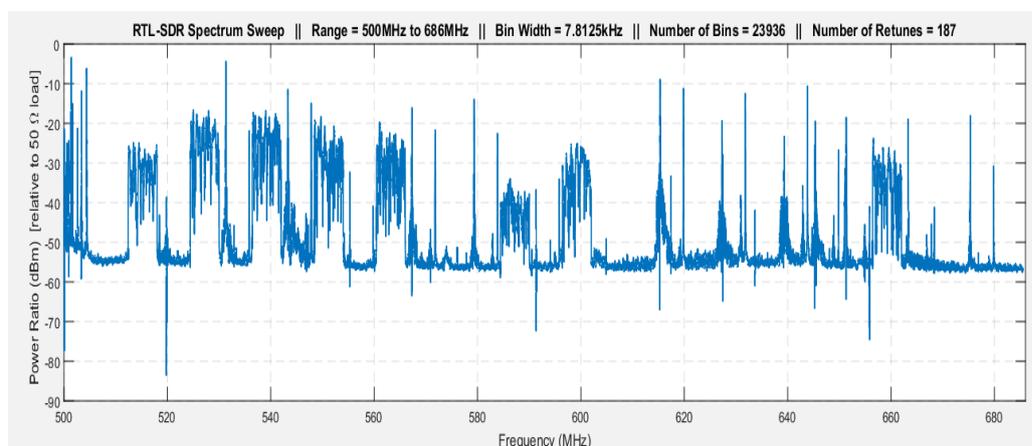


Figura 3.3: Espectro de la banda UHF.

Los valores de la potencias obtenidas (25344 muestras) fueron almacenadas en el archivo Excel, el proceso se repitió 150 veces, luego se procedió a guardar el archivo e inmediatamente después y de forma automática se abrió un nuevo archivo y se repitió el proceso, esto se realizó con el fin de generar varios archivos por piso durante el tiempo total de estudio, el cual fue de una semana.

El procedimiento descrito en los párrafos anteriores se repitió en cada piso a analizar, las mediciones en cada piso fueron realizadas en semanas distintas debido a las restricciones de acceso que se encontraron por parte de la administración del edificio. Figura 3.4 muestra el algoritmo descrito en los párrafos anteriores.

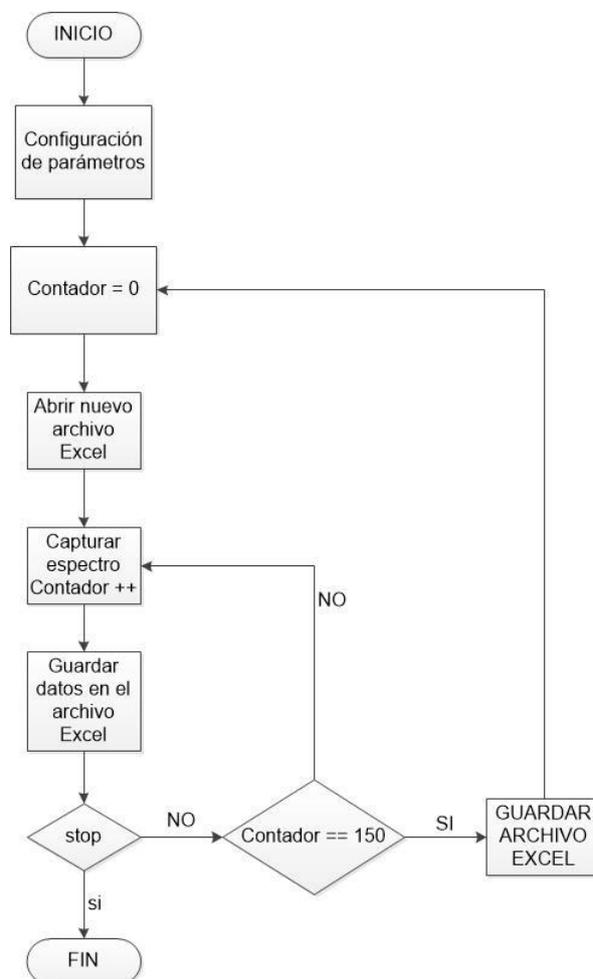


Figura 3.4: Algoritmo de adquisición de datos.

Una vez obtenidas las mediciones se procedió a calcular el valor de potencia correspondiente a cada canal, considerando el promedio de potencias total del canal para un canal digital y la magnitud pico de la portadora de video para los canales analógicos. El algoritmo se presenta en la figura 3.5.

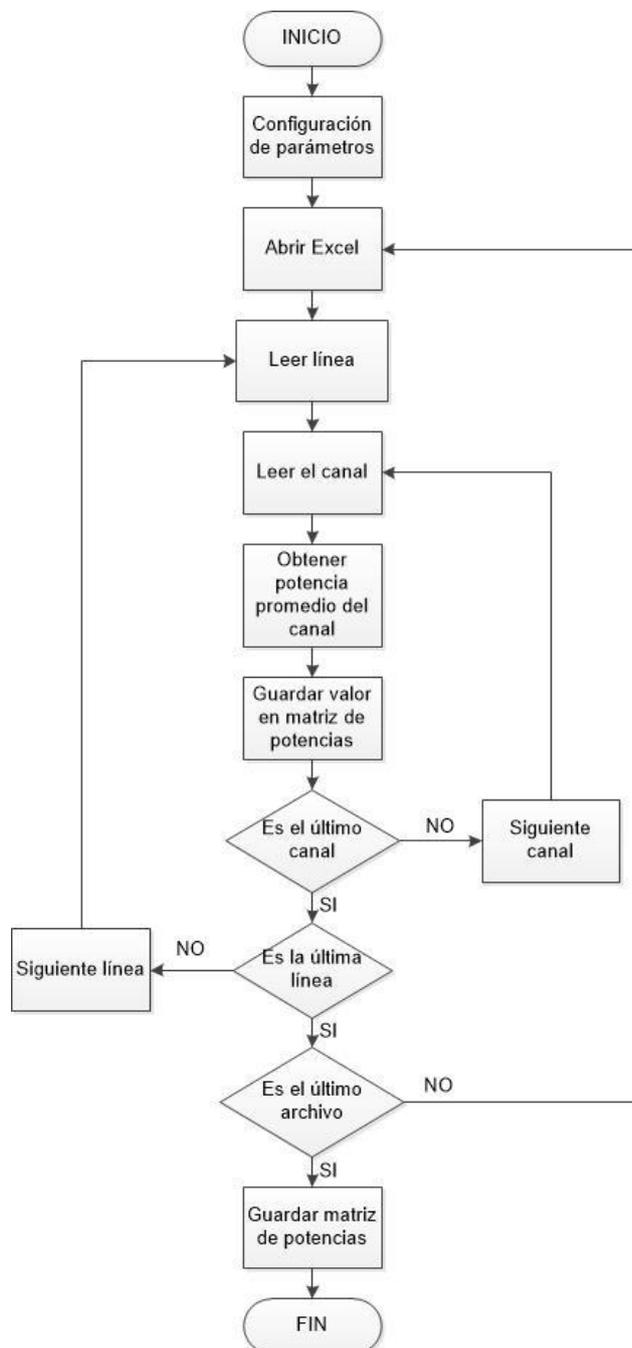


Figura 3.5: Algoritmo cálculo de potencias de canal.

Obtenidos los valores de potencia, se procedió a determinar el estado temporal de cada canal, para lo cual se comparó el nivel de potencia obtenido con un umbral de 4db y 10db sobre el nivel del piso de ruido medido, para generar una tabla de estados, de acuerdo a la ecuación 3.2.

$$\varphi_{ij} = \begin{cases} 1, & Pr_{ij} - P_{noise} < \lambda \\ 0, & Pr_{ij} - P_{noise} \geq \lambda \end{cases} \quad (3.2)$$

La variable φ_{ij} indica que el canal i en el instante de tiempo j está ocupado ($\varphi_{ij} = 0$) o desocupado ($\varphi_{ij} = 1$) usando como referencia el umbral λ , el cual representa la diferencia entre la potencia recibida y el piso de ruido. La figura 3.6 muestra el algoritmo para la obtención de la matriz de estados.

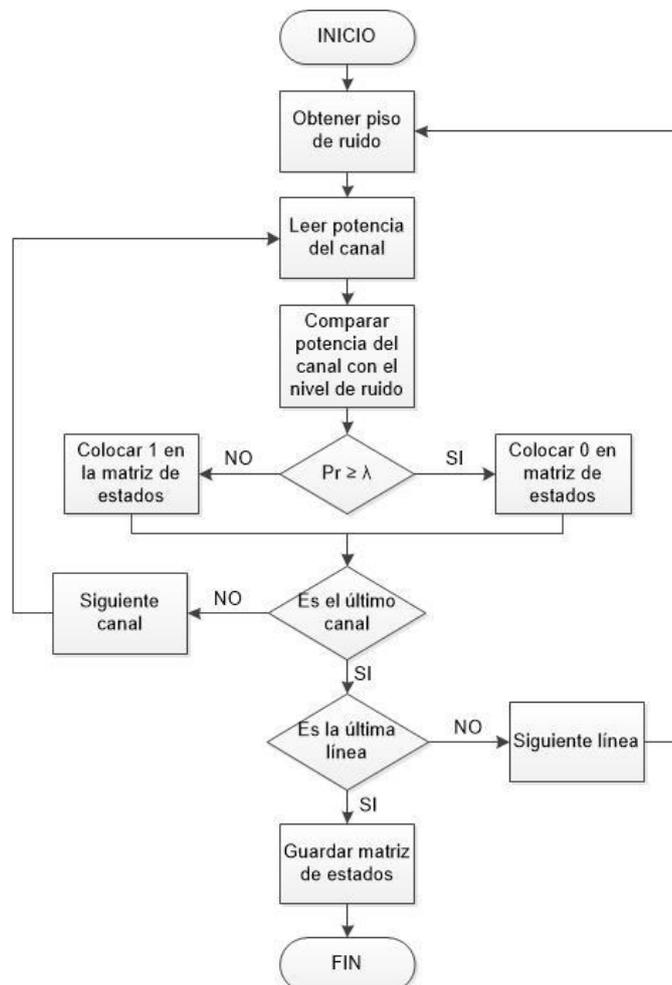


Figura 3.6: Obtención de matriz de estados.

Una vez obtenida la matriz de estados, la disponibilidad es determinada por la ecuación 3.3, la cual expresa cuan a menudo un canal se encuentra disponible en el periodo de tiempo de análisis.

$$D_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{ij}} \varphi_{ij}}{N_{ij}} \quad (3.3)$$

Donde el numerador representa la sumatoria de N_{ij} datos tomados de la matriz de estados φ_{ij} , la variable D_{ij} representa la disponibilidad del canal en el tiempo de estudio. Con este proceso determinamos que tan probable es encontrar un canal desocupado en un lapso de tiempo.

Para el presente trabajo además se analizó los canales conjuntos que se encuentran disponibles dentro del espectro, un canal conjunto está formado por la unión de n canales adyacentes que se encuentran disponibles en el mismo instante de tiempo, el algoritmo utilizado para determinar los canales conjuntos es presentado en la figura 3.7.

Para determinar la capacidad de un canal libre (C) se utilizó el teorema de Hartley-Shannon, el cual establece la capacidad de un canal, el cual posee un ancho de banda finito y una señal continua que sufre un ruido gaussiano, cuya expresión matemática es presentada en la ecuación 3.4.

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (3.4)$$

Donde B es el ancho de banda correspondiente al canal disponible (6 MHz para un canal de la banda UHF), S representa el valor de la potencia promedio del canal expresado en watts, y N es el promedio del nivel de ruido sobre la banda de estudio, expresado en watts.

Uno de los objetivos del presente trabajo es determinar la capacidad máxima de n canales continuos disponibles, con respecto a los umbrales λ (4db y 10db) sobre el nivel del piso de ruido del canal, para lo cual se debe utilizar el teorema de Hartley-Shannon de la forma presentada en la ecuación 3.5.

$$C_n = \left(\sum_{i=1}^n B_i \right) \log_2 \left(1 + \frac{S_{pr}}{N_{pr}} \right) \quad (3.5)$$

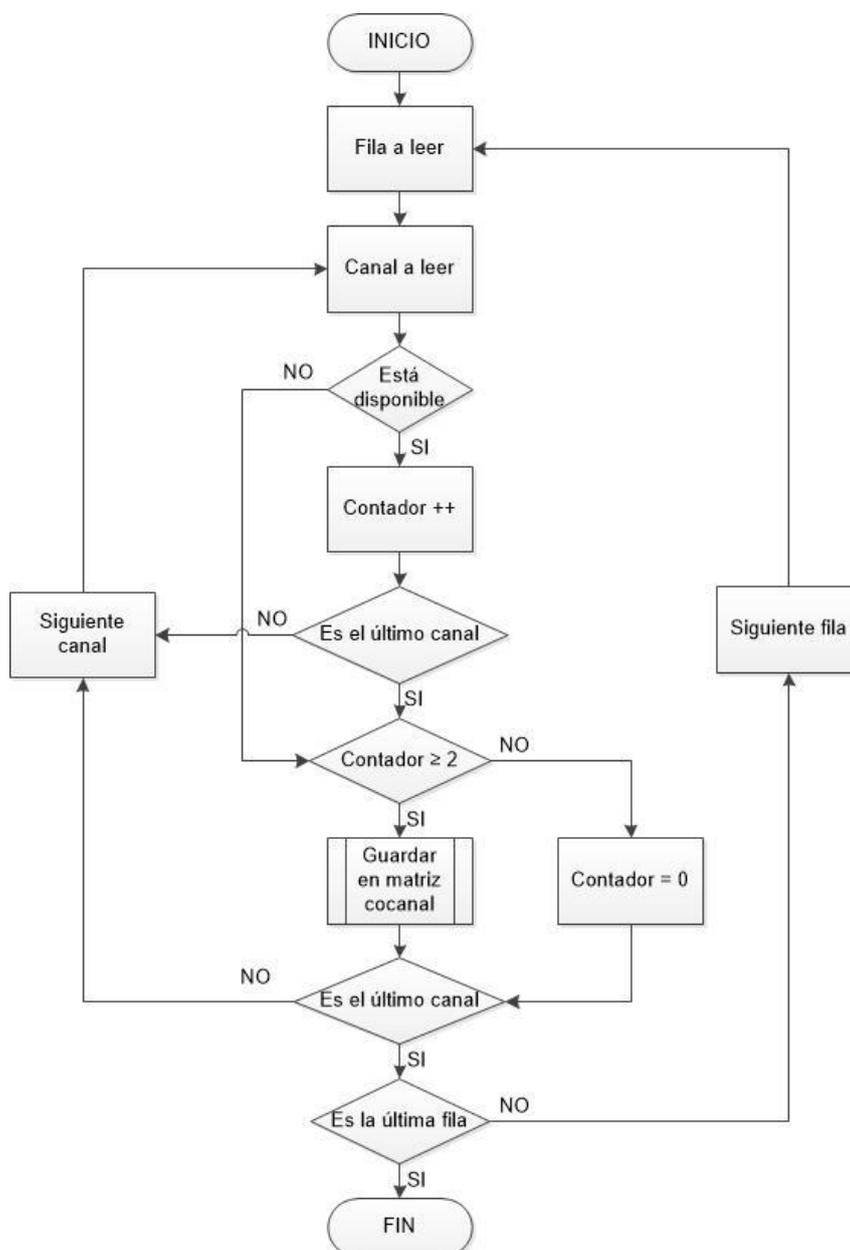


Figura 3.7: Algoritmo para obtención de canales conjuntos.

El proceso descrito en los párrafos anteriores se realizó en todos los pisos a ser estudiados, al final se presentó un análisis en el cual se relaciona los resultados obtenidos en un piso con los resultados obtenidos en un piso diferente.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS.

Esta sección presenta el análisis de los resultados de los canales disponibles obtenidos a partir de los datos recogidos durante el proceso de medición. Las mediciones se realizaron en el edificio ubicado en la calle Andrés Marín entre las calles Sucre y Colón (Latitud 2 ° 11' 33.089" S y Longitud 79 ° 53' 59.159" O) durante 7 días consecutivos, en cada piso, utilizando el sistema descrito en el capítulo 3. La tabla 6 muestra los valores de configuración de los parámetros definidos para este estudio. Las frecuencias a medir corresponden a los canales del 19 al 51 definidos en la banda UHF. La banda a estudiar comprende las frecuencias desde 500 MHz hasta 698 MHz y un ancho de banda por canal de 6 MHz. Las mediciones de los canales y su evaluación se realizaron de manera individual, la potencia del canal, para canales analógicos, corresponde a su nivel de potencia más alto, que se produce, en su portadora de luminancia y para canales digitales, la potencia, corresponde al promedio de la potencia medida del canal.

Parámetros del sistema	
Ancho de banda total, BW	500-698 MHz
Ancho de banda del canal, Δf	6 MHz
Frecuencia inicial, f_1	500 MHz
Frecuencia final, f_n	698 MHz
Canal inicial, Ch_1	19
Canal final, Ch_N	51
Tiempo de muestra por canal	3.75 s
Potencia umbral sobre piso de ruido, λ	4 dB y 10 dB
Numero de muestras para disponibilidad, N_s	32

Tabla 6: Parámetro de configuración [24].

Para el análisis del umbral que determina si un canal está ocupado o disponible, el umbral de decisión λ es el valor recomendado por ITU, el cual es 10 dB sobre el promedio del piso de ruido [25] Sin embargo, al utilizar el RTL-SDR dongle como dispositivo para monitorear el espectro en el rango de frecuencias de la banda UHF TV, un umbral de decisión λ de 4dB sobre el promedio del piso de ruido es suficiente [24] Por este motivo se escogieron estos dos umbrales (4dB y 10dB) para analizar la disponibilidad de canales en la banda UHF TV.

4.1 Disponibilidad.

Para cuantificar porcentualmente la disponibilidad de un canal se agrupó los datos obtenidos cada 32 muestras, para obtener una perspectiva temporal de los resultados. La figura 4.1 muestra la disponibilidad de un canal vs tiempo, en una escala de colores que van desde el marrón hasta el azul, al lado derecho del gráfico se presenta la escala de colores de manera gradual, con una tonalidad marrón indicando 100% de disponibilidad y el color azul representa 0% de disponibilidad. Los canales 19, 20 y 37 son canales reservados por el ente regulador del país y por lo tanto serán considerados como ocupados dentro del análisis.

PLANTA BAJA.

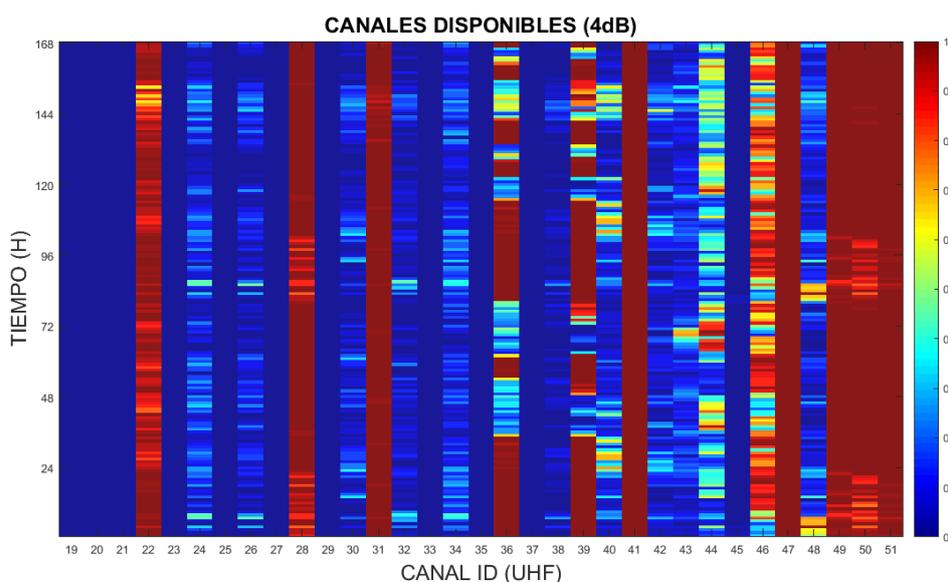


Figura 4.1: Disponibilidad de canales planta baja ($\lambda = 4\text{dB}$).

La figura 4.1 presenta la disponibilidad de canales en la planta baja con un umbral de decisión λ de 4dB sobre el promedio del piso de ruido, donde se observa que los canales 22, 28, 31, 41, 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles por encima del 90% del tiempo de estudio, mientras los canales 36, 39 y 46 presenta intermitencias y se encuentran disponibles el 70% del tiempo, a diferencia del canal 44 que solo se encuentra disponible el 35% del tiempo de estudio.

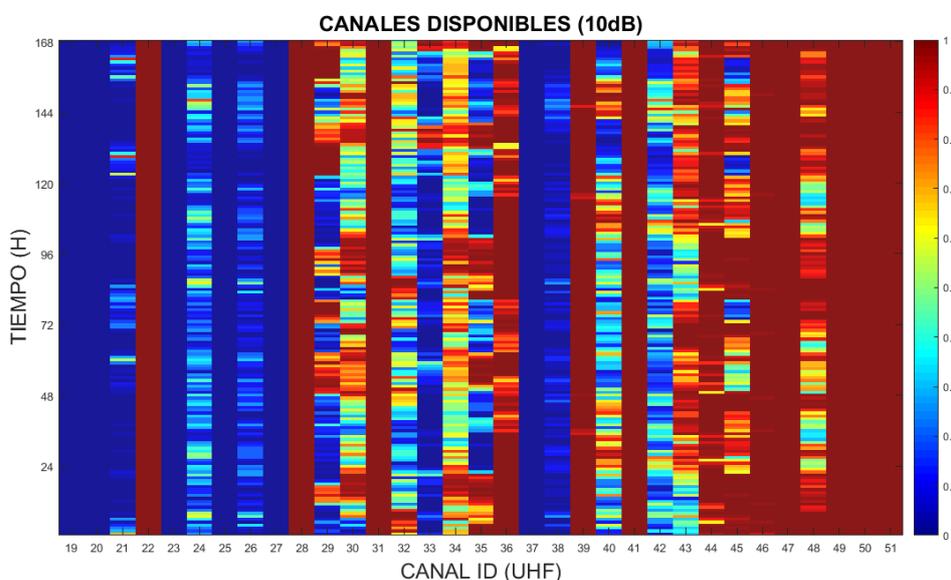


Figura 4.2: Disponibilidad de canales planta baja ($\lambda = 10\text{dB}$).

La figura 4.2, presenta la disponibilidad de canales en la planta baja con un umbral de decisión λ de 10dB sobre el promedio del piso de ruido, donde se observa que los canales 22, 28, 31, 41, 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles el 100% del tiempo de estudio, mientras los canales 36, 39, 44 y 46 cuentan con una disponibilidad del 95% del tiempo, los canales 30, 34, 43, 45 y 48 presentan intermitencias, en promedio se encuentran disponible el 70% del tiempo. Para este piso, se observa que al incrementarse el umbral de decisión, se presenta un incremento en los canales disponibles.

Los canales 23, 25, 27 se encuentran ocupados sin importar el umbral que se utilice para analizar su disponibilidad, con lo cual ratifican su condición de ocupados e indica que el nivel de potencia de la señal medida es superior al

umbral de 10 dB sobre el promedio del piso de ruido, diferente es el caso de los canales 29, 35 y 45, lo cuales se encuentran ocupados cuando el umbral de decisión es de 4dB, pero al incrementarse el umbral a 10dB, no se ratifica el estado de 100% ocupado del canal, obteniendo que los canales 29 y 35 se encuentran disponibles el 40% mientras que el canal 45 llega a estar disponible el 70% del tiempo de estudio.

SEGUNDO PISO.

Las figuras 4.3 y 4.4 (ver Anexo C) presentan la disponibilidad de canales en el segundo piso del edificio en análisis, se puede observar que la cantidad de canales disponible se reduce considerablemente, al comparar los resultados obtenidos en el piso 2 con aquellos obtenidos en la planta baja, sin embargo podemos encontrar disponibles los canales 22, 31, 41, 47, 49, 50 y 51 en un lapso superior al 90% del tiempo de estudio.

TERCER PISO.

Las figuras 4.5 y 4.6 (ver Anexo D) presentan la disponibilidad de canales en el tercer piso del edificio, se puede observar que los canales que siempre se encuentran disponibles son el 22, 31, 41 y 47. A partir del cuarto día de estudio se observó intermitencias en los canales 28, 32, 34, 36, 42, 44, 46 y 48 estos canales se encontraban normalmente ocupados los tres primeros días, durante el tiempo de estudio, esta variación da como resultado el incremento de canales disponibles en el tercer piso.

4.2 Análisis de sensibilidad de disponibilidad.

Acorde a la metodología se realizó el procesamiento de los datos obtenidos en las mediciones y se ha determinado la disponibilidad de canales por piso (planta baja, piso 2 y piso 3), a continuación se muestra gráficamente el comportamiento de la disponibilidad de los canales por piso durante el tiempo que duró el estudio.

PLANTA BAJA.

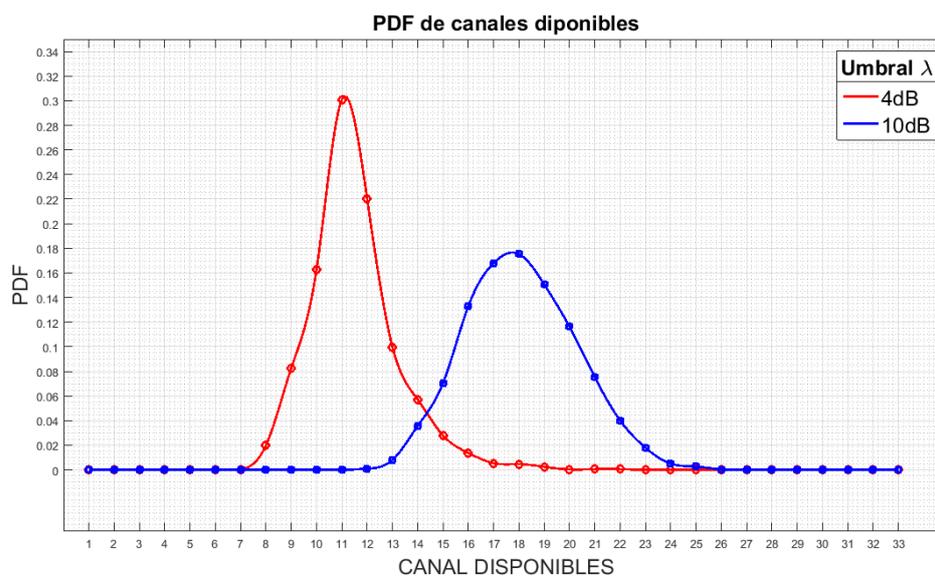


Figura 4.7: PDF de sensibilidad de canales disponibles planta baja.

La figura 4.7 muestra el resultado del análisis de la sensibilidad de disponibilidad de canales en los dos umbrales de decisión (λ) utilizados para determinar la disponibilidad. Acorde a la gráfica en la planta baja encontramos 11 canales disponible un 30% del tiempo durante la semana que duraron las mediciones cuando el umbral de decisión es 4dB (línea de color rojo), el número de canales disponibles se incrementa hasta 17 o 18 cuando se analiza el umbral de 10dB, pero el porcentaje de tiempo disponible es solo del 17% (línea de color azul). Si realizamos el análisis desde la perspectiva de la función de distribución acumulada (CDF) de la sensibilidad, es evidente notar la importancia del valor del umbral de análisis en la variabilidad del número de canales disponibles, como se muestra en la figura 4.8. En esta figura, cuando λ es 10dB, habrá hasta 19 canales disponibles con probabilidad 0.8 (línea de color azul), ahora si λ es 4dB sólo habrá hasta 12 canales disponibles (línea de color rojo), si el nivel del

umbral de análisis disminuye, el número de canales disponibles también disminuyen.

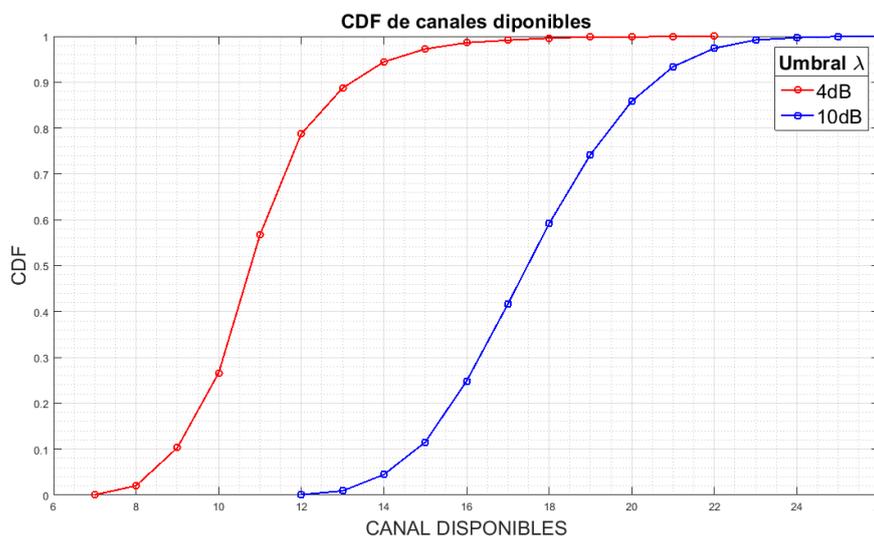


Figura 4.8: CDF de sensibilidad de canales disponible planta baja.

SEGUNDO PISO.

La figura 4.9 (ver Anexo E) muestra el resultado de la sensibilidad de canales disponibles para el segundo piso del edificio, en este piso encontramos 8 canales disponibles cuando λ es 10dB (línea de color azul) y 7 canales disponibles cuando el umbral de decisión es 4dB (línea de color rojo), en ambos caso el número de canales permanecen disponibles el 35% del tiempo de análisis. Al analizar el CDF de la sensibilidad para este piso se obtiene que 10 canales están disponibles con probabilidad de 0.8 para cuando $\lambda=10$ dB e igual probabilidad, solo encontramos 8 canales para cuando el umbral es de 4dB, esto lo podemos observar el figura 4.10 (ver Anexo E).

TERCER PISO.

La figura 4.11 (ver Anexo F) muestra el análisis de sensibilidad de disponibilidad del tercer piso, el resultado presentó una distribución bimodal,

este comportamiento se debió a intermitencias detectadas en los días 4, 5 y 6 de la semana de estudio. Acorde a la gráfica en tercer piso encontramos 7 canales disponibles un 30% del tiempo y 14 canales disponibles un 10% del tiempo de estudio, cuando el umbral de decisión es 4dB, el número de canales disponibles se incrementa hasta 9 cuando se analiza el umbral de 10dB, pero el porcentaje de tiempo disponible cae al 14%. De la gráfica de CDF obtenemos como resultado que hasta 13 canales se encuentran disponible con una probabilidad de 0.8 para $\lambda = 4\text{dB}$, además se encuentran hasta 18 canales con un $\lambda = 10\text{dB}$ con la misma probabilidad.

4.3 Análisis de la Capacidad.

La ecuación (3.4) presentada en el capítulo 3, se utilizó para determinar la capacidad total de canales disponibles a un valor específico de λ , calculando la capacidad total disponible con los valores de S y N en vatios.

PLANTA BAJA.

En la figura 4.13, se muestra el CDF de la capacidad del canal para la planta baja, en donde se observa que para un umbral λ de 4 dB, solo se pueden obtener velocidades de 50Mbps con una probabilidad del 0.8, pero con un valor λ de 10dB la velocidad se incrementa hasta 175Mbps con un valor de 0.8 de probabilidad.

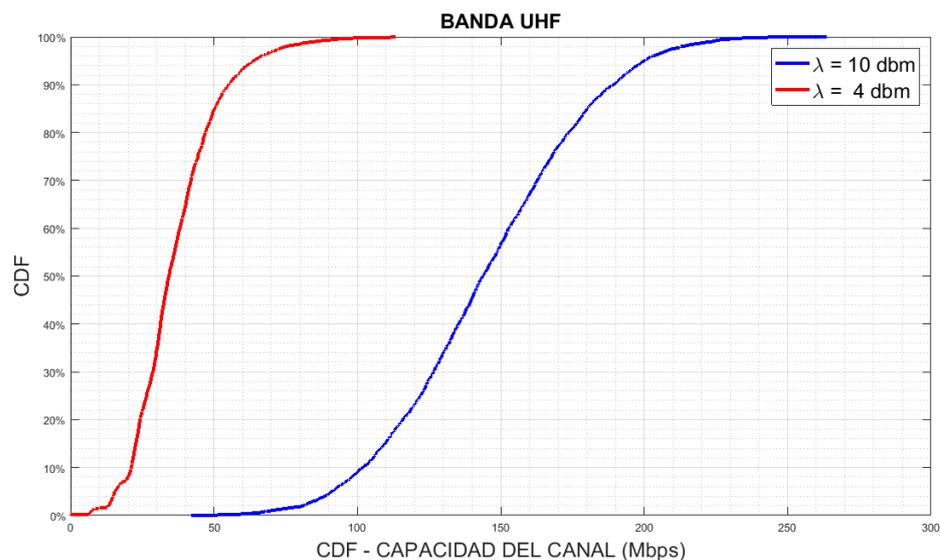


Figura 4.13: CDF de la capacidad de transmisión de la planta baja.

SEGUNDO PISO.

Para el segundo piso, la figura 4.14 (ver Anexo G) muestra que la capacidad de transmisión es baja, si se compara con la obtenida en la planta baja, tanto para el umbral de 4dB como para el de 10dB, la capacidad máxima es de 50Mbps con una probabilidad de 0.8 para $\lambda = 10$ dB.

TERCER PISO.

La figura 4.15 (ver Anexo G) muestra que para el tercer piso la capacidad de transmisión llega a velocidades de 150Mbps para el umbral λ de 10 dB y para el umbral λ de 4 dB la capacidad es de 70Mbps.

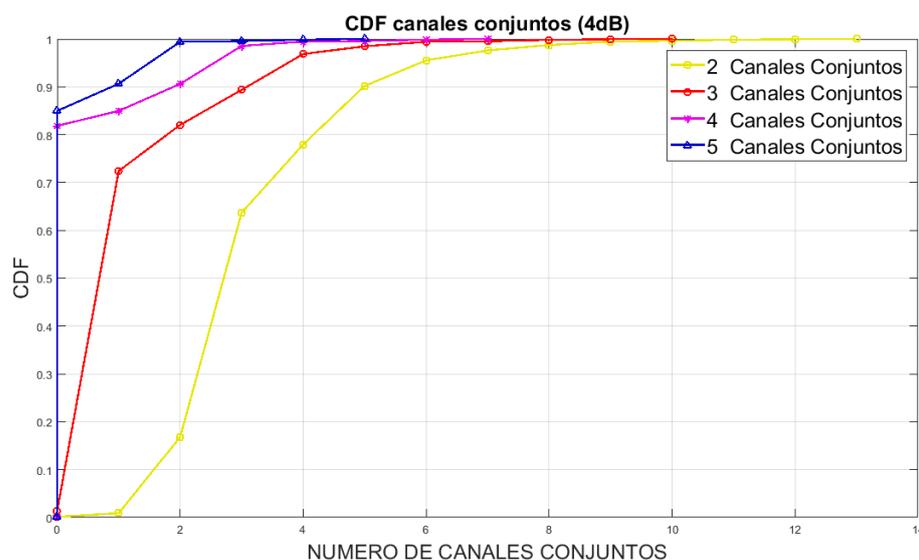
4.4 Canales conjuntos.

Los resultados presentados en la sección anterior muestran la disponibilidad de canales individuales, en cuyo espacio pueden ser implementados sistema con

tecnología de espectro ensanchado (SS – Spread Spectrum). En esta sección se determina la disponibilidad de canales adyacentes que pueden soportar portadoras de sistemas inalámbricos existentes, que requieran de un ancho de banda superior a los 6MHz, ancho de banda típico de los canales de la banda UHF TV.

PLANTA BAJA.

La figura 4.16 muestra la sensibilidad de canales adyacentes para un λ igual a 4dB en la planta baja de edificio, en dicha gráfica muestra que existen 4 canales conjuntos formados por 2 canales individuales con una probabilidad de 0.8 (línea amarilla) que representan 12MHz de ancho de banda disponibles para transmisión, también se muestra 1 canal conjunto formado por 3 canales individuales, generando 18Mhz de ancho de banda, con un probabilidad del 0.75.



La figura 4.16: CDF sensibilidad de canales conjuntos 4dB planta baja.

En la figura 4.17, se muestra la sensibilidad de canales adyacentes para un λ igual a 10dB en la planta baja del edificio, la gráfica muestra que existen 3 diferentes canales conjuntos formados por 6 canales individuales (18MHz) con una probabilidad máxima de 0.56, también se muestra 4 diferentes canales

conjuntos de 24 MHz con una probabilidad de 0.56, también se encontraron 9 canales conjuntos de 12 MHz con una probabilidad de 0.75.

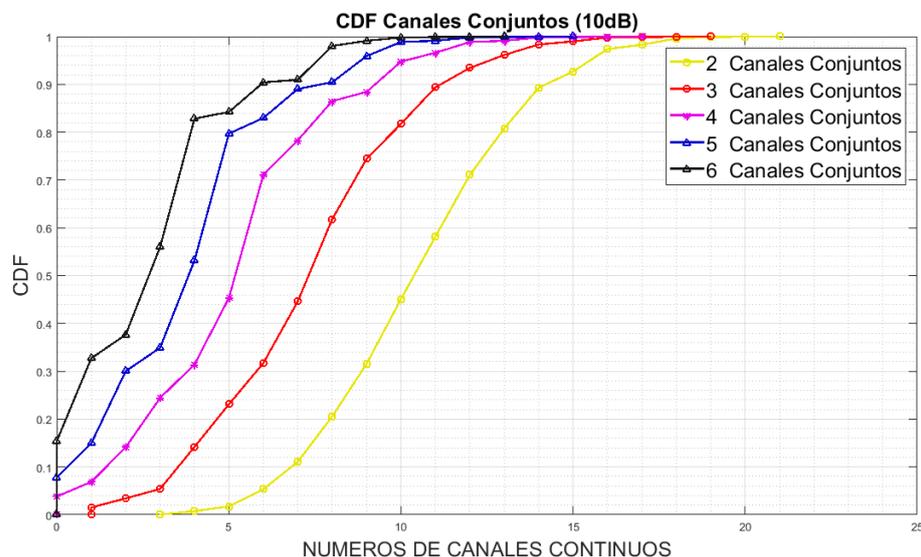


Figura 4.17: CDF sensibilidad de canales conjuntos 10dB planta baja.

SEGUNDO PISO.

En el segundo piso podemos encontrar 2 canales conjunto con un ancho de banda de 12 MHz (2 canales individuales) con una probabilidad de 0.9 para λ de 4dB, figura 4.18 (ver Anexo H). Para cuando λ es 10 dB se puede encontrar 1 canal conjunto con un ancho de banda de 18MHz (3 canales individuales) con probabilidad 0.88 y también existen 3 canales conjuntos con un ancho de banda de 12MHz con una probabilidad de 0.85 de probabilidad, esto se puede observar en la figura 4.19 (ver Anexo H).

TERCER PISO.

Para λ igual a 4dB con una probabilidad 0.9, obtenemos: 1 canal conjunto de 30MHz, existen 2 canales conjuntos de 24MHz, 3 canales conjuntos de 18MHz y 5 canales conjuntos de 12MHz, como se muestra en la figura 4.20 (ver Anexo I).

Haciendo el mismo análisis, realizado para λ igual a 4dB, con un λ igual a 10dB y con 0.9 de probabilidad encontramos: 1 canal de 36MHz, 3 canales de 30MHz, 5 canales de 24MHz, 7 canales de 18MHz y 11 canales de 12MHz, como se muestra en la figura 4.21 (ver Anexo I).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la disponibilidad de canales se incrementa cuanto más cerca del suelo se encuentre el punto de medición, resultado esperado, ya que los pisos más bajos tienen sobre ellos una mayor cantidad de estructura del edificio, lo cual provoca mayores pérdidas sobre la señales recibidas, generando una mayor cantidad de espacios blanco en la banda de estudio, por cual centraremos nuestros conclusiones en este piso.

En la planta baja se encontró en promedio 11 canales disponibles durante el 30% del tiempo de estudio, mientras en el segundo y tercer piso encontramos 7 canales disponibles, con una diferencia en el tiempo que dichos canales se encuentran disponibles, 35% del tiempo para el segundo piso y 27% para el tercer piso, cuando se realiza el análisis con un umbral λ igual a 4dB.

Acorde a los resultados obtenidos, la sensibilidad de la disponibilidad es directamente proporcional al umbral de decisión λ , utilizado para determinar la

disponibilidad, si el valor del umbral λ se incrementa, la cantidad de canales disponibles también se incrementará.

En la planta baja encontramos 18 canales disponibles cuando el umbral de decisión es 10dB y como mencionamos antes solo encontramos 11 canales disponibles cuando λ es igual a 4dB, igual comportamiento se observa en los tres pisos analizados.

Los canales 22, 31, 41 y 47 se encuentran disponibles en todos los pisos durante más del 95% tiempo de medición, por lo cual podemos concluir que estos canales están disponibles de manera constante y pueden ser usados para implementar sistemas con tecnología OSA.

En las gráficas de capacidad de transmisión, se muestra una relación directamente proporcional entre la capacidad de transmisión y el umbral de decisión λ , cuando el umbral λ es igual a 10dB se obtiene una mayor capacidad de transmisión en los pisos donde se realizaron las mediciones.

La capacidad obtenida en la planta baja es de 175Mbps para $\lambda = 10\text{dB}$ y solo 50Mbps para $\lambda = 4\text{dB}$, con una probabilidad de 0.8.

En la planta baja se encontró 1 canal conjunto de 18MHz de ancho de banda durante el 70% del tiempo para $\lambda=4\text{dB}$, mientras que para $\lambda=10\text{dB}$ se encontraron 4 canales conjuntos con ancho de banda de 36MHz durante el 25% del tiempo de estudio.

Para evitar interferencias se recomienda conectar el RTL-SDR al computador a través de un extensor USB, con una longitud del cable no mayor a 1 metro.

Para evitar errores en la medición por sobre calentamiento de los equipos, se recomienda colocar sistemas de ventilación, que mantengan a los equipos con una temperatura adecuada para su funcionamiento.

Se recomienda filtrar aquellos datos aberrantes que se encuentren en la medición antes de realizar el análisis de los datos.

Se recomienda hacer las mediciones de todos los pisos a analizar durante la misma semana, para que los resultados muestren la sensibilidad de la disponibilidad durante el mismo periodo de tiempo.

Se recomienda utilizar Matlab para el procesamiento de los datos, ya que cuenta con una gran variedad de herramientas que facilitan el procesamiento y presentación de la información.

BIBLIOGRAFÍA.

[1] ITU: Foro Regional sobre Optimización y uso eficiente del espectro Radioeléctrico/ México, 13 julio 2015.

[2] Cortés Carlos, Castañeda Juan Diego y Bertoni Eduardo. "El Internet de las cosas: Más internet que otra cosa" [online]. Disponible en: www.palermo.edu/cele/pdf/Paper-IoT-DEF-Final.doc

[3] J. Xue, Z. Feng, K. Chen. Beijing Spectrum Survey for Cognitive Radio Applications.

[4] Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la información. Televisión Digital Terrestre en el Ecuador. [Online]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/television-digital-terrestre/>

- [5] K. Ren and Q. Wang, "Opportunistic spectrum access: from stochastic channels to non-stochastic channels," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 20, no. 3, pp. 128-135, June 2013.
- [6] Ospina, Daniel & F Ocampo, Andrés & Hincapié, Roberto. (2017). Aplicación de esquemas de Acceso Oportunista al Espectro en ambientes inalámbricos heterogéneos, *Revista en Telecomunicaciones e Informática*, vol.1, pp. 49-71, enero-junio 2011.
- [7] J. Walko, "Cognitive radio," in *IEE Review*, vol. 51, no. 5, pp. 34-37, May 2005.
- [8] Ekram Hossain, Dusit Niyato, Zhu Han, "Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks", 2009
- [9] Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la información. Televisión Digital Terrestre en el Ecuador. [Online]. Disponible en: <https://tdtecuador.mintel.gob.ec/que-es-la-tdt/>
- [10]. ARCOTEL, (2015). "Norma técnica para el servicio de televisión analógica y plan de distribución de canales" [online]. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>
- [11] 603A Redes de computadora [Online]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/603aredesdecomputadoras/home/3>
- [12] Wikipedia (2017, Agosto 7) NTSC [Online]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/NTSC>
- [13] FCC. (2017, Enero 27) Interferencia de señales de radio, tv y telefónicas [Online]. Disponible en: <https://www.fcc.gov/consumers/guides/interferencia-de-se%C3%B1ales-de-radio-tv-y-telef%C3%B3nicas>
- [14] Recomendación UIT-R SM.334 (1978, Julio 7) Selectividad de los receptores [Online]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.332-4-197807-!!!PDF-E.pdf

- [15] N. E. Wu and H. J. Li, "Performance Analysis of SNR-Based Decode-and-Forward Opportunistic Relaying in the Presence of Cochannel Interference," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 9, pp. 7244-7257, Sept. 2016.
- [16] A. F. Molisch, Z. Hijaz, W. J. Nunan and L. F. Zapanta, "On pathloss models for adjacent-channel interference in cognitive whitespace systems," *2016 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, Kuala Lumpur, 2016, pp. 682-688.
- [17] Guillermo Fuentes (2016, Enero 14) Interferencia de canal vecino [Online]. Disponible en: <http://gufuent.blogspot.com/2016/01/interferencia-de-canal-vecino.html>
- [18] Asma Amraoui, Badr Benmammour "Radio Resource Allocation and Dynamic Spectrum Access", 2012.
- [19] ITU (2013, Julio 19) GSR 2013 paper TV white space: managing spaces or better managing inefficiencies? [Online]. Disponible en: http://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/GSR/Documents/GSR_paper_WhiteSpaces_Gomez.pdf
- [20] Madrid Antenas (2016, Mayo 18) Interferencias 4G/LTE [Online]. Disponible en: <http://www.madrid-antenas.es/blog/2016/05/interferencias-4glte/>
- [21] Anita Garhwal and Partha Pratim Bhattacharya, "A survey on dynamic spectrum access techniques for cognitive radio." In *International Journal of Next-Generation Networks (NGN)* Vol.3, No.4, December 2011
- [22] Yiping Xing, R. Chandramouli, S. Mangold and S. S. N, "Dynamic spectrum access in open spectrum wireless networks," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 24, no. 3, pp. 626-637, March 2006
- [23] A. Achtzehn, L. Simić, M. Petrova and P. Mähönen, "Feasibility of Secondary Networks: Analysis Methodology and Quantitative Study of Cellular and Wi-Fi-Like TVWS Deployments," in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 14, no. 2, pp. 373-386, Feb. 1 2015.

[24] A. Fanan, N. Riley, M. Mehdawi, M. Ammar and M. Zolfaghari, "Comparison of spectrum occupancy measurements using software defined radio RTL-SDR with a conventional spectrum analyzer approach," *2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, Belgrade, 2015, pp. 200-203.

[25] Handbook Spectrum Monitoring, Radiocommunication Bureau, International Telecommunication Union (ITU), 2011.

ANEXOS

Anexo A.

BANDAS DE FRECUENCIA	CANAL	RANGO DE FRECUENCIAS (MHz)	PORTADORA DE VIDEO (MHz)	PORTADORA DE AUDIO (MHz)
UHF IV (500 - 608) MHz	19	500-506	501,25	505,75
	20	506-512	507,25	511,75
	21	512-518	513,25	517,75
	22	518-524	519,25	523,75
	23	524-530	525,25	529,75
	24	530-536	531,25	535,75
	25	536-542	537,25	541,75

	26	542-548	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 (614 - 644) MHz	38	614-620	615,25	619,75
	39	620-626	621,25	625,75
	40	626-632	627,25	631,75
	41	632-638	633,25	637,75
	42	638-644	639,25	643,75
	UHF V (644 - 698) MHz	43	644-650	645,25
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	679,75
49		680-686	681,25	685,75

Tabla 2: Distribución de canales.

Anexo B.

ZONA GEOGRÁFICA	DEFINICIÓN DE LA ZONA	GRUPOS UHF
A	Provincia de Azuay excepto zona norte (cantones de Sigsig Chordeleg, Gualaceo, Paute, Guachapala, El Pan y Sevilla de Oro,	G1,G4
B	Provincias de Bolívar y Chimborazo, excepto cantón Echeandía y zona occidental de la Cordillera Occidental	G1,G4

C	Provincia del Carchi	G1,G4
D	Provincia de Orellana y Sucumbíos	G1,G4
E	Provincia de Esmeraldas, excepto Rosa Zárate y Muisne	G1,G3
G1	Provincia del Guayas, subzona 1: excepto Península de Santa Elena, Gral. Villamil, El Empalme, Palestina y Balao, se incluye La Troncal, Suscal y zona occidental de la Cordillera Occidental de provincias de Cañar y Azuay	G2,G4
G2	Provincia del Guayas, subzona 2: Península de Santa Elena y Gral. Villamil	G1,G3
J	Provincia de Imbabura	G2,G3
L1	Provincia de Loja, excepto cantones de Loja, Catamayo, Saraguro, Amaluza y zona occidental de la Cordillera Occidental	G2,G3
L2	Provincia de Loja: cantones Loja, Catamayo y Saraguro	G2,G3
M1	Provincia de Manabí, zona norte (desde Ricaurte al norte), excepto El Carmen y Flavio Alfaro; se incluye Muisne	G2,G4
M1	Provincia de Manabí, zona sur, desde Sn.	G2,G3

 Vicente al sur, excepto Pichincha

N	Provincia de Napo	G2,G4
N	Provincia del Cañar, excepto zona occidental Cordillera Occidental (Suscal, La Troncal) e incluye zona norte provincia de Azuay	G1,G3
O	Provincia de El Oro y zona occidental de la Cordillera Occidental de la Provincia de Loja	G1,G3
P1	Provincia de Pichincha, excepto zona occidental de la Cordillera occidental (Sto. Domingo y Los Bancos, P.V. Maldonado)	G1,G4
P2	Provincia de Pichincha, zona de Sto. Domingo, incluye El Carmen, Rosa Zárate, Flavio Alfaro, P.V. Maldonado y Los Bancos	G1,G3
R1	Provincia de Los Ríos, excepto Quevedo, Buena Fe, Mocache y Valencia e incluye Balzar, Colimes, Palestina y zona occidental Cordillera Occidental	G2,G4
R2	Provincia de Los Ríos, Quevedo Buena Fe, Mocache, Valencia, La Maná, El Corazón y zona occidental de la Cordillera Occidental de la provincia de Cotopaxi	G1,G3
S1	Provincia de Morona Santiago, excepto	G2,G4

cantón Gral. Plaza al sur		
S2	Provincia de Morona Santiago, cantón Gral. Plaza al sur.	G2,G4
T	Provincias de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental	G2,G3
X	Provincia de Pastaza	G1,G3
Y	Provincia de Galápagos	G1,G3
Z	Provincia de Zamora Chinchipe, incluye cantón Amaluza.	G1,G3

Tabla 4: Zonas geográficas y plan de distribución de canales.

Anexo C.

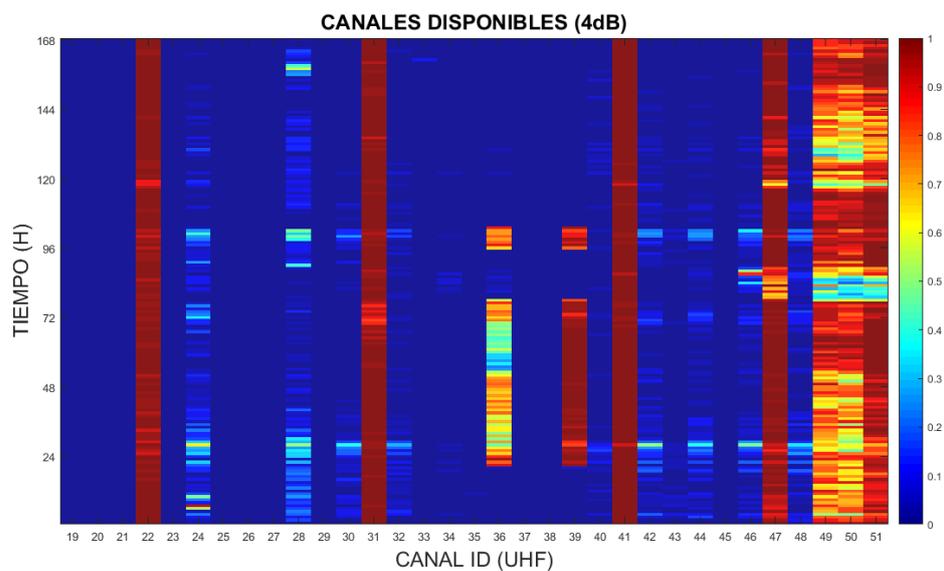


Figura 4.3: Disponibilidad de canales piso 2 ($\lambda = 4\text{dB}$).

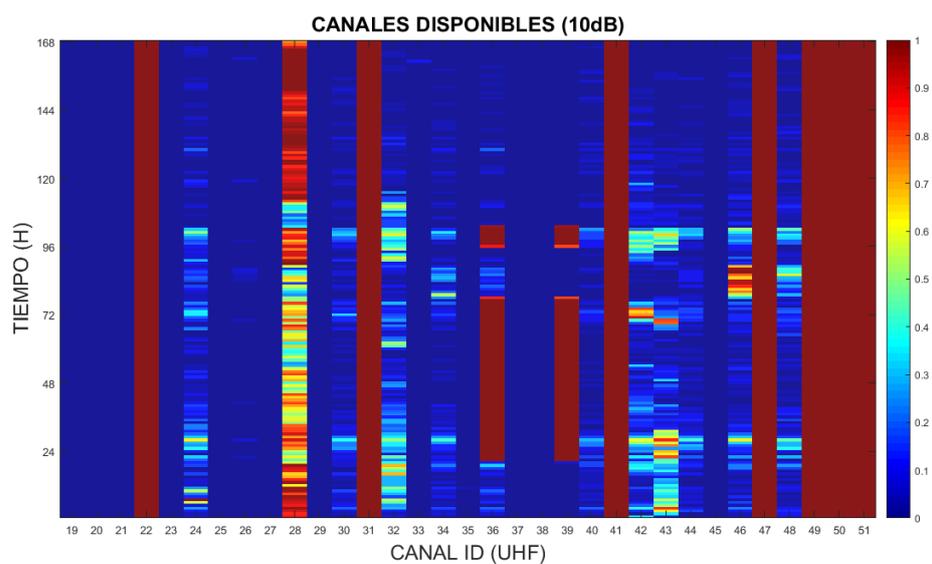


Figura 4.4: Disponibilidad de canales piso 2 ($\lambda = 10\text{dB}$).

Anexo D.

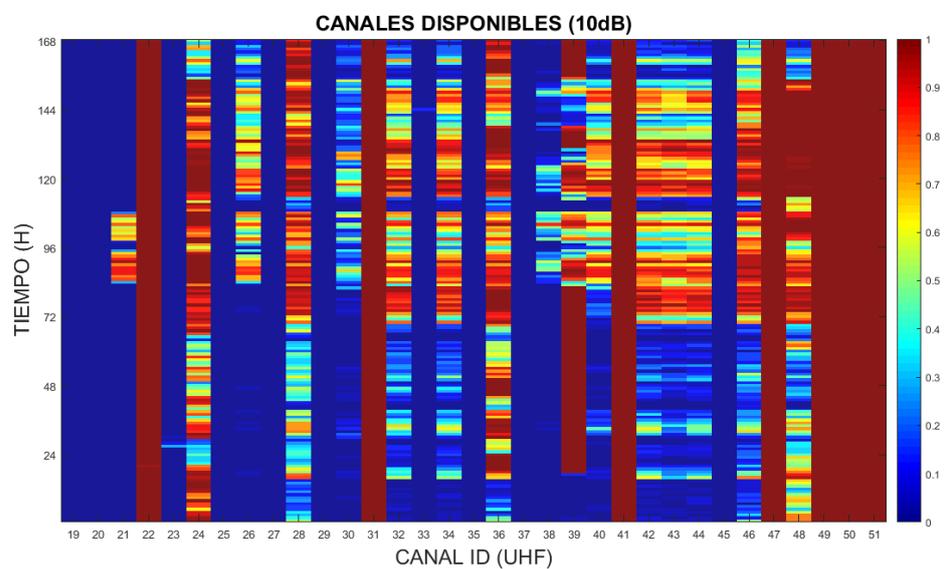


Figura 4.5: Disponibilidad de canales tercer piso ($\lambda = 10\text{dB}$).

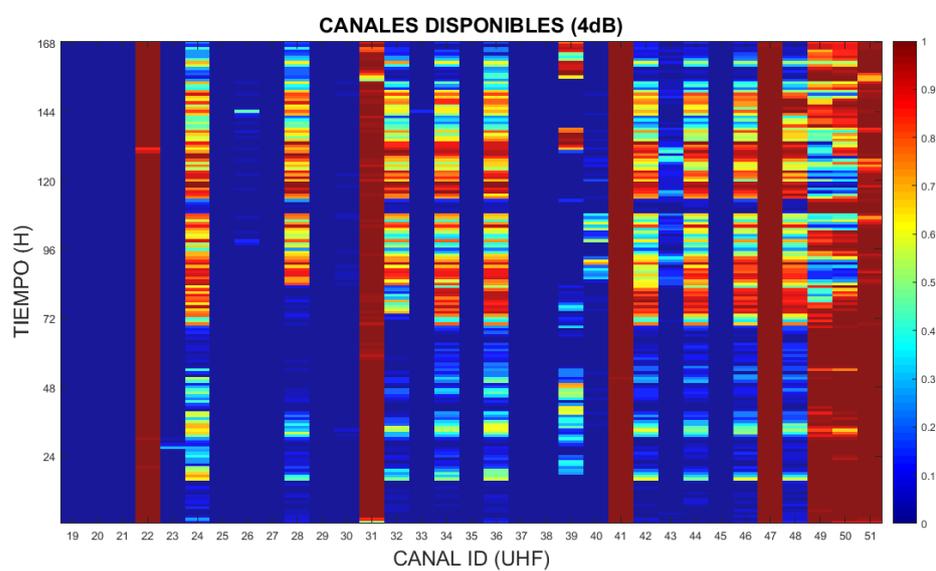


Figura 4.6: Disponibilidad de canales tercer piso ($\lambda = 4\text{dB}$).

Anexo E.

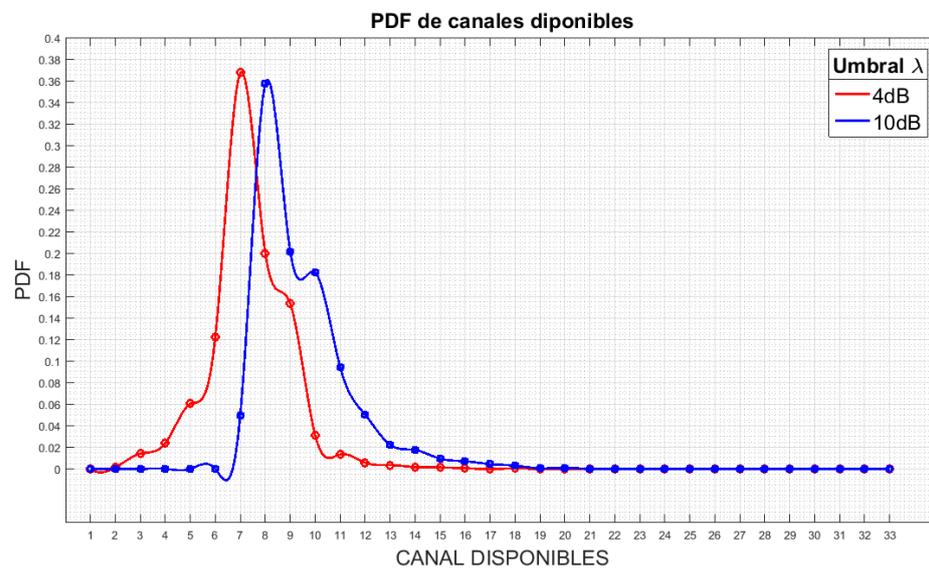


Figura 4.9: PDF de sensibilidad de canales disponibles segundo piso.

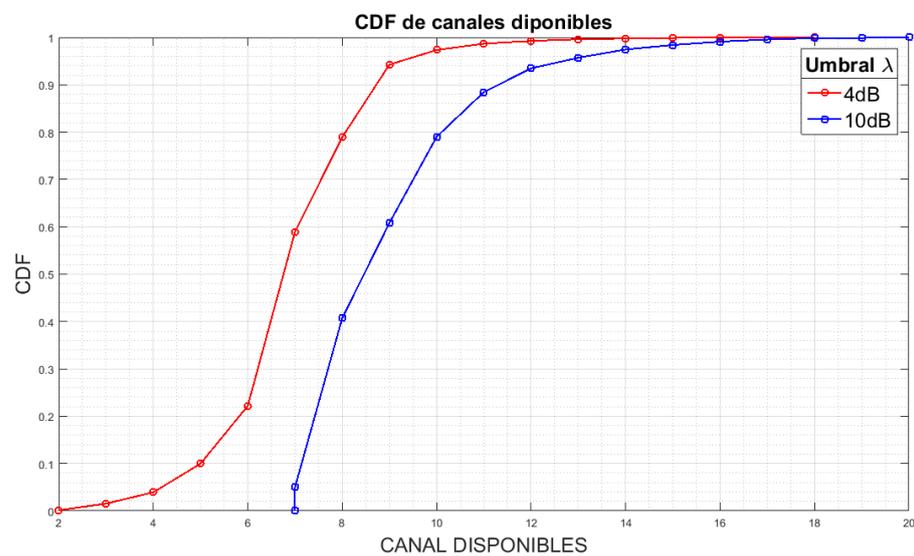


Figura 4.10: CDF de sensibilidad de canales disponibles segundo piso.

Anexo F.

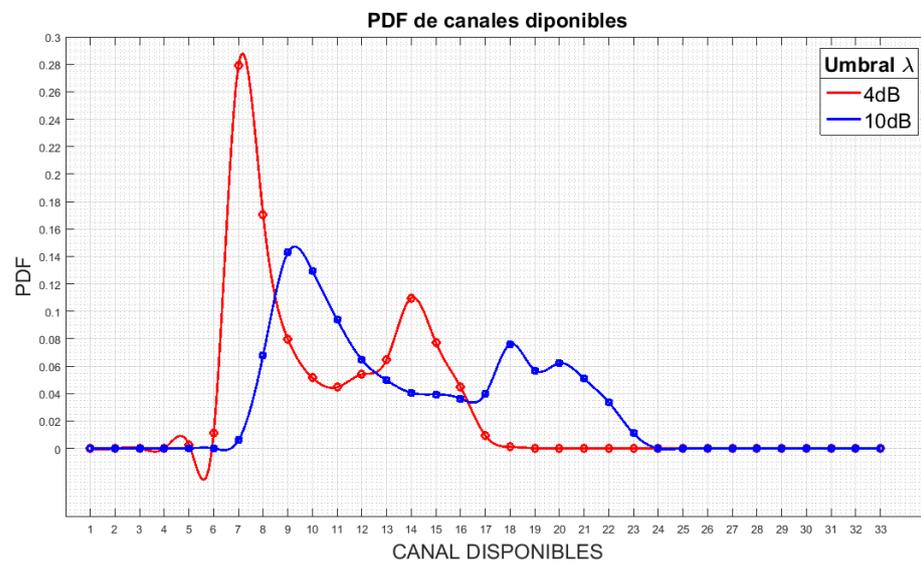


Figura 4.11: PDF de sensibilidad de canales disponibles tercer piso.

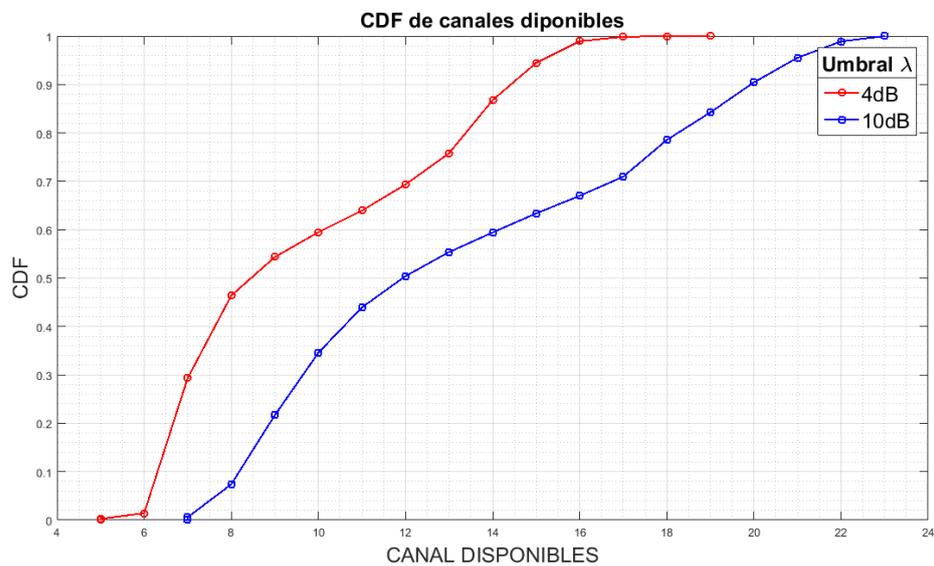


Figura 4.12: CDF de sensibilidad de canales disponibles tercer piso.

Anexo G.

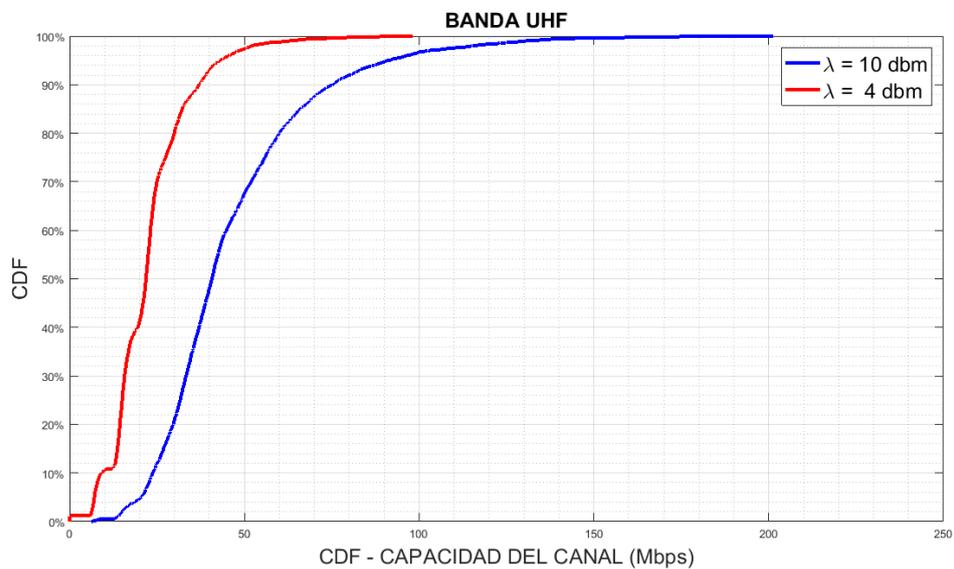


Figura 4.14: CDF de la capacidad de transmisión del segundo piso.

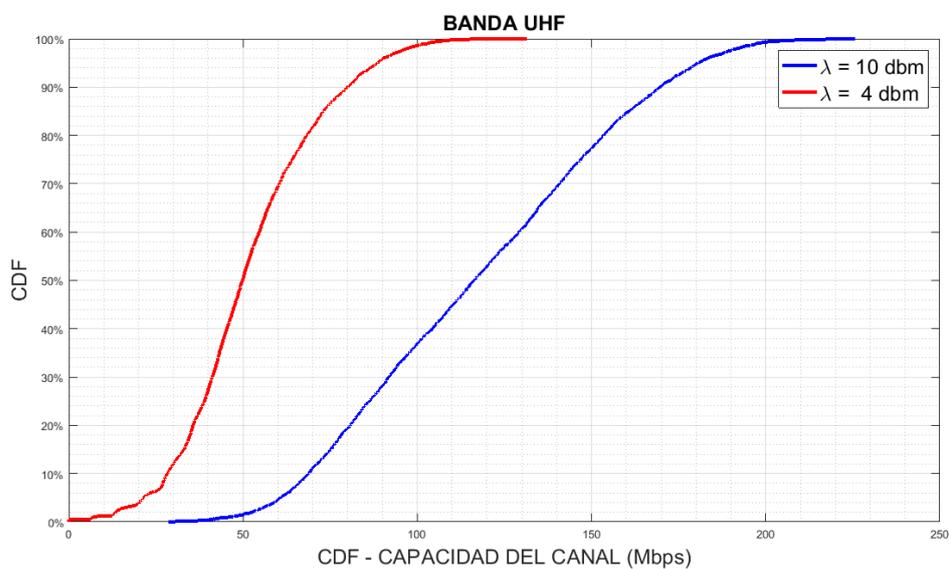


Figura 4.15: CDF de la capacidad de transmisión del tercer piso.

Anexo H.

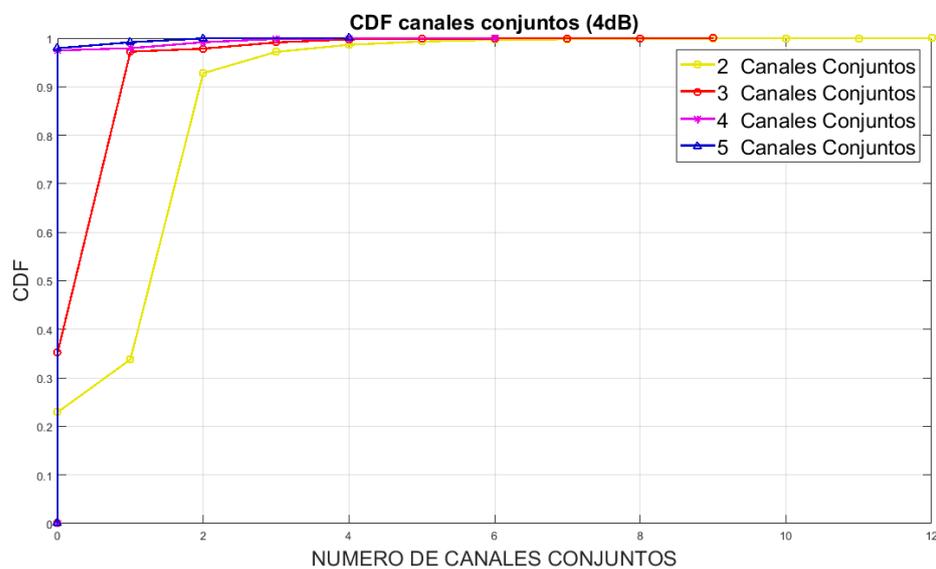


Figura 4.18: CDF sensibilidad de canales conjuntos 4dB segundo piso.

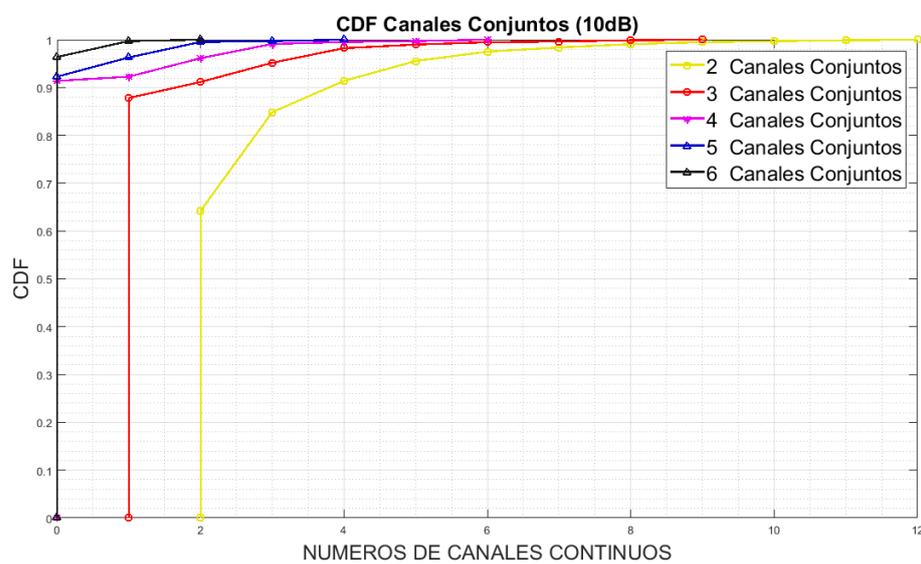


Figura 4.19: CDF sensibilidad de canales conjuntos 10dB segundo piso.

Anexo I.

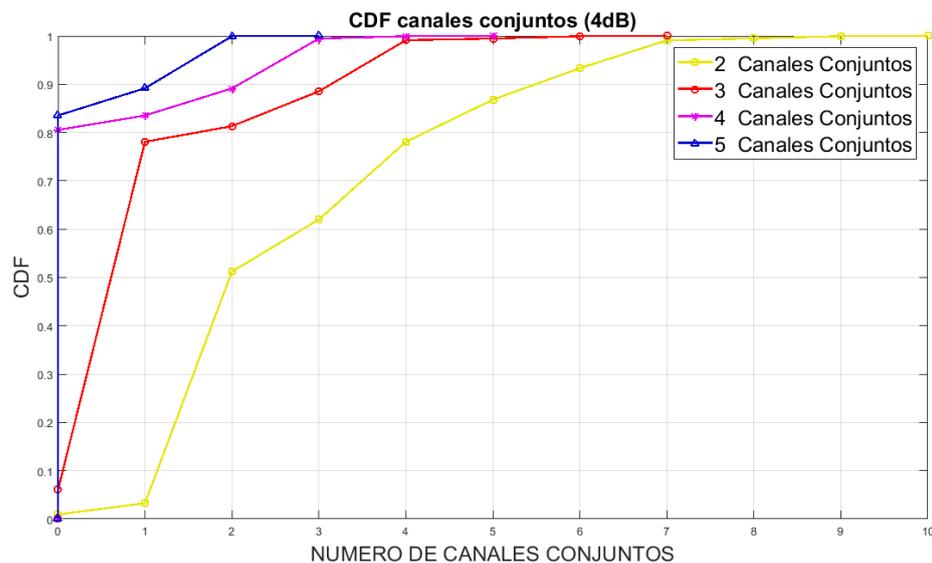


Figura 4.20: CDF sensibilidad de canales conjuntos 4dB tercer piso.

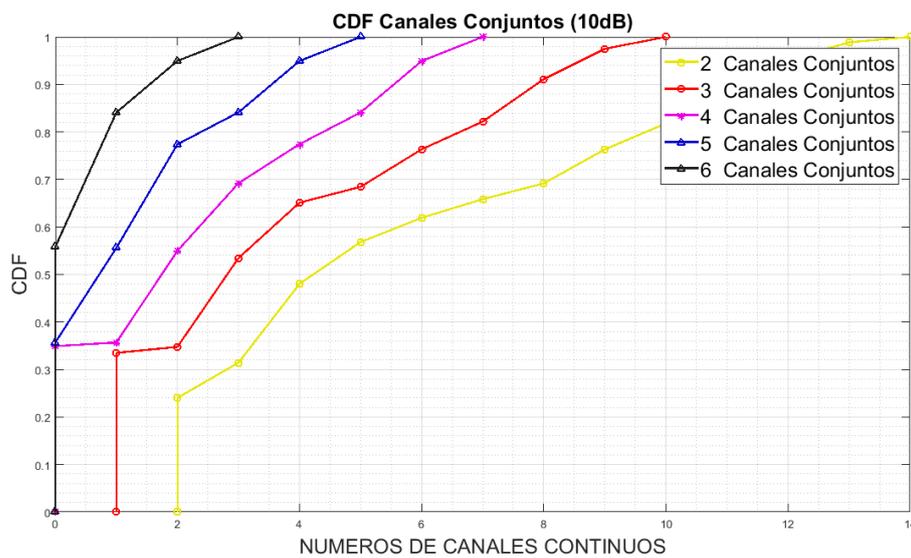


Figura 4.21: CDF sensibilidad de canales conjuntos 10dB tercer piso.

Anexo J.

Código elaborado para procesamiento de la información.

```

%*****
%      Funcion:      prob_canal_libre_xxdb
%      Descripción:  Algoritmo que determina la probabilidad de canales libres.
%*****

function prob_canal_libre_10db

salto = 1;
while salto <= horas_semana
for f=1:1:num_channels
temp=0;
for i=(1+(salto-1)*num_samples):1:num_samples+((salto-1)*num_samples)
temp = temp + mtz_10db(i,f);
if i == num_samples+((salto-1)*num_samples)
prob_ch_ava_10db(salto,f) = temp/num_samples;
end
end
end
salto= salto + 1;
end

end

%*****

%*****
%      Funcion:      cant_canales_disponibles
%      Descripción:  Algoritmo que determina el número de canales
%                   disponible por semana y por día.
%*****

function cant_canales_disponibles

%-----
%canales disponible por semana
%-----

for recorrido=1:1:horas_semana*num_samples

cont=0;
for busqueda=1:1:num_channels
cont=cont+mtz_4db(recorrido,busqueda);
end
cdxsemana_4db(recorrido,1)=cont;

```

```

end
    %-----
%canales disponible por día
    %-----

salto = 1;
samples_x_dia=(24*num_samples);
while salto <= 7
    fila=1;
    for i=(1+(salto-1)*samples_x_dia):1:samples_x_dia+((salto-1)*samples_x_dia)
        cdxdia_4db(fila,salto) = cdxsemana_4db(i,1);
        fila=fila+1;
    end
    salto= salto + 1;
end

end
end
%*****
%*****
%    Funcion:      calculo_PDF
%    Descripción:  Algoritmo para calcular el PDF de canales disponibles.
%*****

function calculo_PDF
    %-----
%PDF canales disponible por semana
    %-----

for recorrido=1:1:num_channels
    cont=0;
    for busqueda=1:1:length(cdxsemana_4db)
        Zr = cdxsemana_4db(busqueda,1);
        if Zr == recorrido
            cont=cont+1;
        end
    end
    pdf_semana_4db(recorrido,1)=cont/length(cdxsemana_4db);
end

end
    %-----
%PDF canales disponible por día.
    %-----

```

```

for i=1:1:7
    for recorrido=1:1:num_channels
        cont=0;
        for busqueda=1:1:length(cdxdia_4db)
            Zr = cdxdia_4db(busqueda,i);
            if Zr == recorrido
                cont=cont+1;
            end
        end
        pdf_dia_4db(recorrido,i)=cont/length(cdxdia_4db);
    end
end

end

% *****
% *****
%      Funcion:      graficar_PDF_ambos_threshold
%      Descripción:  Función que gráfica PDF ambos threshold en un mismo plot.
% *****

function graficar_PDF_ambos_threshold
figure('Name','PDF_semana','NumberTitle','off','Color','white');
xx=1:1:33;
xq1 = 1:1:33;
s = spline(xx,pdf_semana_4db,xq1);
p1=plot(1:1:33,pdf_semana_4db,'or','LineWidth',2);
hold on;
p2=plot(xq1,s,'-r','LineWidth',2);
hold on;

s1 = spline(xx,pdf_semana_10db,xq1);
p3=plot(1:1:33,pdf_semana_10db,'sb','LineWidth',2);
hold on;
p4=plot(xq1,s1,'-b','LineWidth',2);
set(gca,'XTick',1:1:33);
hold off;

title('PDF de canales disponibles')
lgd = legend([p2 p4],'4dB','10dB');

```

```

title(lgd,'Umbral  $\lambda$ ');
legend('show');
ylabel('PDF','FontSize',11);
xlabel('CANAL DISPONIBLES','FontSize',11);
grid on
grid minor
set(gca,'YTick',0:0.02:1);
end

% *****
% *****
%      Funcion:      graficar_CDF_ambos_threshold
%      Descripción:  Función que gráfica CDF ambos threshold en un mismo plot.
% *****

function graficar_CDF_ambos_threshold
    figure('Name','CDF_semana','NumberTitle','off','Color','white');
    [data_cdf,x] = ecdf(cdxsemana_4db);
    plot(x,data_cdf,'-or','LineWidth',1.5);
    hold on;

    [data_cdf,x] = ecdf(cdxsemana_10db);
    plot(x,data_cdf,'-sb','LineWidth',1.5);
    hold on;

    title('CDF de canales disponibles')
    lgd = legend('4dB','10dB');
    title(lgd,'Umbral  $\lambda$ ');
    legend('show');
    ylabel('CDF','FontSize',11);
    xlabel('CANAL DISPONIBLES','FontSize',11);
    grid on
    grid minor
    set(gca,'YTick',0:0.1:1);

end

% *****
% *****
%      Funcion:      encontrar_cocanal_xxdb

```

```

% Descripción: Función determina la cantidad de cocanales existentes.
% Grafica CDF de cocanal.
% Grafica PDF de cocanal.
% *****
function encontrar_cocanal_xxdb
for filas=1:1:5376
cont=0;
for canales = 1:1:num_channels
if mtz_10db(filas,canales)==1
cont=cont+1;
if canales==num_channels
if cont>=2
for paso=2:1:cont
mtz_cocanal_10db(filas,paso)=(mtz_cocanal_10db(filas,paso)+(cont-paso)+1);
end
end
end
else
if cont>=2
for paso=2:1:cont
mtz_cocanal_10db(filas,paso)=(mtz_cocanal_10db(filas,paso)+(cont-paso)+1);
end
end
cont=0;
end
end
end

for i=2:1:10
for recorrido=1:1:num_channels
cont=0;
for busqueda=1:1:length(mtz_cocanal_10db)
Zr = mtz_cocanal_10db(busqueda,i);
if Zr == recorrido
cont=cont+1;
end
end
end

```

```

        pdf_cocanal_10db(recorrido,i)=cont/length(mtz_cocanal_10db);
    end
end

figure('Name','CDF Canales Conjuntos (10dB)','NumberTitle','off','Color','white');
[data_cdf,x]=ecdf(mtz_cocanal_10db(1:length(mtz_cocanal_10db),2));
plot(x,data_cdf,'-s','Color',[0.9 0.9 0],'LineWidth',1.75);
hold on;

[data_cdf,x]=ecdf(mtz_cocanal_10db(1:length(mtz_cocanal_10db),3));
plot(x,data_cdf,'-o','Color',[1 0 0],'LineWidth',1.75);
hold on;

[data_cdf,x]=ecdf(mtz_cocanal_10db(1:length(mtz_cocanal_10db),4));
plot(x,data_cdf,'-*','Color',[.9 0 .9],'LineWidth',1.75);
hold on;

[data_cdf,x]=ecdf(mtz_cocanal_10db(1:length(mtz_cocanal_10db),5));
plot(x,data_cdf,'-^','Color',[0 0 .80],'LineWidth',1.75);
hold on;

[data_cdf,x]=ecdf(mtz_cocanal_10db(1:length(mtz_cocanal_10db),6));
plot(x,data_cdf,'-^','Color',[0.09 0.09 .09],'LineWidth',1.75);
hold on;

title('CDF Canales Conjuntos (10dB)')
legend('threshold = 10 dB');
ylabel('CDF','FontSize',11);
xlabel('NUMEROS DE CANALES CONTINUOS','FontSize',11);
grid on
grid minor
set(gca,'YTick',0:0.1:1);
legend('2 Canales Conjuntos','3 Canales Conjuntos','4 Canales Conjuntos','5 Canales
Conjuntos','6 Canales Conjuntos');

figure('Name','PDF Canales Conjuntos 10dB','NumberTitle','off','Color','white');
plot(1:1:33,pdf_cocanal_10db(1:length(pdf_cocanal_10db),2),'-s','Color',[0.9 0.9
0],'LineWidth',1.75);

```

```

hold on;
plot(1:1:33,pdf_cocanal_10db(1:length(pdf_cocanal_10db),3),'-o','Color',[1 0 0],'LineWidth',1.75);
hold on;
plot(1:1:33,pdf_cocanal_10db(1:length(pdf_cocanal_10db),4),'-*','Color',[9 0 .9],'LineWidth',1.75);
hold on;
plot(1:1:33,pdf_cocanal_10db(1:length(pdf_cocanal_10db),5),'-^','Color',[0 0 .80],'LineWidth',1.75);
hold on;
plot(1:1:33,pdf_cocanal_10db(1:length(pdf_cocanal_10db),6),'-^','Color',[0.09 0.09
.09],'LineWidth',1.75);
hold on;

legend('2 Canales Conjuntos','3 Canales Conjuntos','4 Canales Conjuntos','5 Canales
Conjuntos','6 Canales Conjuntos');
set(gca,'XTick',1:1:33);
title('PDF Canales Conjuntos (10dB)');
ylabel('PDF','FontSize',11);
xlabel('CANAL DISPONIBLES','FontSize',11);
set(gca,'YTick',0:0.1:1);
grid on
grid minor
end
%*****
%*****
%      Funcion:      calcular_capacidad_canal_ambos_threshold
%      Descripción:  Determina el piso de ruido.
%
%                               Genera la matriz de estados.
%                               Calcula capacidad del canal.
%                               Genera CDF de la capacidad del canal.
%*****
function calcular_capacidad_canal_ambos_threshold
diferencia=0;
for filas=1:1:(num_samples*horas_semana)
for columnas=1:1:33
if columnas == 1
canal19=mtz_potencias(filas,1);
canal51=mtz_potencias(filas,33);
PR = (canal19+canal51)/2;
end

```

```

SNR = mtz_potencias(filas,columnas) - PR;
diferencia = SNR;
if diferencia > threshold(1)||mtz_potencias(filas,columnas)<PR
    mtz_stados_10db(filas,columnas)=0;
else
    if (columnas==1)||(columnas==2)||(columnas==37)
        mtz_stados_10db(filas,columnas)=0;
        mtz_capacidad_10db(filas,columnas)=0;
    else
        mtz_stados_10db(filas,columnas)=1;
        mtz_SNR_10db(filas,columnas)=diferencia;
        mtz_capacidad_10db(filas,columnas)=Banda*log2(1+(10^(diferencia/10)));
    end
end
if diferencia > threshold(2)||mtz_potencias(filas,columnas)<PR
    mtz_stados_4db(filas,columnas)=0;
else
    if (columnas==1)||(columnas==2)||(columnas==37)
        mtz_stados_4db(filas,columnas)=0;
        mtz_capacidad_4db(filas,columnas)=0;
    else
        mtz_stados_4db(filas,columnas)=1;
        mtz_SNR_4db(filas,columnas)=diferencia;
        mtz_capacidad_4db(filas,columnas)=Banda*log2(1+(10^(diferencia/10)));
    end
end
diferencia=0;
end
end

    for filas=1:1:(num_samples*horas_semana)
cont_10db=0;
cont_4db=0;
cont_capacidad_4db=0;
cont_capacidad_10db=0;
        for columnas=1:1:num_channels
            cont_10db=cont_10db+mtz_SNR_10db(filas,columnas);

```

```

cont_4db=cont_4db+mtz_SNR_4db(filas,columnas);

cont_capacidad_4db=cont_capacidad_4db+mtz_capacidad_4db(filas,columnas);

cont_capacidad_10db=cont_capacidad_10db+mtz_capacidad_10db(filas,columnas);
end
mtz_promedio_SNR_10db(filas,1)=cont_10db;
mtz_promedio_SNR_4db(filas,1)=cont_4db;
mtz_promedio_capacidad_4db(filas,1)=cont_capacidad_4db;
mtz_promedio_capacidad_10db(filas,1)=cont_capacidad_10db;
end
end
%*****
%*****
% Funcion: graficar_SNR_Capacidad
% Descripción: Graficar CDF de la capacidad de canal
%*****

function graficar_SNR_Capacidad
figure('Name','CDF de SNR de la banda','NumberTitle','off','Color','white');
[data_cdf,x] = ecdf(mtz_promedio_SNR_10db);
plot(x,data_cdf,'-b','LineWidth',3);
hold on;
[data_cdf,x] = ecdf(mtz_promedio_SNR_4db);
plot(x,data_cdf,'-r','LineWidth',3);
hold on;

title('BANDA UHF')
legend('\lambda = 10 dBm','\lambda = 4 dbm');
ylabel('CDF','FontSize',11);
xlabel('PROMEDIO SNR de la BANDA (dBm)','FontSize',11);
grid on
grid minor
set(gca,'YTick',0:0.1:1);
yticklabels({'0%','10%','20%','30%','40%','50%','60%','70%','80%','90%','100%'})

figure('Name','CDF de CAPACIDAD de la banda (Mbs)','NumberTitle','off','Color','white');
[data_cdf,x] = ecdf(mtz_promedio_capacidad_10db);
plot(x,data_cdf,'-b','LineWidth',3);

```

```
hold on;
[data_cdf,x] = ecdf(mtz_promedio_capacidad_4db);
plot(x,data_cdf,'-r','LineWidth',3);
hold on;

title('BANDA UHF')
legend('\lambda = 10 dbm','\lambda = 4 dbm');
ylabel('CDF','FontSize',11);
xlabel('CDF - CAPACIDAD DEL CANAL (Mbps)','FontSize',11);
grid on
grid minor
set(gca,'YTick',0:0.1:1);
yticklabels({'0%','10%','20%','30%','40%','50%','60%','70%','80%','90%','100%'})
end
%*****
```