



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO DE ALGORITMOS PARA MEDICIÓN, ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA OCUPACIÓN ESPECTRAL DE CANALES DE TELEVISIÓN INDIVIDUALES Y EN CONJUNTO EN LA BANDA UHF DENTRO DE UN EDIFICIO EN EL CENTRO DE GUAYAQUIL PARA SU POSIBLE USO EN SISTEMAS DE RADIO COGNITIVA O DISPOSITIVOS BASADOS EN OSA”

### **INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

### **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

CÉSAR ARISTÓTELES AMAT JARAMILLO

JORGE ANTONIO ULLOA VERDEZOTO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestros más sinceros agradecimientos a nuestro Padre Celestial quien nos orienta y nos da la fortaleza espiritual necesaria para seguir hacia adelante día a día, a nuestros padres quienes siempre estuvieron apoyándonos desde el primer instante de nuestras vidas y nos han dado las pautas necesarias para enfrentar las dificultades de la etapa universitaria. Al Ingeniero José Inca y su secretaria, la Srta. Génesis Ruiz por permitir tomar sus instalaciones para la presente investigación, dando así los resultados esperados. A cada uno de los docentes de ESPOL que nos han impartido sus conocimientos, los cuales fueron necesarios para la realización de esta obra escrita. A nuestros amigos con quienes compartimos muchos momentos que alegraron y enriquecieron nuestra vida universitaria.

## DEDICATORIA

Este trabajo final quiero dedicarlo en primer lugar a Dios por ser el principal motor de mi vida y posterior a Él, dedicarlo a mi padre Jorge quien lastimosamente falleció mientras desarrollaba este proyecto y fue siempre mi mayor ejemplo a seguir.

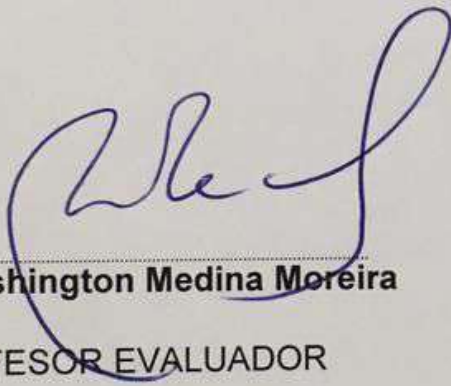
También quiero dedicarles este proyecto a mi madre Shanette de quien siempre obtengo esa disciplina y apoyo para seguir adelante y a todas las personas que de alguna u otra forma aportaron para mi formación íntegra, social y profesional durante mi carrera universitaria.

**Jorge Antonio Ulloa Verdezoto**

El presente proyecto investigativo quiero dedicarle en primer lugar a Dios por ser la razón principal de tenerme sano y con vida para poder seguir alcanzando cada una de mis metas propuestas, también una dedicatoria especial al cielo donde se encuentra mi padre César Eloy, que lastimosamente no pudo ser partícipe de toda mi etapa universitaria, pero sus valores y principios inculcados en mi desde muy pequeño han servido como enseñanza para enfrentar la vida cada día. A mi madre Teresa por dar todo de ella y ser una madre incansable para ver a su hijo cumplir sus metas, dándome siempre ánimos y ese impulso por seguir adelante día a día, a mis hermanos por siempre estar dispuestos a enseñarme y a guiarme en el duro camino de la vida, tanto personal como educativa, también a mi querida ESPOL, directivos, docentes y amigos, quienes me han transmitido sus conocimientos a través de estos 5 años, para ser un profesional capaz y brindar excelente aporte a la sociedad para progresar.

**César Aristóteles Amat Jaramillo**

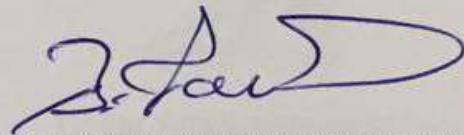
## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Handwritten signature in blue ink, consisting of stylized cursive letters.

**MSc. Washington Medina Moreira**

PROFESOR EVALUADOR



Handwritten signature in blue ink, consisting of stylized cursive letters.

**Ph.D. Boris Ramos Sánchez**

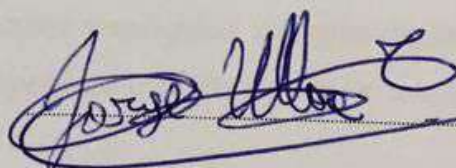
PROFESOR EVALUADOR

## 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"



César Aristóteles Amat Jaramillo



Jorge Antonio Ulloa Verdezoto

## RESUMEN

La proliferación numerosa de sistemas inalámbricos en el mundo actual, y los métodos de asignación estática de las bandas espectrales llevadas a cabo por las entidades gubernamentales de cada país [1], han sido las principales causas de la saturación del espectro, provocando en sí, una gran problemática, a la que se la conoce como escasez del espectro radioeléctrico. Varios estudios que se han enfocado en la medición y análisis de la ocupación espectral llegaron a demostrar que existen tiempos y frecuencias de las bandas espectrales, en donde usuarios licenciados o usuarios primarios no utilizan dichas frecuencias en su totalidad, induciendo a un uso ineficiente de dicho espectro.

En el presente proyecto, se estudió y se analizó la ocupación espectral y el comportamiento en función del tiempo de la banda de televisión UHF, en tres pisos de un edificio ubicado en una zona urbanamente densa, con gran afluencia de buses, autos, personas, líneas eléctricas y señales transitorias. Se midieron los niveles de potencia de recepción durante una semana por piso, de cada canal de televisión abierta en Guayaquil, desde la frecuencia 512 MHz hasta 698 MHz, siendo sensados 31 canales (21-51), donde un canal (37) es dedicado para fines astronómicos. En toda la banda UHF-TV se comprobó que existen canales analógicos, canales digitales y canales en donde todavía no se le ha asignado operador que transmita señales de televisión.

El estudio se ha dividido en dos enfoques: Encontrar disponibilidad de canales individuales y encontrar disponibilidad de canales conjuntos o continuos. Para encontrar dicha disponibilidad se fijó dos umbrales de referencia que son: el valor del piso de ruido de un canal que no transmita, más 4 dB, y el valor del piso de ruido, más 10 dB. El criterio de decisión para determinar si el canal está o no está disponible fue colocar un 1 si el nivel de potencia del canal está por debajo de los umbrales, que significa que está disponible, o poner un 0 si el nivel de potencia está por encima de los umbrales, que quiere decir que dicho canal está ocupado. Al final estos valores serán procesados para obtener los gráficos de disponibilidad de canales individuales y conjuntas de dicha banda.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN .....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
CAPÍTULO 1 .....	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Descripción del problema .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivos específicos .....	3
1.4 Justificación .....	4
1.5 Metodología .....	5
1.6 Alcance .....	7
CAPÍTULO 2 .....	8
2. ESTADO DEL ARTE .....	8
2.1 Estudios realizados con respecto a Sistemas OSA .....	8
2.2 Espectro Radioeléctrico .....	9
2.3 Acceso dinámico al espectro (DSA) .....	10
2.3.1 Definición de DSA .....	10
2.3.2 Objetivos de DSA .....	10
2.3.3 Sistemas de DSA .....	11

2.3.4	Modelo jerárquico .....	12
2.3.5	Usuarios primarios y secundarios.....	15
2.4	Acceso Oportunista al Espectro (OSA) .....	16
2.4.1	Definición de OSA .....	16
2.5	Espacios en blanco en TV (WS).....	16
2.6	Estándares de televisión en el Ecuador .....	17
2.7	Televisión analógica en el Ecuador .....	17
2.8	Televisión digital Terrestre en el Ecuador .....	18
2.9	Distribución del espectro radioeléctrico para la televisión en el Ecuador .....	19
CAPÍTULO 3.....		21
3.	METODOLOGÍA.....	21
3.1.	Descripción General .....	22
3.2	Modelamiento Estadístico.....	25
3.2.1.	Disponibilidad de Canales Individuales .....	29
3.2.2.	Disponibilidad de Canales Totales .....	29
3.2.3.	Disponibilidad de Canales Conjuntos .....	30
CAPÍTULO 4.....		32
4.	RESULTADOS .....	32
4.1.	Descripción del Escenario de Estudio .....	32
4.2	Gráficos de Disponibilidad de Canales Individuales .....	36
4.3	Gráficos de Disponibilidad de Canales Totales .....	40
4.4	Gráficos de Disponibilidad de Canales Conjuntos.....	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		50
BIBLIOGRAFÍA.....		53



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Distribución de la banda de televisión en el Ecuador.....	19
Tabla 2 Pisos del Ruido y Valores Umbrales (4dB./10dB.).....	26
Tabla 3 Anchos de Banda y Tecnologías que pueden ser usadas en los Canales Conjuntos Disponibles .....	30
Tabla 4 Valores de Potencia Máximos y Mínimos por Piso .....	35
Tabla 5 Relación de Disponibilidad Máxima entre Canales Disponibles por Piso respecto al Total de Canales Asignados en UHF-TV.....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Asignación dinámica del espectro [8].....	10
Figura 2.2 Tipos de DSA [15].....	11
Figura 2.3 Asignación dinámica del espectro .....	13
Figura 2.4 Asignación dinámica del espectro .....	14
Figura 3.1 Conexión para la toma de datos en banda UHF-TV .....	22
Figura 3.2 Configuración de la Recolección de Datos del RTL-SDR al software .....	24
Figura 3.3 Obtención de los Valores Únicos por Canal (Analogico o Digital)	25
Figura 3.4 Algoritmo para Determinación de la Disponibilidad de Canal .....	27
Figura 3.5 Algoritmo de Tratamiento de Datos para posterior hallazgo de Probabilidad Individual (pdf) y Probabilidad Acumulada (cdf) .....	28
Figura 3.6 Matriz de Unos y Ceros con sus respectivas disponibilidades de Canales Individuales y Canales Conjuntos.....	29
Figura 4.1 Edificio “José Inca”.....	32
Figura 4.2 Ubicación del Edificio “Marketing y Proyectos José Inca” .....	33
Figura 4.3 Distancia entre el Cerro Azul y el Edificio “José Inca”.....	34
Figura 4.4 Distancia entre el Cerro del Carmen y el Edificio “José Inca” .....	35
Figura 4.5 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 1 (NF + 4dB.) ...	36
Figura 4.6 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 1 (NF + 10dB.) .	37
Figura 4.7 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 2 (NF + 4dB.) ...	38
Figura 4.8 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 2 (NF + 10dB.) .	38
Figura 4.9 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 3 (NF + 4dB.) ...	39

Figura 4.10 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 3 (NF + 10dB.)	39
Figura 4.11 PDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 1 .....	40
Figura 4.12 CDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 1 .....	41
Figura 4.13 PDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 2 .....	41
Figura 4.14 CDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 2 .....	42
Figura 4.15 PDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 3 .....	42
Figura 4.16 CDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 3 .....	43
Figura 4.17 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos (NF + 4dB.) ....	45
Figura 4.18 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos (NF + 10dB.) ..	46
Figura 4.19 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 1 (NF + 4dB.) .....	46
Figura 4.20 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 1 (NF + 10dB.) .....	47
Figura 4.21 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 2 (NF + 4dB.) .....	47
Figura 4.22 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 2 (NF + 10dB.) .....	48
Figura 4.23 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 3 (NF + 4dB.) .....	48
Figura 4.24 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 3 (NF + 10dB.) .....	49

# CAPÍTULO 1

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

### 1.1 Antecedentes.

Los avances tecnológicos en el mundo de las telecomunicaciones, en las últimas décadas, han crecido de forma exponencial, que, a tal punto, han dado origen a nuevos sistemas de comunicaciones más avanzados y rápidos. Un ejemplo muy significativo es la telefonía móvil, la cual es la tecnología que ha presentado mayor evolución en los últimos años [2] .

Sin duda alguna, la introducción de celulares inteligentes en el mundo actual ha brindado un sin número de beneficios y facilidades, y sin embargo, las tendencias al desarrollo de estos dispositivos inteligentes no cesa, al contrario, cada vez son más los afanes de inventar, innovar y mejorar velocidades, simplificar infraestructuras y hacer todo menos complejo.

Son notorios los cambios que ha producido el progreso de las comunicaciones inalámbricas que, gracias a éstas, se ha podido desarrollar la radio, la televisión, la comunicación satelital, la telefonía móvil y celular y las redes inalámbricas de datos. Por lo cual, estos sistemas de comunicaciones inalámbricas han captado la atención de todo tipo de usuarios alrededor del mundo. Por ejemplo, los sistemas celulares y sus tecnologías se han desarrollado excesivamente [2] que hoy en día por lo menos cada habitante posee un Smartphone o dispositivo móvil llamado celular [3]. Además, las redes LAN o redes cableadas han sido reemplazadas en muchas casas y empresas por sistemas inalámbricos o WLAN. Por otra parte, se han implementado redes de sensores inteligentes que también usan esta tecnología inalámbrica [4].

## 1.2 Descripción del problema

Gracias al desarrollo tecnológico, hoy en día las telecomunicaciones ofrecen nuevos servicios por lo cual surgen nuevas tecnologías inalámbricas como es el caso del Internet de las cosas (IoT) [5], donde ya no solamente los usuarios humanos se podrán conectar al Internet, sino que también lo podrán hacer los sensores y electrodomésticos que un hogar automatizado posea.

Por otra parte, la tecnología de cuarta generación LTE está quedando insuficiente ante la enorme demanda de dispositivos móviles y Smartphone conectados a Internet, lo cual surgen nuevas tecnologías móviles de quinta generación con grandes velocidades de transmisión [3].

Algo común que tienen todas estas nuevas tecnologías que surgen, es que su acceso es de forma inalámbrica, lo cual implica, que, una larga lista de sistemas de telecomunicaciones use el espectro radioeléctrico como canal de transmisión.

En los sistemas inalámbricos, sus frecuencias de trabajo son asignadas de manera estática, donde el gobierno es el ente que se encarga de designar las bandas de frecuencias para que las diferentes operadoras puedan funcionar. Pero debido al crecimiento de sistemas inalámbricos en la demanda del uso del espectro, éste resulta escaso en bandas de frecuencias.

Además, una alta concentración de terminales inalámbricos causará un gran tráfico produciendo interferencias, latencias o bajas velocidades de transmisión y reducción de cobertura, lo cual no es nada beneficioso para los usuarios y operadores que proveen el servicio [6].

Por lo tanto, el uso del espectro radioeléctrico es cada vez más frecuente, a tal punto de que casi todo dispositivo electrónico existente ocupa un pequeño segmento de este espectro para poder interactuar con otros dispositivos que estén cerca o lejos de ella, pero ante este uso masivo del espectro surge una problemática preocupante, la cual es la misma escasez del espectro electromagnético.

Debido a que este espectro es asignado de forma estática, éste, resulta ser un recurso limitado que se lo utiliza de forma esporádica e ineficiente. Ante esta

situación, el presente estudio pretende analizar la banda de frecuencias de televisión en lugares internos de un edificio de ambientes densos para poder aplicar nuevas técnicas de acceso al espectro radioeléctrico de formas dinámicas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Analizar la disponibilidad temporal de los canales en la banda UHF-TV en una localidad ubicada en un sector urbanamente denso en el centro de Guayaquil.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Desarrollar un algoritmo para la configuración del dispositivo de medición para poder realizar un sensado de todos los canales de la banda UHF-TV.
- Medir los niveles de potencia de recepción de los canales de la banda UHF-TV, en tres pisos del edificio.
- Verificar la disponibilidad de cada canal sensado usando un margen de referencia como criterio de decisión.
- Determinar por cada canal, la probabilidad de disponibilidad que existe en cada día de la semana
- Comprobar si existe disponibilidad de canales conjuntos, a través de una matriz formada de 'unos' y 'ceros'
- Recomendar si es o no es factible el uso de sistemas tecnológicos OSA en dicho edificio.

#### 1.4 Justificación

La problemática planteada es perceptible por varios factores. Una de estas aristas es la falta de canales para la comunicación, que se puede apreciar en aéreas reducidas de mucha concurrencia como son los estadios, conciertos y eventos masivos, donde no todos los usuarios pueden realizar, ni recibir llamadas, puesto que, el número de usuarios que están llamando en ese momento superan el número de canales provisto para la cobertura de ese sector.

Cuando una persona se encuentra en un lugar con mucho público, como por ejemplo en una convención o seminario, se sabe de antemano que habrá muchos dispositivos dado a que cada persona tiene por lo menos un celular o dispositivo inteligente en su poder, los cuales hacen uso del internet Wi-Fi proporcionado por los auspiciantes del evento o por el internet móvil proporcionado por el servicio telefónico de su celular. Como todos estos dispositivos están haciendo uso de un mismo servicio (internet) siendo el mismo que opera en una sola banda de frecuencias (2,4 GHz) entonces surgirá un congestionamiento del servicio dado al aglutinamiento de usuarios queriendo hacer uso de un mismo espacio en el espectro electromagnético.

Otro escenario en que se ve afectada la comunicación de sus dispositivos, a pesar de que no exista sobrecarga de usuarios, son en las áreas pequeñas y edificios que poseen demasiados sistemas de comunicación, como son el caso de routers que se instalan en cada departamento u oficina con la finalidad de tener su propia red WLAN, sin embargo, las señales que emiten cada router son interferidas entre si causando velocidades bajas de transferencia conocido como latencia o en casos más graves provocando la interrupción de la comunicación en dicho edificio.

Por otra parte cuando se desea implementar un nuevo sistema de comunicación inalámbrica, muchos optan por irse al uso de frecuencias altas para evitar el congestionamiento de señales en bandas ya utilizadas, sin embargo, esto produce sus desventajas, ya que las altas frecuencias pueden ser nocivas para la salud de las personas cercanas a dichas antenas que emitan estas ondas, además, trabajar a estas frecuencias la señal transmitida es más susceptible a

pérdidas al traspasar paredes, vidrios lo cual implica tener línea de vista entre las antenas y reducir la distancia de coberturas creando fentoceldas.

En resumen, en los sistemas de telecomunicaciones diseñados para la transmisión de los medios inalámbricos se aprecia que la “escasez de frecuencia” suele ser uno de los principales problemas de comunicación, debido a que, en la mayoría de las frecuencias se asignan de manera estática que llega a ser única y fija en un solo propósito, que con relación al uso del espectro radioeléctrico, este suele ser infrautilizado, es decir las frecuencia no son usadas de manera eficiente.

Ante esta problemática respecto a la ineficiencia del espectro radioeléctrico en consideración a las redes cognitivas está el uso dinámico en la cual se reutiliza cada frecuencia de desuso con consideraciones para no llegar a interferir a cada usuario legítimo es decir a los primarios.

## **1.5 Metodología**

Para realizar este estudio es necesario fijar el lugar de análisis, el cual debe de ser una edificación ubicada en una zona urbanamente densa. En este caso, una edificación de 3 pisos ubicada en las calles Machala y 1ero de Mayo, en el centro de Guayaquil, será el lugar donde se realizará el trabajo, en el que se puede apreciar muchas señales transitorias debido al flujo constante de buses, transeúntes y líneas eléctricas que existen en esta arteria importante de la ciudad de Guayaquil.

Posterior a esto, se obtienen los niveles de potencia espectral de los diferentes canales de televisión UHF receptada en los tres pisos de la edificación (planta alta, planta media, planta baja). Para esto se necesitará de un dispositivo de recepción de señales de televisión llamado RTL y un software para la programación de los parámetros de sensado del dispositivo (preferentemente MATLAB).

Estas mediciones deben realizarse en el mismo lugar, en plano vertical, en todos los pisos de análisis durante una semana, mientras que a la par estos datos deben de ser recolectados en el software para su posterior tratamiento. También



se deberá fijar un margen de referencia para determinar la disponibilidad de los canales de televisión UHF. Dicho margen estará en función del piso de ruido de las señales sensadas.

Después de tomar las mediciones en cada piso durante una semana, estos datos serán guardados en un archivo Excel con su nivel de potencia en cada frecuencia de la banda, haciendo un barrido de frecuencias desde la 512 hasta la 698 MHz con un Step Frequency determinado. Luego se realizará el tratamiento respectivo de los datos, esto es, sacar un promedio por hora para obtener 24 muestras al día por cada frecuencia recorrida. Para resumir todas las frecuencias de la banda, se procederá a calcular las potencias promedio o las potencias picos de los canales de televisión que existen en la banda UHF, que en este caso son 30 canales de televisión entre analógicos y digitales que van desde el 21 hasta el 51, donde el canal 37 no es considerado canal de televisión ya que se lo usa para otros fines. Para canales analógicos se procederá a tomar el valor máximo o pico que siempre se encuentra en, la frecuencia de inicio de canal más 1.25 MHz. Para canales digitales se sacará el promedio de potencias de todas las frecuencias de ese canal. Una vez depurados los datos se procederá a formar una matriz de 24x31 (24 muestras por día y 31 canales de televisión) que va estar llena de unos y ceros. Los unos representan disponible o que el canal no está utilizado o tiene bajo nivel de potencia receptada, los ceros representan que el canal esta utilizado o que se tiene fuerte señal de recepción. Para poder decidir si en la matriz va un uno o cero, se debe elegir el margen de decisión o umbral que se calcula con el piso de ruido promedio de los canales desocupados que no tenga ninguna operadora transmitiendo. Luego se sacará la probabilidad de disponibilidad por canal y la probabilidad de disponibilidad de canales conjuntos o contiguos.

Con la probabilidad de disponibilidad de canales conjuntos se podrá concluir que sistemas inalámbricos o tecnologías se pueden transmitir por dichos canales, tomando en cuenta que cada canal ya sea analógico o digital posee un ancho de banda de 6 MHz, y si se tienen 4 canales conjuntos se obtendrá un ancho de banda de 24 MHz.

Una vez obtenidos los porcentajes de disponibilidad de dichos canales, se recomendará si en ese edificio existen espacios en blancos en la banda UHF-TV analizada para un posible uso e implementación de nuevos sistemas de telecomunicación de una forma dinámica como se conoce OSA.

## **1.6 Alcance**

El alcance de este estudio es muy reducido, dado a que solo es válido en el lugar donde fueron analizadas las frecuencias de la banda UHF-TV. Para ser más precisos con respecto a este alcance, se realizará este estudio en una edificación de concreto con 3 pisos, de los cuales se analizaran planta alta, planta alta y planta de en medio. En el piso más alto se localiza la azotea, por lo cual en este lugar se tendrá menos obstrucciones para la recepción de la señal. En el piso de en medio se encuentra un estudio jurídico con algunas oficinas, por ende, la recepción de la señal será mucho más pobre con respecto a la azotea, además de que las personas presentes en este estudio jurídico también cuentan con sus respectivos dispositivos tecnológicos que pueden interferir con las mediciones. En la planta baja se encuentra la recepción y una tienda de artículos varios por lo que la obstrucción de dispositivos o de materiales no representará gran interferencia en la recepción de la señal, pero las pérdidas por reflexión y difracción serán mayores en este piso. Por lo cual se asume que en este piso se obtendrá menor recepción de la señal y se estima que se encontrará la mayor disponibilidad de canales.

Por lo tanto, el alcance aproximado de este proyecto se limita a una edificación con dimensiones de 10x12 metros, de 3 pisos de altura y ubicada en una zona urbanamente densa.

## CAPÍTULO 2

### 2. ESTADO DEL ARTE.

La escasez del espectro radioeléctrico se debe a las políticas estáticas y rigurosas que administran y regulan dicho recurso del estado. Es por eso que hoy en días en las telecomunicaciones, los estudios tienden hacia la investigación e implementación de nuevos accesos y asignación de espectro radioeléctrico conocidos como OSA o Acceso Oportunísimo al Espectro que se fundamenta en la radio cognitiva [1] [7].

#### 2.1 Estudios realizados con respecto a Sistemas OSA

El motivo por el cual existe ineficiencia en el uso del espectro, es debido a la concesión fija e inflexible de frecuencias que se da por parte de las entidades gubernamentales, según, un estudio [8] realizado en 2006, donde sustenta que gran parte del espectro radioeléctrico se lo usa esporádicamente, debido a que enormes segmentos de espectro ya concesionados no son usados.

Ante dicha situación de ineficiencia espectral se empezaron continuos trabajos de búsqueda de White Spaces o Espacios en blanco en varias bandas del espectro. La banda UHF de televisión es la que más frecuentemente se la toma como análisis de estudio, entre éstos, se tiene [1], cuyo objetivo es, investigar y desarrollar técnicas que promuevan la concienciación del uso eficiente del espectro en los futuros diseños de sistemas de radio. Éste fue el pionero en España en el ámbito de las regulaciones del espectro. Para esto se hizo un análisis de ocupación espectral (470-862MHz) en 30 municipios de Barcelona, utilizando un analizador de espectro y tomando como umbral de referencia el piso de ruido + 1dB, dando como resultado en todos los municipios una disponibilidad 128 MHz de ancho de banda, que representa el 32,65 % del espectro total. Este proyecto resultó ser el primer paso importante para el desarrollo de redes cognitivas o sistemas basados en dispositivos OSA en el territorio español.

Por lo tanto una solución muy factible ante la escasez espectral que se vive globalmente, es OSA que permite a los usuarios en general, el acceso a bandas licenciadas de manera dinámica y reutilizando las frecuencias ya concesionadas,

pero con la única condición que no afecte en la recepción de los usuarios primarios o dueños de la licencia.

Por otra parte en Ecuador existen algunos estudios [9], [10], [11], [12] acerca de OSA, donde se tiene como objetivo analizar la disponibilidad temporal de canales, midiendo los niveles de potencia dentro de edificios ubicados en una zona urbanamente densa. Las bandas espectrales de análisis han sido las de FM (88 - 108MHz), UHF-TV (512-698MHZ), 3G (1865 -1970MHz) y la banda ISM-WIFI (2400 – 2484 MHZ). Para su dicha medición se han usado dispositivos SDR (Radio Definido por Software) tal como es el caso de los USRP y los RTL. Para la determinación de que si un canal esté o no esté disponible se ha tomado como referencia el umbral de sensibilidad que permite cada tecnología que se esté analizando. Como resultado de estas investigaciones se obtuvo que si existe disponibilidad de canales y que si es factible el posible uso de dispositivos basado en OSA.

## **2.2 Espectro Radioeléctrico**

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado que es administrado globalmente por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones o ITU, pero su uso es regularizado por entes gubernamentales de cada país para poner a disposición al público en cada área de operación [13].

Para el Ecuador, el espectro representa un recurso fundamental en donde en el Plan Nacional de Frecuencias se encuentran establecidas las distribuciones y regulaciones de dicho espectro. Por lo tanto, el espectro está definido como el “subconjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el aire sin necesidad de guía artificial o cables y es utilizado para brindar servicios de telecomunicaciones” [14] .

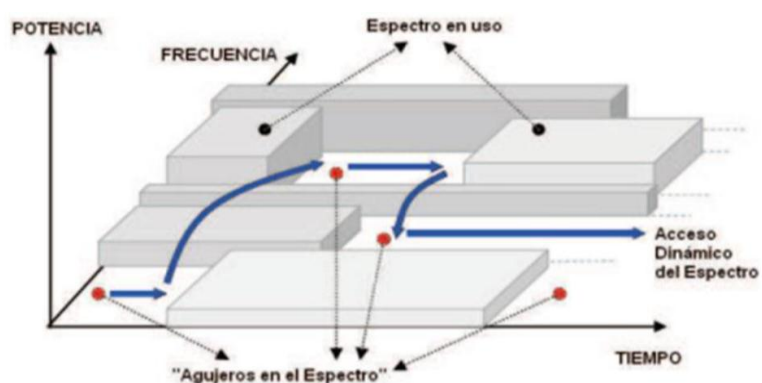
## 2.3 Acceso dinámico al espectro (DSA)

### 2.3.1 Definición de DSA

DSA es un concepto general que describe técnicas y métodos para el acceso al espectro radioeléctrico bajo ciertas normas que se debe tomar en cuenta dependiendo del tipo de banda que se esté accediendo y del tipo de red [15].

### 2.3.2 Objetivos de DSA

El principal objetivo del DSA es acceder entre las mejores bandas del espectro radioeléctrico que se encuentren disponibles, por medio de sus capacidades cognitivas, ya que en su mayoría, el espectro ya está asignado, siendo de esta forma uno de los retos más desafiantes, el compartir simultáneamente el segmento de espectro entre los usuarios primarios o licenciados y secundarios sin causar interferencias como se observa en la Figura 2.1.



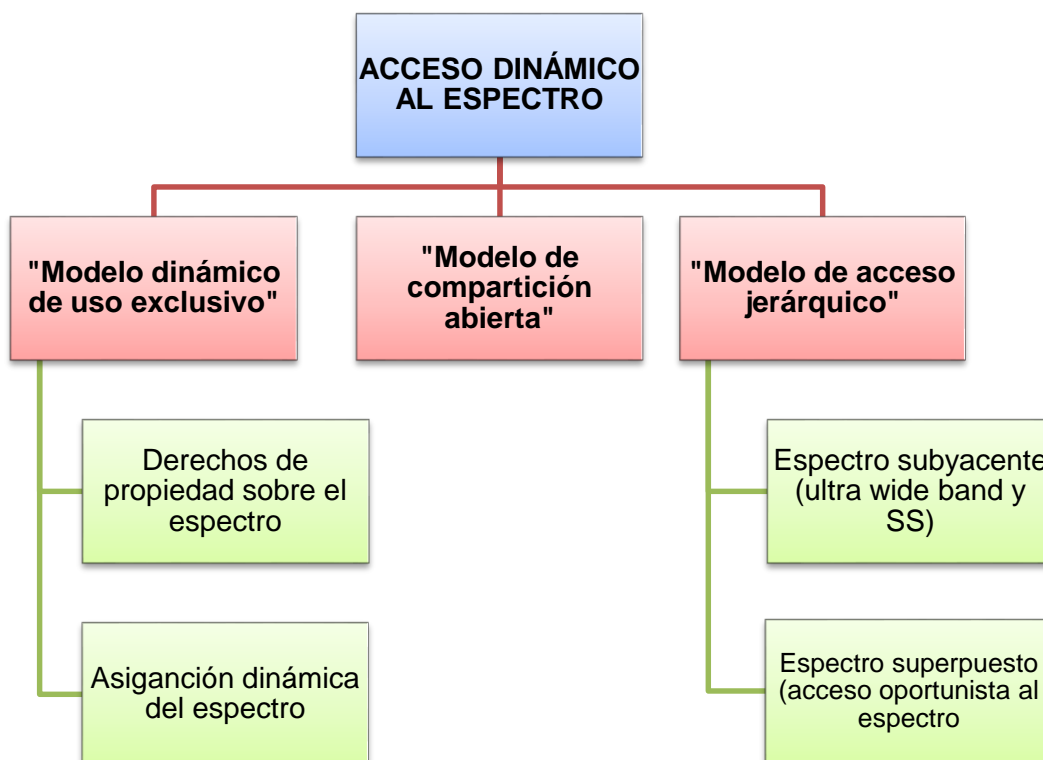
**Figura 2.1 Asignación dinámica del espectro [8]**

En la Figura 2.1 se puede observar el uso del espectro de forma temporal que se hace notorio por medio de los “White spaces”, o más conocidos como espacios en blanco [8].

Es por ello que si la banda será utilizada por algún usuario primario, la radio cognitiva tiene que ser trasladada al otro espacio en blanco del espectro, o se queda en la misma banda, pero se debe alterar su nivel de potencia para que en las transmisiones eviten interferencias.

### 2.3.3 Sistemas de DSA

Debido al uso ineficiente que se ha dado por motivos de las políticas de gestión estática del espectro, la IEEE llevo a cabo el primer Simposio en “Nuevas Fronteras en Redes con acceso Dinámico al Espectro (DySPAN)”, en donde se abarcaron diversos enfoques de la reforma del espectro, proponiendo nuevos sistemas de acceso dinámico al espectro [16], de los cuales se propusieron tres modelos que se observan en la Figura 2.2



**Figura 2.2 Tipos de DSA [15]**

Como se observa en la Figura 2.2, existen tres modelos de acceso dinámico al espectro, de los cuales el modelo dinámico de uso exclusivo se subdivide en dos dependiendo los derechos de propiedad del segmento de espectro. Por otra parte el modelo de acceso jerárquico

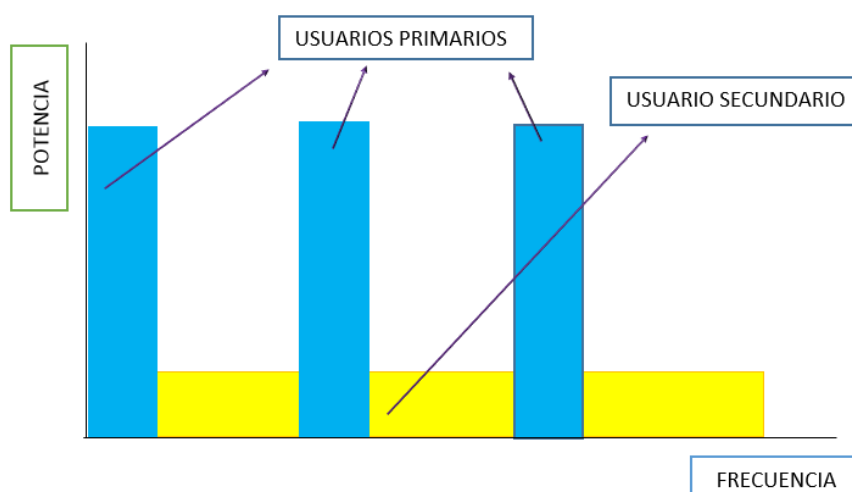
también se subdivide en dos dependiendo los niveles de potencia de los usuarios primarios y secundarios.

#### 2.3.4 Modelo jerárquico

Este sistema de acceso jerárquico puede ser calificado como un híbrido debido a que puede funcionar tanto como un modelo exclusivo o como un modelo compartido. El modelo diferencia dos clases de usuarios que son los licenciados o primarios y los que no poseen licencia alguna o secundarios, con el fin de que éstos últimos puedan tener acceso al espectro teniendo en consideración que no se puede interferir a los primarios.

Este modelo se subdivide en dos clases: Espectro subyacente y espectro superpuesto, más conocido como Acceso Oportunísimo al Espectro (OSA)

- **Espectro subyacente:** También conocido como bajo nivel de ruido, se caracteriza por limitar los niveles de transmisión en cada uno de los usuarios secundarios, con el fin de que sus niveles de potencias de operación estén por debajo del umbral de ruido para que éstos no causen interferencias a los usuarios primarios. Los sistemas de espectro ensanchados como CDMA y UWB irradian sus potencias en un gran ancho de banda, cumpliendo los requisitos planteado para este modelo de espectro bajo el nivel de ruido, como se observa en la Figura 2.3

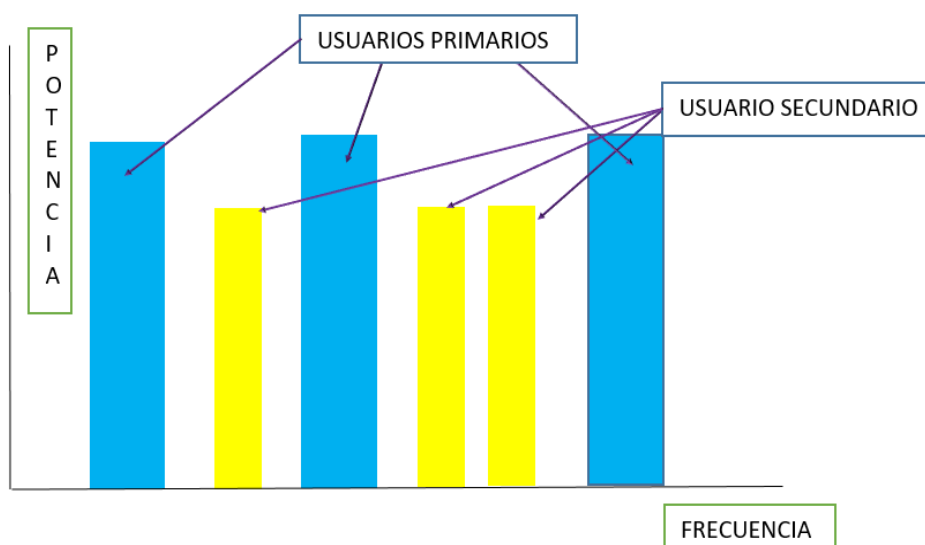


**Figura 2.3 Asignación dinámica del espectro**

En la Figura 2.3 se puede apreciar que los niveles de potencia de los usuarios secundarios (amarillo) están muy por debajo de los niveles de potencia de los usuarios primarios (celeste). Las ventajas del uso de este sistema se ven reflejadas en las altas velocidades de transmisión que se pueden obtener en coberturas de poco alcance a una escasa potencia de operación en la transmisión, permitiendo de esta forma operar por debajo de los niveles de ruido de los sistemas primarios, resultando ser sistemas de poca complejidad [12].

- **Espectro superpuesto (sobre el nivel de ruido):** A diferencia del sistema anterior, en éste no es restringida a los usuarios secundarios al momento de transmitir, pero si es limitado el tiempo de uso debido a que depende en que tiempos y frecuencias existen espacios en blancos, o que el usuario primario no esté utilizando para ser operada por los usuarios secundarios como se observa en la Figura 2.4





**Figura 2.4 Asignación dinámica del espectro**

El usuario secundario tiene el trabajo de detectar los espacios que no son utilizados por los usuarios primarios. Para tener un mejor desarrollo de estas técnicas de acceso al espectro, se debe hacer una investigación exhaustiva para conocer previamente la actividad espectral de los usuarios primarios, es por eso que antes de la implementación de dicho sistema, se hace un sensado en los niveles de potencia receptados por los usuarios primarios para conocer las frecuencias y tiempos en que no son utilizadas. Luego de eso, el usuario secundario detectará los espacios en blancos, y en base a ciertos parámetros como la probabilidad de colisión y de transmisión simultánea de ambos usuarios, se tomará la decisión si el usuario secundario es apto para utilizar dicho espacio en blanco [12], [17].

### **2.3.5 Usuarios primarios y secundarios**

La principal función de estos sistemas de acceso oportunos al espectro, es la de reutilizar bandas de frecuencias que usuarios licenciados no utilizan con continuidad o ni llegan utilizarlas, mediante un acceso dinámico o DSA, con el objetivo que usuarios no licenciados puedan tener acceso a este espectro y poder realizar sus transmisiones requeridas, evitando producir interferencias a los usuarios que pagan una licencia por el uso de dichas frecuencias. Para eso se va a diferenciar el concepto y funciones de usuario primario y usuario secundario.

Para el Ecuador, en el ámbito de las telecomunicaciones, se afirma según el Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones Reformada, que los usuarios primarios (PU) son considerados todos aquellos que obtengan un título habilitante aprobado por la ARCOTEL y que estén trabajando legalmente en las frecuencias concesionadas por la agencias gubernamental, es decir los usuarios primarios son los que solicitan, y pagan por dar uso de este espectro radioeléctrico que es un recurso fundamental y limitado del estado [18].

Por otra parte, cuando se habla de sistemas de acceso dinámico es necesario nombrar a los usuarios secundarios que son aquellos que no pagan alguna licencia por uso de frecuencias, sin embargo, éstos ocupan y utilizan frecuencias que usuarios primario o licenciados no estén usando momentáneamente, lo cual varía dependiendo las condiciones espaciales y tipo de tecnología a que estén accediendo. Por lo tanto los usuario de radio cognitiva son considerados usuarios no licenciados o secundarios, ya que acceden a los espacios en blancos o White spaces que se encuentren en dicha banda ya concesionada a los usuarios primarios. Por lo tanto, todo esto es una vía de desarrollo para un mayor uso eficiente del espectro radioeléctrico y a la vez mejor los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos [10].

## **2.4 Acceso Oportunista al Espectro (OSA)**

### **2.4.1 Definición de OSA**

Conociendo lo explicado anteriormente, OSA es un enfoque del Acceso Dinámico al Espectro, de la cual este trabajo se basará en dicho enfoque que es el modelo “Spectrum Overlay” o “espectro sobre el nivel del ruido” conocido como Espectro superpuesto, en cual se fundamenta en la existencia simultánea de usuarios primarios y secundarios en una misma banda de frecuencias licenciadas, sin que el usuario secundario interfiera con sus niveles de transmisión a los usuario primarios.

## **2.5 Espacios en blanco en TV (WS)**

En la actualidad, el uso de las bandas concesionadas por sistemas primarios no resultan eficientes dado a sus configuraciones y asignaciones de las frecuencias ya antes mencionadas, motivo por el cual las bandas que no es utilizada por un lapso de tiempo suele resultar denominado como los famosos “espacios en blanco” o por sus siglas en inglés “TVWS”

En la Figura 2.1 se puede lograr apreciar que cada uno de los segmentos del espectro radioeléctrico el cual su uso resulta ser dependiente de la cantidad dada de usuarios y los datos pasados por la banda, es decir que cada uno de los tráficos de datos y usuarios se puede encontrar en variedades de segmentos de tiempos en cuanto los segmentos respectivamente del espectro no esté siendo usado por algún usuario licenciado, ya que esto da pie a que los equipos secundarios tengan la facilidad de acceder a varias de las bandas y técnicas de acceso dinámico al espectro [12]

Se han realizado numerosos estudios alrededor del mundo con el principal objetivo de lograr determinar las disponibilidad que el espectro posee, teniendo como particularidad las mediciones antes mostradas, del cual el espectro que se asigna a TV muestran varias porciones del espectro que no están siendo utilizadas y junto a las excelentes propiedades de las propagaciones que poseen se ha logrado captar la atención a las comunidades científicas, muchas de estas porciones de espectro suelen estar localizadas en bandas de TV, o conocidas como espacios en blanco, muchos de estos han sido tomados en cuenta por los

diferentes organismos reguladores, tendiéndolos en la mira a explotarlos de una forma eficiente.

## **2.6 Estándares de televisión en el Ecuador**

A nivel mundial uno de los principales sistemas de telecomunicaciones que ha resultado tener mayor impacto en la sociedad ha sido la televisión, sin embargo, este es uno de los sistemas también con más cambios drástico que ha pasado con el pasar de los años que ha logrado estar activo, desde inicios de la pantalla a blanco y negro hasta los nuevos sistemas de alta definición de hoy en día, en los últimos años, muchos de los sistemas de televisión han estado en procesos de transición denominado “switch-over”, el cual logra permitir las migraciones a una tecnología digital la cual promete tener múltiples ventajas [19] .

Es por ello que en el Ecuador se ha logrado implementar una de las tendencias mundiales, la cual es cambiar sus sistemas de trasmisión de televisión abierta analógica por la digital, en la cual a este proceso se lo vaya a realizar en diversas etapas o fases con el único objetivo de formar una migración de las tecnológicas sin tener que ser afectadas a los usuarios. En la actualidad el Ecuador se encuentra en una etapa de simulcast, el cual significa poder enviar tanto las señales analógicas y digitales en un cierto espacio de tiempo, el cual se tenga previsto cada uno de los procesos de transición en la televisión digital para así poder complementar en todo un territorio nacional para el año 2018, puesto que, muchos de los estándares analógicos y digitales suelen estar vigente dentro del territorio nacional durante los periodos de simulcast.

## **2.7 Televisión analógica en el Ecuador**

El sistema que se ha utilizado dentro del Ecuador para poder realizar las transmisiones de televisión en las señales abiertas han sido propuestos por parte del “Comité Nacional de servicios de Televisión” o NTSC [20] , en el cual su sistema de transmisión de señales de televisión a color ha sido producido por modulaciones analógicas y está formado por dos parámetros.

**Video.-** Este es formado por la luminancia, crominancia y la portadora de sincronización, en donde la señal principal es la que forma parte de la intensidad

de la luz de las imágenes, mientras que la segunda es la cual indica los colores de las mismas, cabe recalcar que en los conjunto de señales de luminancia y cromancia ocupan un ancho de banda de 4.2 MHz.

**Audio.-** Representa el sonido de las señales, las cuales usan dentro del sistema de NTSC como tipo FM, dado a que solo se consume un aproximado de 0.25 MHz.

NTSC se consume un ancho de banda de 6 MHz, los cuales se toma en cuenta entre la portadora de video y de audio.

## 2.8 Televisión digital Terrestre en el Ecuador

Como se explica en [12], en el Ecuador existen una cantidad de estándares para las difusiones de televisiones digitales terrestres en donde el “estado ecuatoriano por medio de su ente regulador de las telecomunicaciones ha realizado pruebas en diversas zonas del país, con el principal objetivo de poder determinar el mejor estándar y características”.

Como respuesta a las pruebas, en el Ecuador se optó por el estándar japonés denominado ISDB-T [21] o conocido como “Integrated Services Digital Broadcasting”, con ciertas modificaciones brasileñas, la cual tiende abrir las puertas para el impulso de servicios de software, y si se compara con la transmisión analógica posee mayor ventajas:

**Ancho de banda optimizado.-** Se caracteriza respecto a los métodos de compresión digital los cuales permiten que varias de sus señales analógicas simultáneas sean determinados como ancho de bandas en donde el canal analógico es de 6 MHz, mientras que las televisiones digitales terrestres conocida por sus siglas TDT logran poder transmitir los canales adyacentes en los casos de sistemas NTSC en la cual esta no logra realizarse.

- **Calidad de imagen.-** Dentro de las imágenes su calidad puede representar variaciones en donde los requerimientos de estos logran obtener un servicio que tenga la red determinada para cada característica.

- **Configuración de interactividad.-** Estos permiten que los sistemas de televisión puedan convertirse en sistemas unidireccionales a direccionales a través de la navegación en red o en Internet.
- **Optimización de potencias.-** son representados como un tipo de consumo de potencia el cual es mucho menor.

## 2.9 Distribución del espectro radioeléctrico para la televisión en el Ecuador

Los sistemas antes mencionados se relacionan con cada uno de los segmentos que posee el espectro radioeléctrico para poder así realizar operaciones en las bandas ya concesionadas. Tanto para canales analógicos y digitales son representadas en bandas de VHF y de UHF, por consiguiente, las bases del reglamento de Unión Internacional de Telecomunicaciones denominado ITU, sea establecido que cada uno de los sistemas de TV abiertas sean en bandas VHF, los cuales empiezan desde el canal 2 al 13, mientras que el UHF empieza desde el canal 21 al 51, como se detalla en la siguiente Tabla 1 [14]:

BANDAS DE RADIO ITU	FRECUENCIAS (MHz)	CANALES
VHF	54 - 72	2, 3, 4
	76 - 88	5, 6
	174 - 216	7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13
UHF	512 - 608	21, 22, 23,.....36
	614 - 644	38, 39, 40, 41, 42
	644 - 698	43, 44, 45,.....51

**Tabla 1 Distribución de la banda de televisión en el Ecuador**

En la Tabla 1 se puede observar las dos bandas que se usan para la transmisión de televisión, además se muestra en el rango de frecuencias con los canales designados en el Ecuador. Cada una de las bandas que son asignadas mediante los servicios de TV son representados por las bandas de VHF y las de UHF, en donde los canales de TV poseen 6 MHz de ancho de banda, por lo cual lo cual

en dichas bandas está contabilizado por un aproximado de 42 canales, es por ello que cada uno de los ocho canales digitales existentes como lo son el canal 21, 23, 25, 27, 29, 35, 39, 45 mientras que los trece canales analógicos como lo son canales 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 43, 46 y 48 son asignados para ser operados, no obstante, de los 21 canales usados, existe la utilización de canales de los cuales no se encuentran operando, dado que no poseen ningún tipo de asignación de prueba.

## CAPÍTULO 3

### 3. METODOLOGÍA

En los capítulos anteriores, se explicó la existencia de la escasez del espectro radioeléctrico y sus diversas causas, se realizó una breve descripción sobre la banda UHF de televisión y su lista de canales asignados en el país según la actual Ley de Telecomunicaciones del Ecuador y también se expuso una posible solución para una mejor utilización del espectro radioeléctrico en dispositivos que a corto o a largo plazo cuenten con la tecnología OSA, la cual les permitirá cumplir a cabalidad dicho objetivo deseado.

En el presente capítulo, se explicará la metodología utilizada para la recolección de datos en el lugar de estudio junto con los algoritmos creados para cumplir dicho objetivo, a su vez que también se hará una breve descripción sobre los diferentes modelos estadísticos que se busca analizar en este estudio con sus respectivos procedimientos.

Para la realización de este estudio, se eligió a la ciudad de Guayaquil debido a su gran cantidad de habitantes y, por consiguiente, usuarios que utilizan con mucha frecuencia los recursos del espectro radioeléctrico. La frecuencia de utilización de estos recursos está en función de los dispositivos de transmisión/recepción que son utilizados por los usuarios en su vida cotidiana, tales como radios, televisores, dispositivos móviles, etc.

La toma de datos fue realizada en un edificio de 3 pisos de altura ubicado en las calles Machala y Primero de Mayo, las cuales pertenecen a la zona céntrica de la ciudad en donde se presenta una alta densidad de usuarios y edificios con características similares a sus alrededores.

Los datos obtenidos en estas mediciones corresponden a los niveles de potencia presentes en el espacio de espectro de análisis, cuyos valores otorgarán la información requerida si los canales se encuentran disponibles u ocupados al ser



estos comparados con los valores de los pisos de ruido correspondientes por cada piso, los cuales están detallados más adelante.

Para obtener una mejor apreciación de la variación de los niveles de potencia de los canales en banda UHF-TV las mediciones fueron realizadas en la planta baja, planta media y planta alta del edificio, los cuales corresponden a los puntos estratégicos de un edificio común.

### 3.1. Descripción General

Para medir el espectro radioeléctrico en banda UHF-TV se utiliza una antena, un dispositivo de bajo costo que recepta señales de radiofrecuencia llamado RTL-SDR, una laptop y una programación realizada en Matlab.

En la Figura 3.1 se detalla la conexión usada para la toma de datos de este análisis.



**Figura 3.1 Conexión para la toma de datos en banda UHF-TV**

El dispositivo que hace la función principal en la toma de datos es el RTL-SDR, el cual es una radio definida por software que utiliza un chip sintonizador de radio de bajo costo, lo cual permite que sea de fácil adquisición para muchos usuarios, dado a que un analizador de espectro ordinario es hasta mil veces más caro que este dispositivo.

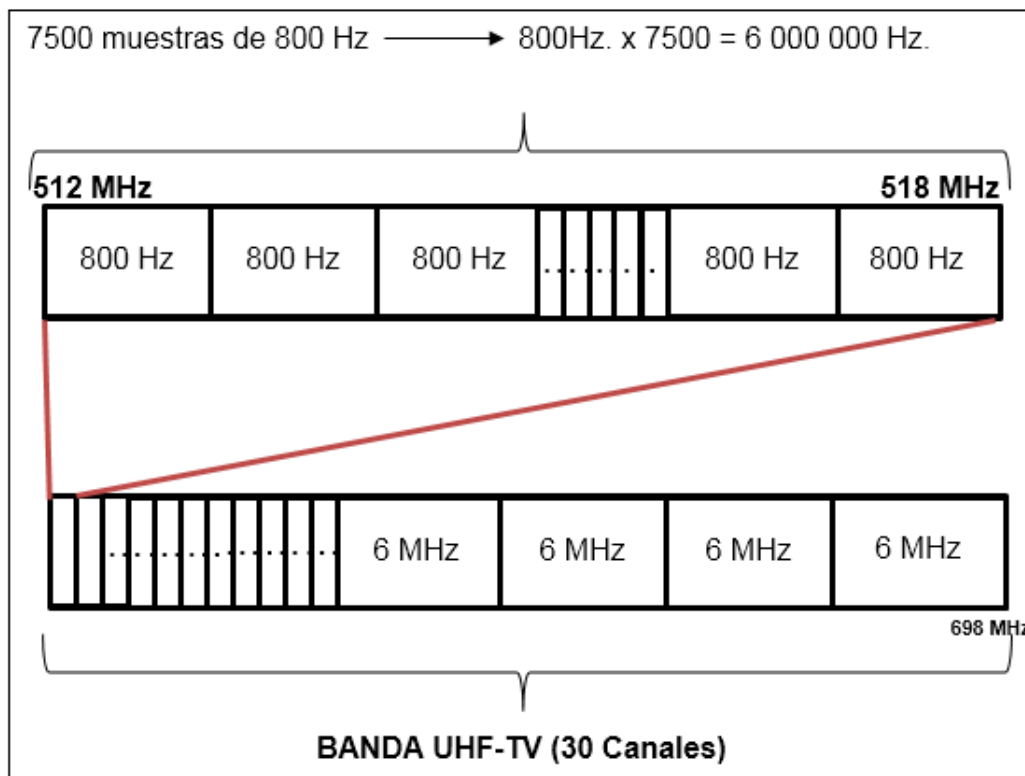
Para hacer uso de las principales cualidades de este dispositivo, se requiere la utilización de un software asistente, que en este caso es una programación desarrollada en Matlab que realiza una lectura de los niveles de potencia del rango de frecuencias correspondiente a este análisis, a su vez que es necesaria la instalación de la librería “Communications System Toolbox Support Package for RTL-SDR Radio” para que el software pueda recopilar correctamente la información receptada por el dispositivo.

Los niveles de potencia receptados por el dispositivo en escala dBm son procesados por el programa del software asistente, el mismo que hará una conversión de dBm a decibelios de estos datos para facilidad de los cálculos posteriores a realizarse.

El programa en mención hace un barrido de la banda UHF-TV cada 2 o 3 minutos aproximadamente y luego es almacenado en un archivo de Excel que será posteriormente tratado con otros softwares complementarios para la obtención de datos más específicos.

La tasa de muestreo para este análisis está configurada en 2 MHz. y la separación entre frecuencias es de 800 Hz; con esto se obtiene una aproximación con pérdidas mínimas, lo cual permite que estos datos y sus resultados sean los más exactos posibles.

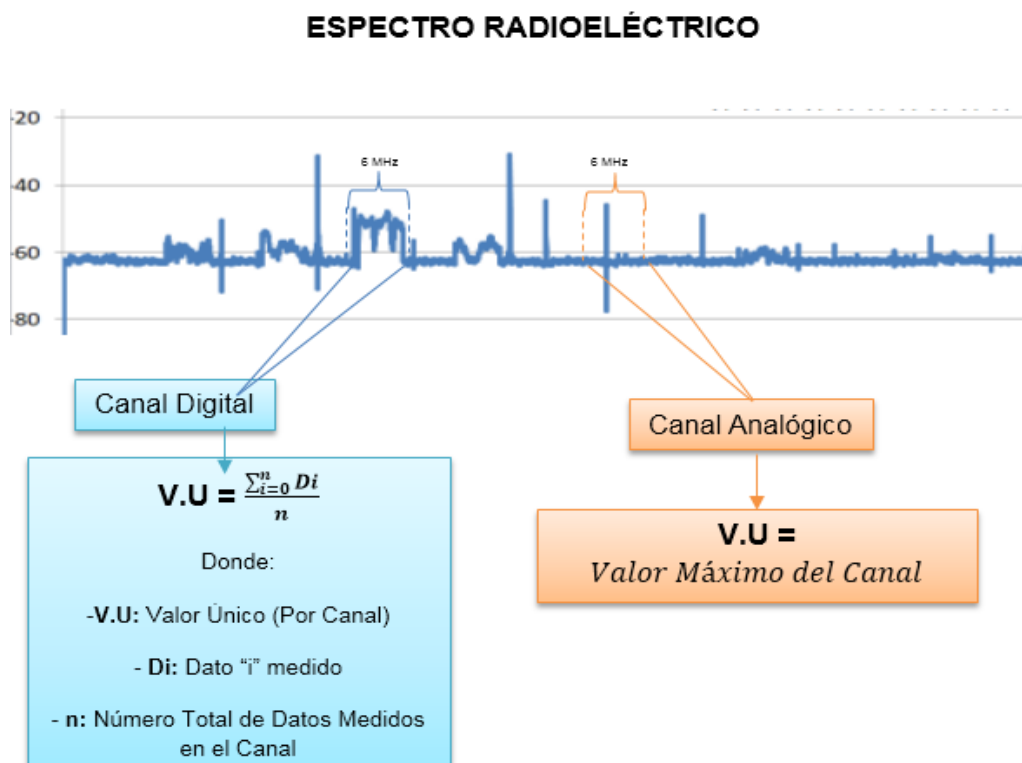
El software MATLAB arroja un dato por cada 800 Hz. tal como se muestra en la Figura 3.2, pero cada canal de televisión tiene un ancho de banda de 6 MHz. por lo que se necesita hacer una promediación de estos datos para obtener un valor único (V.U.) por canal. Esta promediación diferirá del tipo de canal de televisión a analizar, dado a que si es un canal analógico el valor único (V.U.) será el valor pico presente en los 6 MHz. correspondientes al mismo mientras que para un canal digital es necesario promediar todos los valores presentes en los 6 MHz. correspondientes a dicho canal, de esta manera se obtendrán los datos finales y estarán listos para ser tratados y procesados.



**Figura 3.2 Configuración de la Recolección de Datos del RTL-SDR al software**

Antes de procesar los datos para obtener los valores únicos, el software MATLAB obtiene dichos datos en el transcurso de una semana dado a que el análisis consiste en estudiar el comportamiento de las señales en la banda UHF-TV por cada piso del edificio en el lapso de una semana, lo cual permitirá tener un estudio más detallado sobre la disponibilidad de canales obteniéndose de esta manera 10500 barridos de banda UHF-TV por semana.

Para clasificar mejor estos datos, MATLAB guardará los barridos de banda por día, obteniéndose un aproximado de 1500 barridos en este tiempo. Posterior a esto, manualmente se clasificarán los datos por hora y por canal usando la distinción entre canales analógicos y digitales como se ilustra en la Figura 3.3.



**Figura 3.3 Obtención de los Valores Únicos por Canal (Analógico o Digital)**

En la Figura 3.3 se observa que en el espectro existen canales analógicos y canales digitales, los cuales se explica cómo debe ser el tratamiento de dichos canales para la obtención de un valor único por canal. Por ejemplo en un canal analógico solo se debe coger el valor máximo o pico de todas las muestras medidas en dicho canal. Para un canal digital se debe promediar todas las muestras de dicho canal para un obtener un valor único que representan la potencia promedio del canal digital.

### 3.2 Modelamiento Estadístico

Una vez clasificados los datos por hora y por canal, se procederá a comparar estos datos con un valor umbral, el cual está definido como el valor del piso del ruido adicionado a 4 y 10 decibelios, los cuales permitirán tener una región de decisión para establecer si un canal está disponible o no. El valor umbral se lo tomó con referencia a un estudio anterior [22].

El piso del ruido presente en cada nivel del edificio se obtiene a través de un promedio de los niveles de potencia detectados por el dispositivo en los canales

vacíos de la banda UHF-TV, los cuales en el medio de análisis corresponden a los tres últimos canales de dicha banda mencionada.

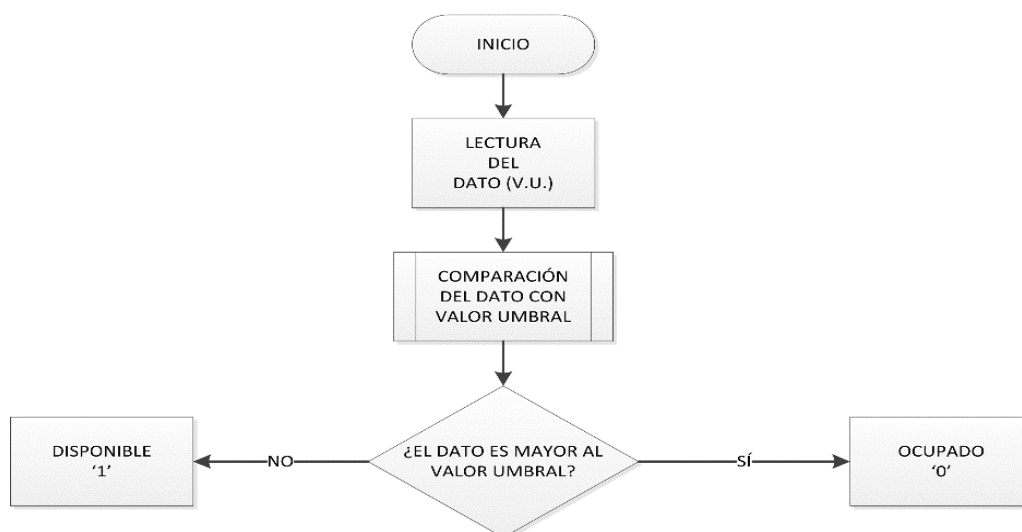
En la Tabla 2 mostrada a continuación, se detallan los diferentes pisos del ruido y los respectivos valores umbrales a tomarse para determinar la disponibilidad de canales por piso.

<b>PISO</b>	<b>VALOR DEL PISO DEL RUIDO (NF.)</b>	<b>NF + 4dB.</b>	<b>NF + 10dB.</b>
<b>1</b>	-62,9375 dB.	-58,9375 dB.	-52,9375 dB.
<b>2</b>	-63,0607 dB.	-59,0607 dB.	-53,0607 dB.
<b>3</b>	-63,3067 dB.	-59,3067 dB.	-53,3067 dB.

**Tabla 2 Pisos del Ruido y Valores Umbrales (4dB./10dB.)**

La Tabla 2 muestra la variación del piso del ruido en decibelios con respecto al piso en donde se realiza esta medición, reflejando un comportamiento decreciente mientras se asciende en los pisos de dicho edificio. En la sección derecha se muestran los respectivos valores umbrales utilizando los dos márgenes (+4dB. / + 10dB.).

Con estos valores, se establecerá un algoritmo para determinar la existencia de disponibilidad de estos canales, la cual se ilustra en la Figura 3.4 detallada a continuación.



**Figura 3.4 Algoritmo para Determinación de la Disponibilidad de Canal**

Tal como se muestra en la Figura 3.4, al principio se realizará la lectura del dato que corresponde a un V.U. (Valor Único) por canal medido y luego se comparará este dato con los valores umbrales mostrados en la Tabla 2 de acuerdo al piso de análisis.

Para realizar esta comparación, se deberá comprobar si el valor único (V.U.) es mayor o menor con respecto al valor umbral de análisis, si es menor se asignará el valor de '1' para indicar que dicho canal se encuentra disponible, caso contrario se asignará el valor de '0' para indicar que dicho canal está ocupado, de esta forma se construirá las matrices de unos y ceros por canal para cada día medido y para cada piso.

Una vez construidas las matrices, se procederá a agrupar todas las matrices por piso para su posterior tratamiento de datos, el mismo que se ilustra en la Figura 3.5.



**Figura 3.5 Algoritmo de Tratamiento de Datos para posterior hallazgo de Probabilidad Individual (pdf) y Probabilidad Acumulada (cdf)**

El algoritmo de tratamiento de datos para posterior hallazgo de función de probabilidad individual (pdf) y probabilidad acumulada (cdf) detallada en la Figura 3.5 indica que, una vez agrupadas las matrices por piso en una matriz única, se deberán contar los “unos” existentes por hora, los cuales representan la cantidad de canales disponibles por cada hora de medición. Luego, se contarán las veces en que se repitan valores iguales de canales disponibles por hora a través de una tabla dinámica de Excel y como último paso del algoritmo, los valores generados en la tabla dinámica deberán dividirse para el número total de muestras, que predeterminadamente vendría a ser 168, debido a que existen 24 datos por cada día de la semana (7 días hábiles).

Posterior a esto, se calcularán las probabilidades de disponibilidad de canales individuales, disponibilidad de canales totales y disponibilidad de canales conjuntos, procedimientos que serán meticulosamente detallados en la Figura 3.6.

HORAS	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	#2	#3	#4
1	1	0	0	0	1	2	0	0
2	1	1	1	0	1	4	0,5	1
3	0	0	0	0	1	1	0	0
4	1	1	1	0	1	4	0,5	1
5	0	1	1	0	1	3	0	0
6	1	0	0	0	1	2	0	0
7	1	1	0	0	1	3	0,5	0
8	0	0	1	0	1	2	0	0
	0,625	0,5	0,5	0	1			

Probabilidad de Disponibilidad de Canales Individuales: 0,625, 0,5, 0,5, 0, 1  
 Cantidad de Canales Totales Disponibles por Hora: 2, 4, 1, 4, 3, 2, 3, 2  
 Probabilidad de Disponibilidad de Canales Conjuntos: 0, 0,5, 1, 0, 0, 0, 0, 0

**Figura 3.6 Matriz de Unos y Ceros con sus respectivas disponibilidades de Canales Individuales y Canales Conjuntos**

La probabilidad de canales individuales es calculada sumando la cantidad de '1' en las columnas de la tabla y dividiendo el resultado para el número total de columnas, la probabilidad de canales totales disponibles por hora es calculada sumando la cantidad de '1' en las filas de la tabla y dividiendo el resultado para el número total de filas, y por último la probabilidad de canales conjuntos disponibles es calculada contando la cantidad de agrupaciones de 2, 3 y 4 canales conjuntos disponibles por fila y dividiendo sus resultados para sus cantidades totales de agrupaciones conjuntas existentes en la banda UHF-TV, las cuales están detalladas en la Tabla 3.

### 3.2.1. Disponibilidad de Canales Individuales

Para encontrar la probabilidad de disponibilidad de canales individuales, sea por día o por semana, se deberán contar el número de "unos" existentes en la columna del canal analizado y dividir este valor contado por la cantidad de muestras totales o por el número de horas de la muestra analizada, tal como se muestra en la Figura 3.6.

Esta probabilidad de canal individual servirá para representar la disponibilidad general de canales individuales por piso, los cuales serán detallados en el siguiente capítulo.

### 3.2.2. Disponibilidad de Canales Totales

Para encontrar la probabilidad de disponibilidad de canales totales se sigue un procedimiento muy similar al ilustrado en la Figura 3.5.



Es necesario contar la cantidad de canales disponibles por hora y separar estos valores en una columna aparte, luego, se seleccionan los valores almacenados en esa columna y se crea una tabla dinámica a partir de ellos. La tabla dinámica creada deberá mostrar el número de veces que se repiten los valores contados por hora, es decir, si a la hora 0 y a la hora 3 se tienen 17 canales disponibles entonces se tendrá una repetición de dos veces la existencia de 17 canales disponibles, y es este valor de “dos” el cual será dividido para el número total de muestras (una muestra por hora); de esta manera se obtendrá la probabilidad de disponibilidad de canales totales.

### 3.2.3. Disponibilidad de Canales Conjuntos

Para encontrar la probabilidad de disponibilidad de canales conjuntos, se deberá seguir un algoritmo de conteo, el cual puede ser hecho manualmente o bien puede ser aplicado en un software de programación. Se necesita hallar la probabilidad de disponibilidad de encontrar 2, 3 o 4 canales conjuntos para tener un amplio espectro de posibilidades y de esta manera transmitir información a través de dichos canales conjuntos disponibles, tal y como se detalla en la Tabla 3.

<b>Nº Canales Conjuntos</b>	<b>Ancho de Banda</b>	<b>Tecnologías Que Pueden Usarse en estos Anchos de Banda</b>	<b>Cantidad de Agrupaciones en la Banda UHF-TV</b>
<b>2</b>	12 MHz.	GSM, UMTS, EDGE, LTE	15
<b>3</b>	18 MHz.	Todas las anteriores, OFDM	10
<b>4</b>	24 MHz.	Todas las anteriores, WiFi, Bluetooth	7

**Tabla 3 Anchos de Banda y Tecnologías que pueden ser usadas en los Canales Conjuntos Disponibles**

En la Tabla 3 se muestra el ancho de banda que se puede obtener si se tiene una agrupación de pares de canales conjuntos, triadas de canales conjuntos y cuartetos de canales conjuntos. Además se aprecia los tipos de tecnologías que se podrían transmitir con dichos anchos de banda. Y en la última columna se muestra el número máximo que se puede encontrar de pares, triada y cuartetos de canales dentro de la banda UHF sensada que son 30 canales.

El algoritmo de conteo radica principalmente en contar cuantos patrones de “unos” continuos hay por hora, es decir; cuantos pares, triadas o cuartetos de “unos” pueden encontrarse por hora. Después de este conteo, el proceso para hallar las probabilidades de canales conjuntos es igual al proceso de las probabilidades de canales individuales dado a que se sigue el mismo algoritmo descrito en la Figura 3.5.

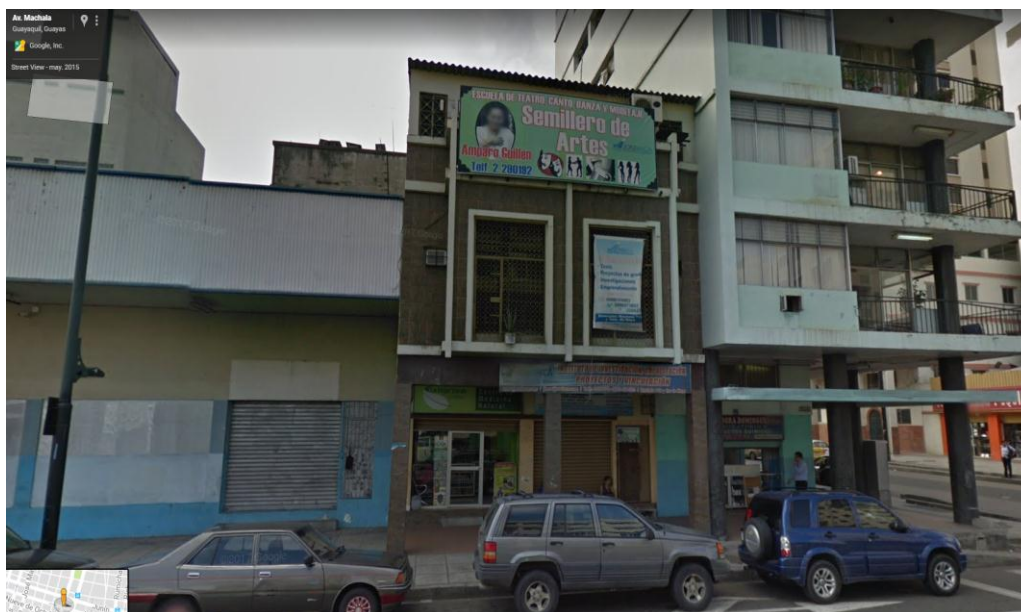
## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Descripción del Escenario de Estudio

El lugar de estudio para el análisis realizado está ubicado en el centro de la ciudad de Guayaquil, en las calles Machala y Primero de Mayo, con coordenadas de longitud -2.188266 y de latitud -79.889628. Es una edificación de 3 pisos de altitud y en sus alrededores cuenta con muchos edificios más altos que el lugar en mención.

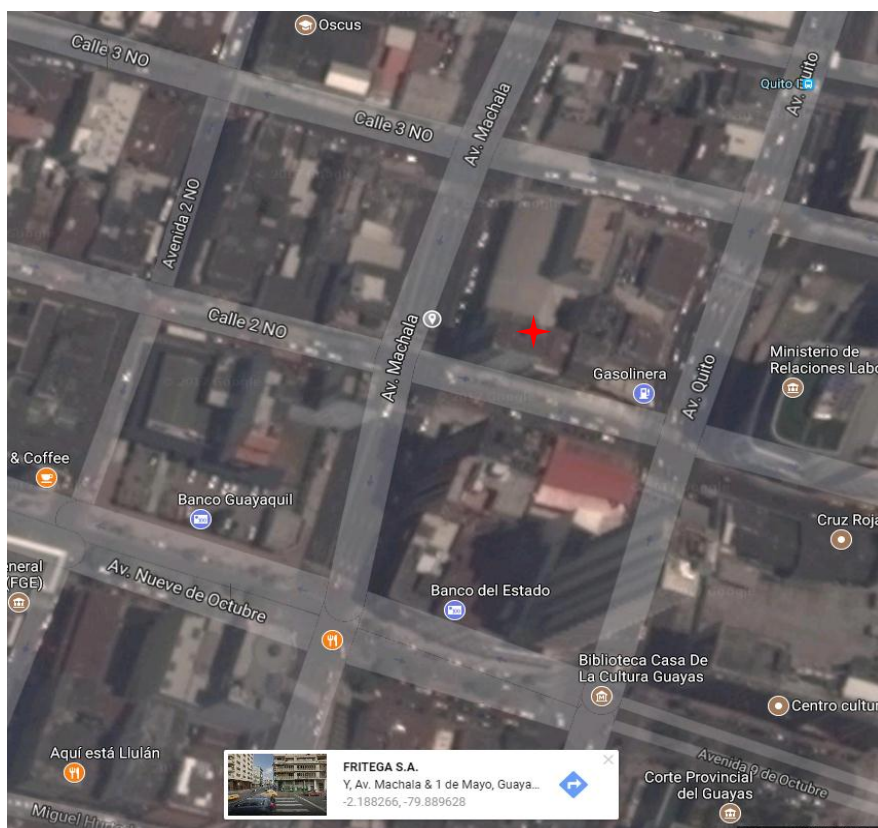
En la Figura 4.1 se observa la vista externa del edificio, así como también una de las tantas edificaciones que la superan en altura.



**Figura 4.1 Edificio “José Inca”**

La zona en la que se encuentra este edificio es considerada como “urbanamente densa”, dado a que existe una gran afluencia de gente que ocupa los edificios de los alrededores y a su vez una gran cantidad de automotores que transita por la avenida Machala, la cual es una de las principales arterias viales de la ciudad de Guayaquil.

En la Figura 4.2 se muestra la ubicación y las coordenadas en donde se localiza el edificio en estudio.



**Figura 4.2 Ubicación del Edificio “Marketing y Proyectos José Inca”**

En primera instancia, se escogió este lugar como punto de análisis debido a que reúne las condiciones necesarias para un estudio a fondo sobre el comportamiento de la propagación de las señales inalámbricas en un medio donde existe una sobredemanda de uso del espectro radioeléctrico debido a la gran cantidad de personas que frecuentan los alrededores del lugar y de edificaciones vecinas que obstruyen la propagación de dichas señales, ya que el estudio está destinado a ser un recurso complementario para la implementación de sistemas de radio cognitiva en medios urbanamente densos.

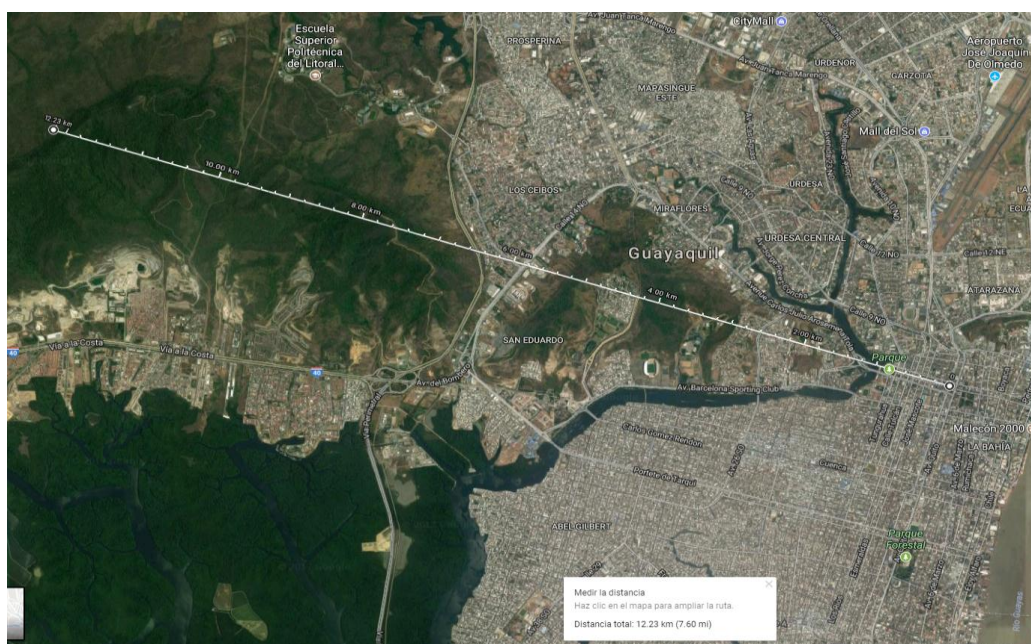
Los análisis fueron realizados en los tres pisos principales del edificio, dado a que también se busca analizar la variación de los niveles de potencia de las señales

propagadas en banda UHF-TV en pisos estratégicos que corresponderían a: planta baja, planta media y planta alta.

Las antenas transmisoras de los canales de televisión que son receptadas en la ciudad de Guayaquil están ubicadas principalmente en dos elevaciones de gran altura, los cuales son el Cerro del Carmen y el Cerro Azul, con 300 metros y 507 metros de altura respectivamente.

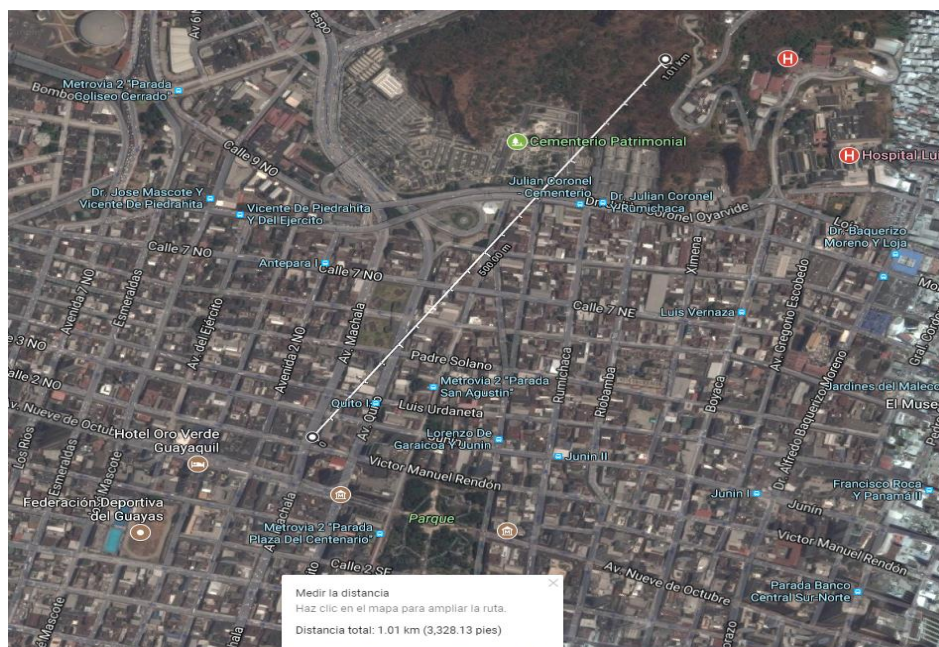
La altitud y ubicación geográfica de estos cerros permite una gran cobertura de la señal transmitida debido a que estos cerros están ubicados en polos opuestos de la ciudad. El Cerro del Carmen está ubicado en el extremo central derecho de la urbe, orillando al Río Guayas, mientras que el Cerro Azul está ubicado en el extremo central izquierdo, vía a la Costa.

En la Figura 4.3 se ilustra la distancia existente entre el lugar de análisis y el Cerro Azul, la cual es de aproximadamente 12.23 kilómetros.



**Figura 4.3 Distancia entre el Cerro Azul y el Edificio “José Inca”**

En la Figura 4.4 se muestra la distancia existente entre el lugar de análisis y el Cerro del Carmen, la cual es considerablemente menor que la distancia anterior, y corresponde a aproximadamente 1.01 kilómetros.



**Figura 4.4 Distancia entre el Cerro del Carmen y el Edificio “José Inca”**

Aparte de las distancias existentes entre las antenas transmisoras, los niveles de potencia detectados por el dispositivo RTL-SDR también dependerán del piso en los cuales estos datos sean leídos, por lo que en la Tabla 4 se detallan los valores de potencia máximos y mínimos sensados en cada piso del edificio.

PISO	VALOR MÁXIMO	VALOR MÍNIMO
1	-64,1522 dBm.	-93,1234 dBm.
2	-55,0097 dBm.	-93,4988 dBm.
3	-53,7729 dBm.	-93,5430 dBm.

**Tabla 4 Valores de Potencia Máximos y Mínimos por Piso**

En la Tabla 4 se observan los valores máximos y mínimos de los canales medidos en dBm de los tres pisos del edificio. Los valores mínimos representan el piso de

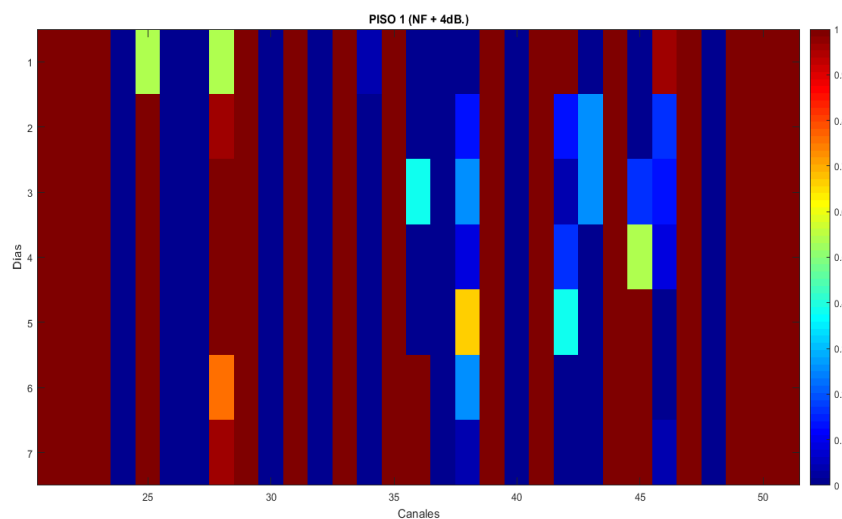
ruido del canal. A medida que va aumentando la altura o el número de pisos, los valores mínimos o el piso de ruido va disminuyendo.

#### 4.2. Gráficos de Disponibilidad de Canales Individuales

Para representar de una mejor manera la disponibilidad de canales individuales, se hace uso de un gráfico de colores para representar la probabilidad de disponibilidad de los mismos por umbral y por piso. El color rojo simboliza los canales más disponibles mientras que el color azul simboliza a los canales más ocupados.

El color de las siguientes gráficas está en función del valor del piso del ruido que existe por piso del edificio, el cual fue detallado anteriormente en el capítulo 3 (ver Tabla 3) junto con los valores adicionales que complementan el criterio de decisión de disponibilidad. Los canales con colores rojizos tienen un valor de potencia que está alrededor de los  $-90\text{dBm}$  mientras que los canales con colores azules tienen un valor de potencia que ronda los  $-75\text{dBm}$ .

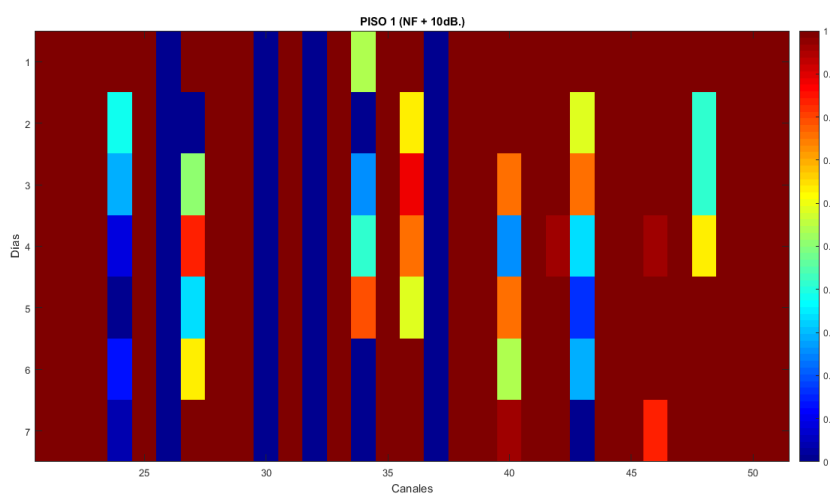
En la Figura 4.5 se muestra la disponibilidad de canales individuales pertenecientes a la banda UHF-TV medidos en el primer piso del edificio durante 7 días usando el primer umbral ( $\text{NF} + 4\text{dB}$ ).



**Figura 4.5 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 1 (NF + 4dB.)**

En la Figura 4.5, los colores rojos intensos significan canales disponibles, mientras que los colores azul intenso se interpretan como canales ocupados o no disponibles. Por ejemplo los canales 21, 22, 23, 29, 31, 33, 35, 39, 41, 44, 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponibles todo el día.

En la Figura 4.6 se muestra la disponibilidad de canales individuales que corresponden a la banda UHF-TV medidos durante 7 días en el primer piso usando el segundo umbral (NF + 10dB.).

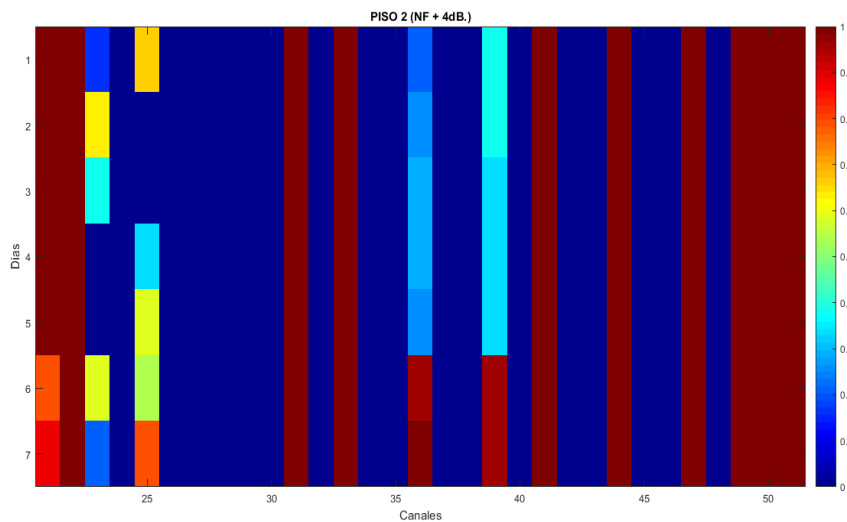


**Figura 4.6 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 1 (NF + 10dB.)**

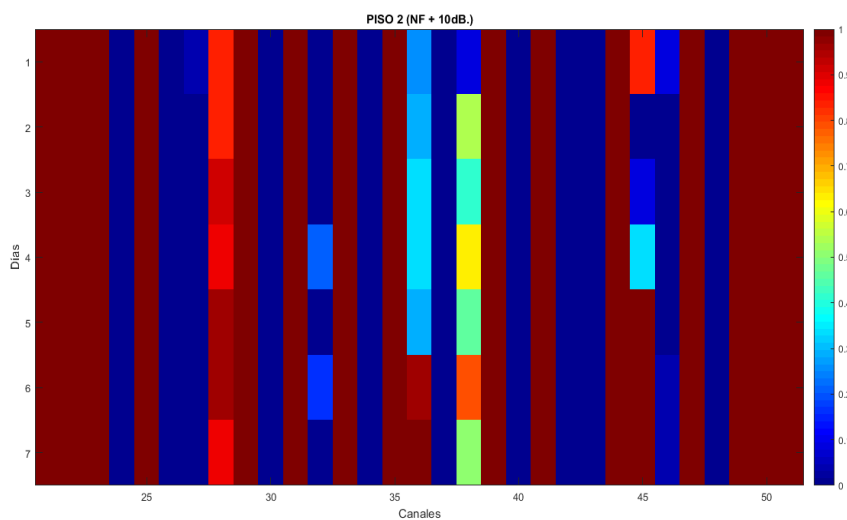
En la Figura 4.6 se puede observar como los rojos intensos han aumentado en comparación a la Figura 4.5 y esto se debe a que el umbral de referencia ha aumentado lo cual ha hecho que existan mayores canales disponibles y mayor tiempo de disponibilidad al día.

En las Figuras 4.7 y 4.8 se muestran la disponibilidad de canales individuales correspondientes al piso 2, donde se pueden apreciar una gran variación en la disponibilidad de canales debido a que este piso es cercano a la terraza, lo cual implica que las pérdidas de la señal radioeléctrica sean mucho menores con respecto al piso anterior y, por ende, haya menor disponibilidad de estos canales.





**Figura 4.7 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 2 (NF + 4dB.)**

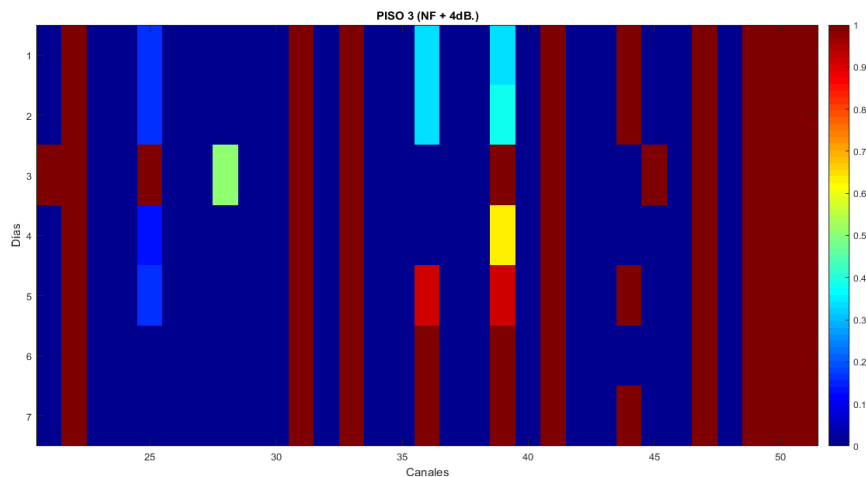


**Figura 4.8 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 2 (NF + 10dB.)**

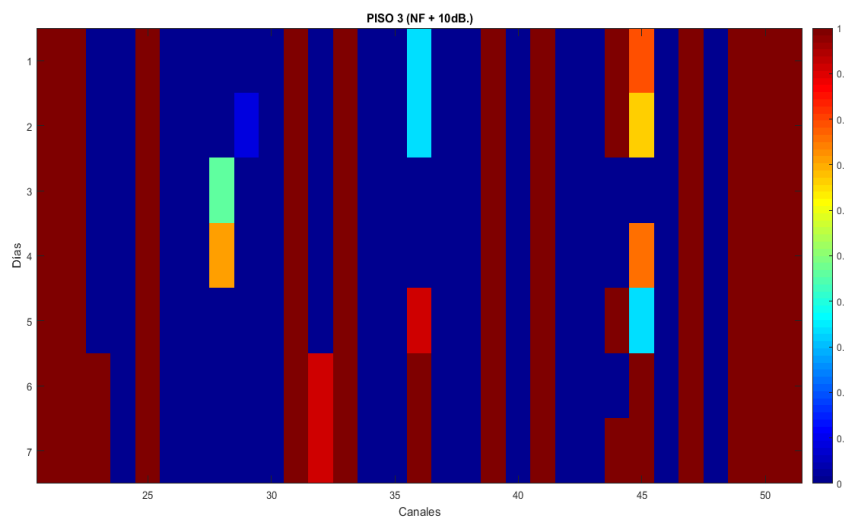
En las Figuras 4.9 y 4.10 se muestran la disponibilidad de canales individuales correspondientes al piso 3.

En estas gráficas se podrá observar que la disponibilidad general de canales en banda UHF-TV ha disminuido con respecto al piso anterior debido a que este piso

se encuentra al aire libre y la antena de recepción del RTL-SDR puede recibir de mejor manera las señales radioeléctricas, lo cual causa dicho decremento.



**Figura 4.9 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 3 (NF + 4dB.)**



**Figura 4.10 Disponibilidad de Canales Individuales del Piso 3 (NF + 10dB.)**

En las gráficas anteriormente descritas se muestra claramente que los tres últimos canales de la banda UHF-TV siempre están disponibles, sin importar el tipo de umbral que se use; esto se refleja en el patrón amplio de color rojo que está presente en el extremo derecho de todas las gráficas.

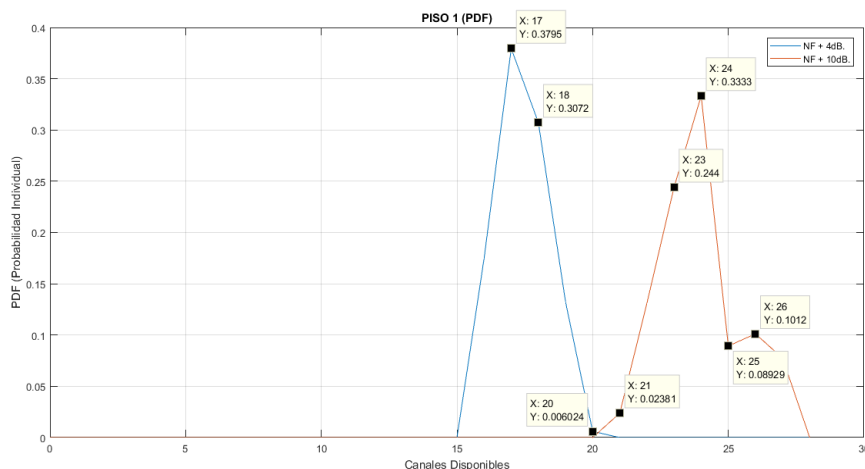
También existen ciertos canales que detienen su operación los fines de semana, esto es reflejado en la coloración mayor de niveles rojos presentes en los días 6 y 7, por lo que esto indica que existe una mayor disponibilidad de canales a nivel general los fines de semana.

### 4.3. Gráficos de Disponibilidad de Canales Totales

Para representar la probabilidad de disponibilidad de canales totales, se hace uso de gráficos lineales, los cuales describirán el comportamiento probabilístico de dicha disponibilidad.

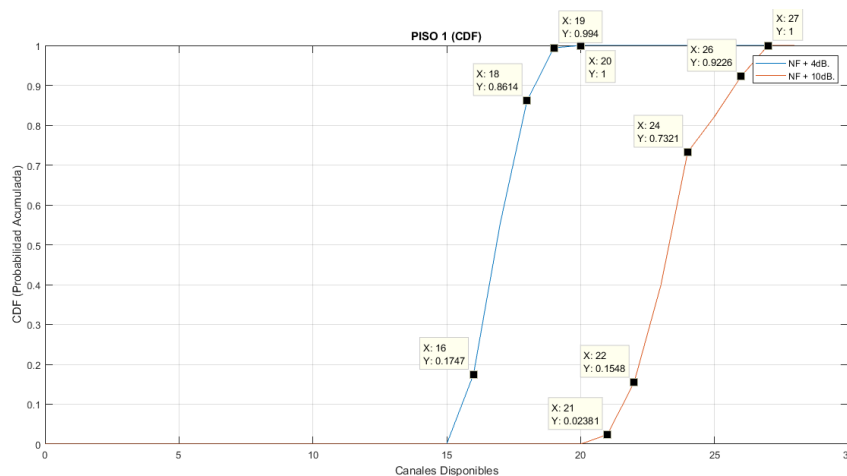
Tal como se explicó en el capítulo 3, se busca graficar la función densidad de probabilidad (PDF) y la función de probabilidad acumulada (CDF) para mostrar estas disponibilidades, los cuales serán debidamente ilustrados en esta sección.

En la Figura 4.11 se muestra la distribución de probabilidad individual de disponibilidad de canales totales en el piso 1 con los dos diferentes umbrales, en el cual se puede ver que existe una disponibilidad general de entre 17 y 24 canales totales respecto a los 30 canales de televisión que posee la banda UHF-TV.



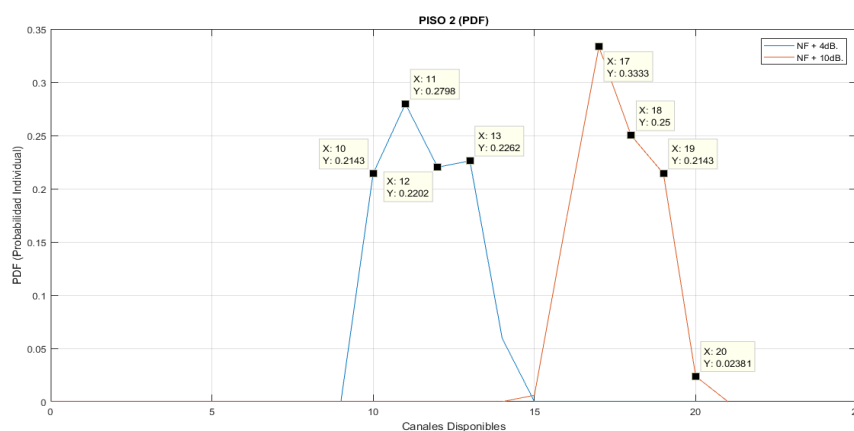
**Figura 4.11 PDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 1**

En la Figura 4.12 se muestra la distribución de probabilidad acumulada de disponibilidad de canales totales del piso 1 con los dos diferentes umbrales. En esta gráfica se puede observar que la disponibilidad alcanza sus valores máximos a partir de los 20 canales, es decir que existirá una disponibilidad general aproximada de 20 canales dentro de la banda UHF-TV en el piso 1.



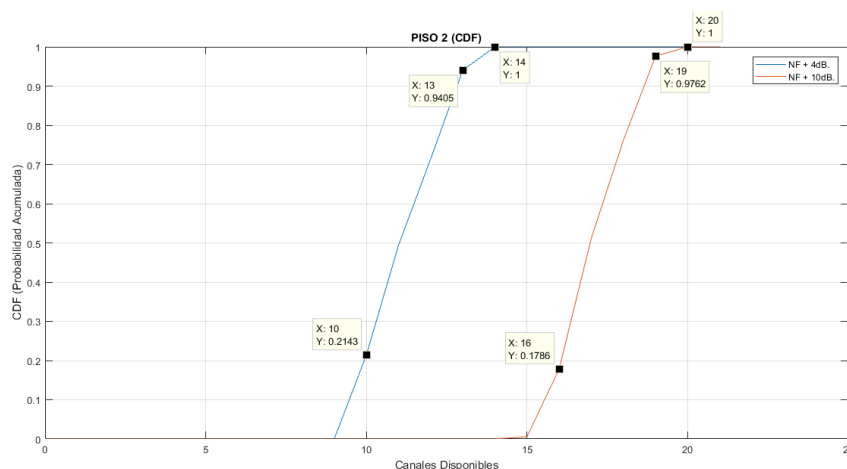
**Figura 4.12 CDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 1**

En la Figura 4.13 se muestra la distribución de probabilidad individual de disponibilidad de canales totales del piso 2 con los dos diferentes umbrales, en el cual se observa que existe una disponibilidad general de entre 11 y 17 canales respecto a los 30 canales de televisión que posee la banda UHF-TV.



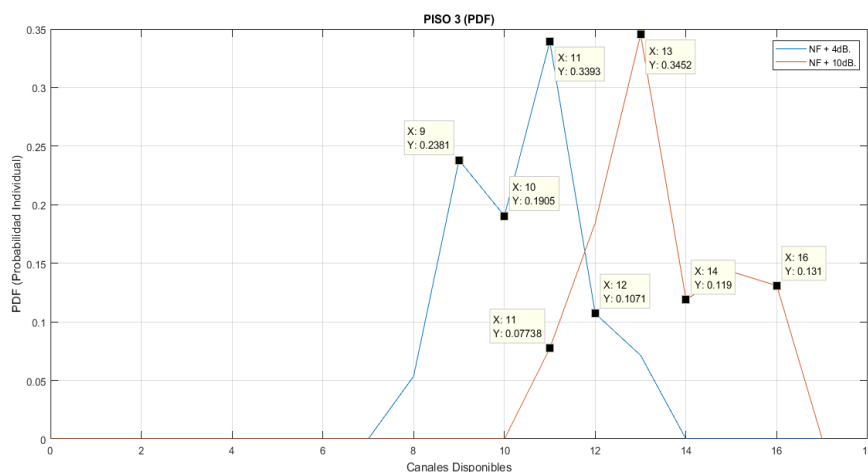
**Figura 4.13 PDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 2**

En la Figura 4.14 se muestra la distribución de probabilidad acumulada de disponibilidad de canales totales del piso 2 con los dos diferentes umbrales, en donde se aprecia que la disponibilidad alcanza sus valores máximos a partir de los 15 canales y cuya forma de gráfica se asemeja mucho a una CDF de una distribución normal.



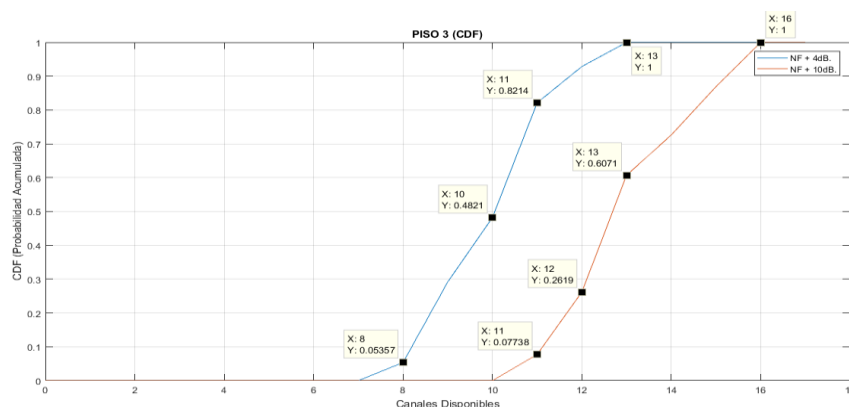
**Figura 4.14 CDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 2**

En la Figura 4.15 se muestra la distribución de probabilidad individual de disponibilidad de canales totales del piso 3 con los dos diferentes umbrales, en el cual se observa que existe una disponibilidad general de entre 11 y 13 canales respecto a los 30 canales de televisión que posee la banda UHF-TV.



**Figura 4.15 PDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 3**

En la Figura 4.16 se muestra la distribución de probabilidad acumulada de disponibilidad de canales totales del piso 3 con los dos diferentes umbrales, en donde se puede observar que la disponibilidad alcanza sus valores máximos a partir de los 13 canales, a su vez que también dicha gráfica se asemeja mucho a una CDF de una distribución normal.



**Figura 4.16 CDF de la Disponibilidad de Canales Totales en el Piso 3**

En las gráficas anteriores se pudo observar el comportamiento decreciente que tiene la existencia de canales disponibles por piso. Mientras el piso se encuentre a mayor altura, la disponibilidad de canales totales será menor debido a la mejor calidad de recepción de señal en lugares altos.

En la Tabla 5 se muestra la relación de disponibilidad máxima existente entre los canales disponibles por piso con respecto al total de canales asignados para operar en la banda UHF-TV, en la cual se puede apreciar que siempre existirá una mayor disponibilidad de las mismas en los pisos bajos de cualquier edificio

PISO	CANALES DISPONIBLES		PORCENTAJE DE DISPONIBILIDAD RESPECTO AL TOTAL DE CANALES ASIGNADOS EN UHF-TV		FRECUENCIA DE DISPONIBILIDAD MÁXIMA DE CANALES	
	NF + 4dB.	NF + 10dB.	NF + 4dB.	NF + 10dB.	NF + 4dB.	NF + 10dB.
	1	17	24	56,67%	80,00%	37,95%
2	11	17	36,67%	56,67%	27,98%	33,33%
3	11	13	36,67%	43,33%	33,93%	34,52%

**Tabla 5 Relación de Disponibilidad Máxima entre Canales Disponibles por Piso respecto al Total de Canales Asignados en UHF-TV**

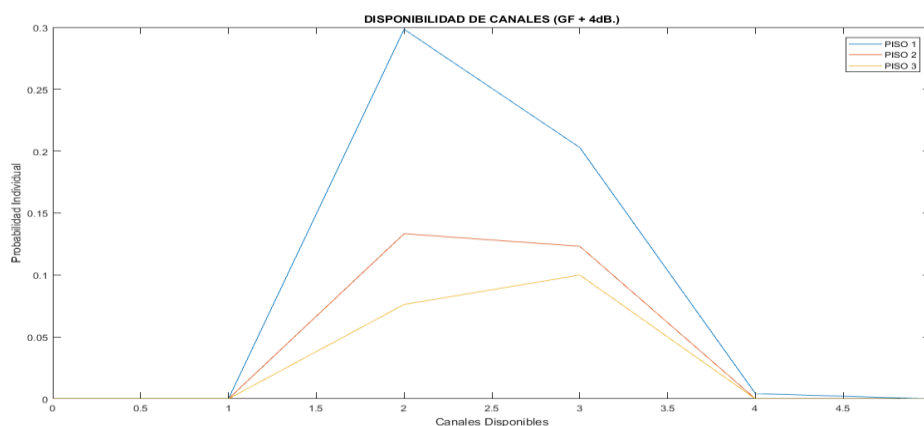
En el piso 1, se encuentra un porcentaje de disponibilidad de canales de entre un 56,67% a 80% durante un 37,95% o 33,33% del tiempo total de medición, lo cual indica que se tendrá una amplia disponibilidad de canales en este piso durante un tercio de todo el tiempo aproximadamente. En el piso 2 se encuentra un porcentaje de disponibilidad de canales de entre un 36,67% a 56,67% durante un 33,33% o 27,98% del tiempo total de medición, lo que indica que se tendrá una disponibilidad regular de canales en este piso durante un tercio de todo el tiempo aproximadamente. En el piso 3, los porcentajes de disponibilidad de canales varían muy poco respecto al piso 2 ya que solo se reduce el margen de disponibilidad de estos canales, mientras que la frecuencia de disponibilidad sigue siendo de un tercio durante todo el tiempo al igual que en los pisos anteriores.

#### 4.4. Gráficos de Disponibilidad de Canales Conjuntos

Para representar la probabilidad de disponibilidad de canales conjuntos, se volverá a hacer uso de las gráficas de distribución de probabilidad individual y acumulada, los cuales permitirán ver el comportamiento probabilístico de esta

disponibilidad, la cual es muy importante debido a que a través de ellas se verá que tan factible es transmitir alguna de las tecnologías inalámbricas detalladas anteriormente en la Tabla 4.

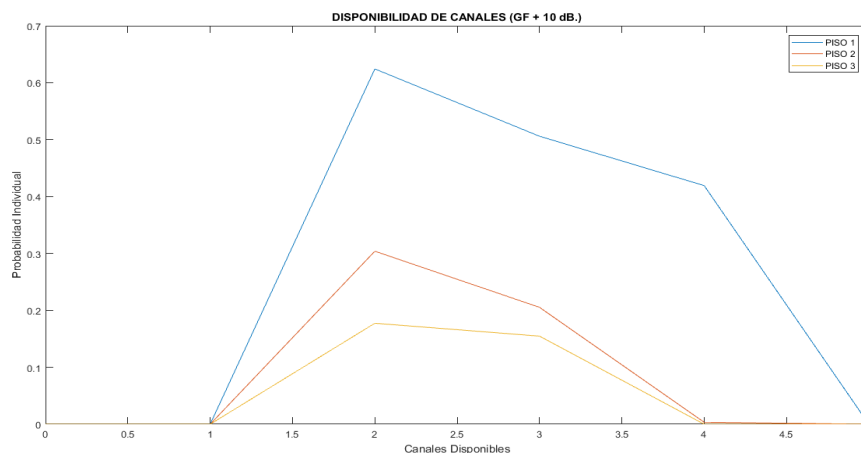
En la Figura 4.17 se observa la distribución de probabilidad individual de la disponibilidad de canales conjuntos por piso usando el primer umbral, el cual indica que existirá una mayor probabilidad de encontrar entre 2 y 3 canales conjuntos aplicando el primer criterio de decisión ( $NF + 4dB$ ).



**Figura 4.17 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos (NF + 4dB.)**

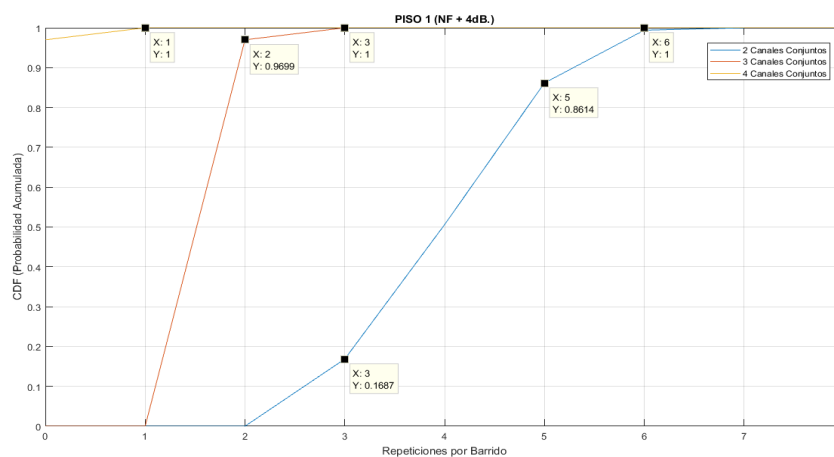
En la Figura 4.18 se aprecia la distribución de probabilidad individual de la disponibilidad de canales conjuntos por piso usando el segundo umbral, el cual muestra un incremento de probabilidad de canales conjuntos disponibles respecto al umbral anterior, encontrándose con este criterio de decisión desde 2 hasta 4 canales conjuntos.



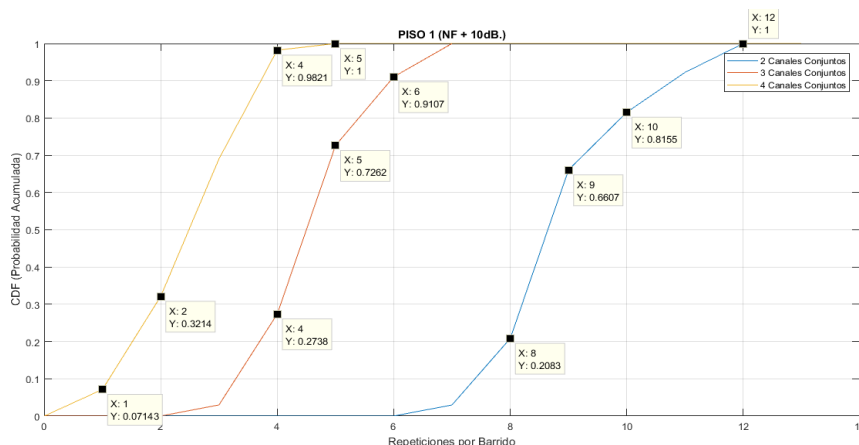


**Figura 4.18 PDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos (NF + 10dB.)**

En las Figuras 4.19 y 4.20 se muestran las distribuciones de probabilidad acumulada de la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos en el primer piso usando los dos umbrales de decisión, los cuales muestran una disponibilidad moderada de dichos canales conjuntos al ser este piso el que tiene la mayor probabilidad de disponibilidad general de canales según los resultados anteriormente mostrados.

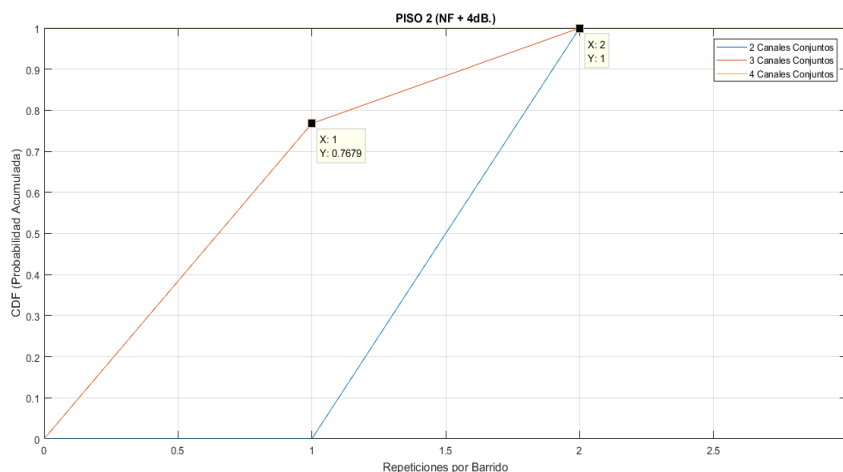


**Figura 4.19 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 1 (NF + 4dB.)**

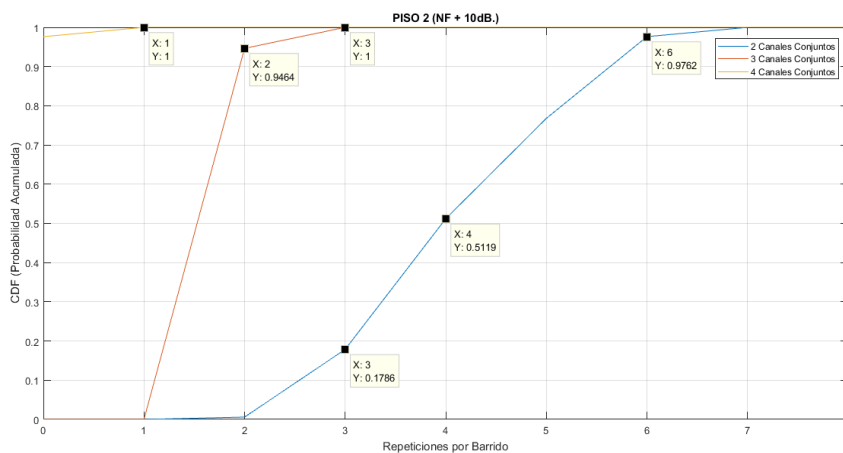


**Figura 4.20 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 1 (NF + 10dB.)**

En las Figuras 4.21 y 4.22 se observan las distribuciones de probabilidad acumulada de la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos en el segundo piso usando los dos umbrales de decisión. En este piso se puede apreciar que la disponibilidad de 4 canales conjuntos es casi nula, por lo que en este medio solo sería factible la transmisión de tecnologías inalámbricas que usen un ancho de banda de hasta 18 MHz.

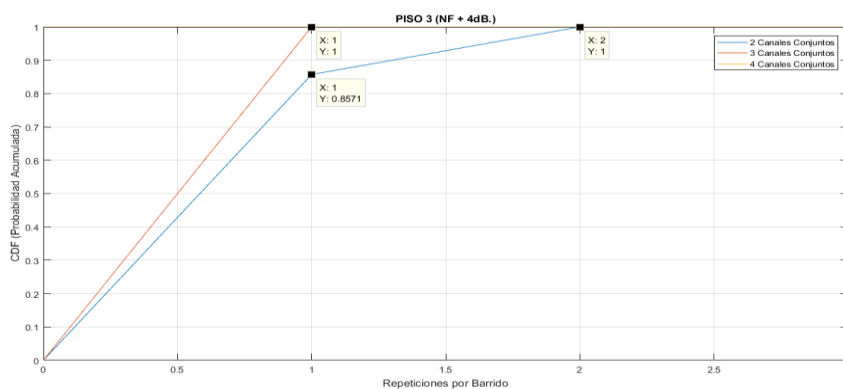


**Figura 4.21 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 2 (NF + 4dB.)**



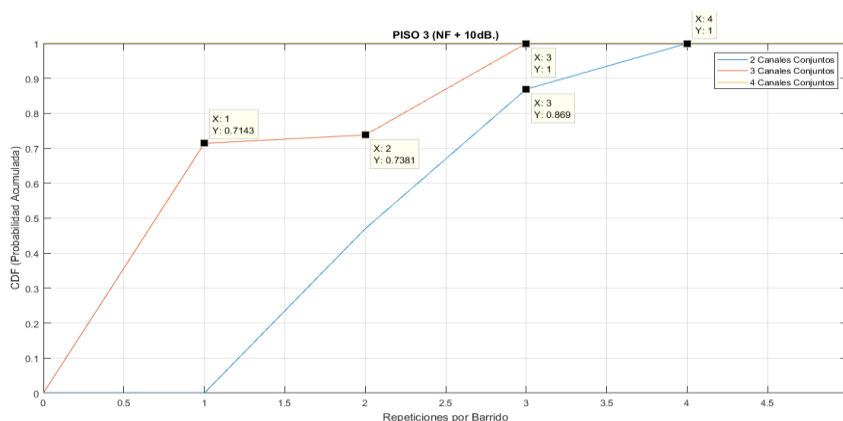
**Figura 4.22 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 2 (NF + 10dB.)**

En las Figuras 4.23 y 4.24 se muestran las distribuciones de probabilidad acumulada de la disponibilidad de 2, 3 y 4 canales conjuntos en el tercer piso usando los dos umbrales de decisión. En este piso se observa que la disponibilidad de canales conjuntos en general es mínima debido a los bajos valores de repetición por barrido de dichos canales conjuntos. Esto se refleja mejor en las gráficas mostradas en la sección 4.2, las cuales indican una baja disponibilidad de canales de televisión con cualquiera de los dos umbrales.



**Figura 4.23 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 3 (NF + 4dB.)**

En la Figura 4.23 se observa que el máximo valor que se encuentran disponibles pares de canales conjuntos es 2 tomando de referencia (NF+4dB), para triadas de canales conjuntos el número máximo es 1 y para cuartetos de canales conjuntos no se encuentran disponibles. La curva azul representa la probabilidad de encontrar 2 canales conjuntos disponibles, mientras que la curva roja representa la probabilidad de encontrar 3 canales conjuntos disponibles.



**Figura 4.24 CDF de la Disponibilidad de Canales Conjuntos del Piso 3 (NF + 10dB.)**

En la Figura 4.24 se observa que el máximo valor que se encuentran disponibles pares de canales conjuntos es 4 tomando de referencia (NF+10dB), para triadas de canales conjuntos el número máximo es 3 y para cuartetos de canales conjuntos no se encuentran disponibles pero se diferencia de la Figura 4.23 que el umbral de referencia ha subido por lo tanto los valores máximos de canales conjuntos disponibles también han subido como se observa.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con respecto al objetivo general de dicho trabajo, se concluye que efectivamente se ha podido demostrar que existe disponibilidad de canales en la banda UHF-TV dentro de un edificio localizado en una zona urbanamente densa.

Se concluye que en el edificio “Marketing y proyectos José Inca” ubicado en principales arterias de la urbe de Guayaquil, si existe disponibilidad de canales tanto individuales, como disponibilidad de canales conjuntos o continuos, es decir que es recomendable para el uso e implementación de sistemas basado en OSA

Se concluye que la planta baja es el lugar más idóneo para un posible despliegue de nuevos sistemas inalámbricos debido a la baja recepción de los niveles de potencia de los canales.

A medida que disminuye la altura en donde se recepta la señal, también disminuyen los niveles de potencia de la señal de televisión por lo tanto se concluye que, en el tercer piso o piso más alto, se encuentra la mayor recepción de señales ya que los niveles de potencia receptados son muy altos.

Existe aproximadamente 10 dB de diferencia de los niveles receptados entre el tercer piso y segundo piso, pero hay una diferencia de 2 dB entre el segundo y primer piso analizado, lo que se concluye que en el primer piso existe bastante pérdida de potencia debido a la gran cantidad de obstáculos que se encuentra en aquel lugar. Por otra parte, la diferencia de los niveles de ruido entre el tercer y segundo piso es de 0.37 dB aproximadamente, mientras que entre el segundo y primer piso es apenas de 0.05 dB.

Se concluye que, al aumentar el umbral de referencia para la toma de disponibilidad, aumenta el número de canales disponibles, pero sin embargo disminuye la probabilidad de ocurrencia. Cabe recalcar que, si se aumenta el umbral de referencia, podrían existir casos donde el nivel de potencia de transmisión de los usuarios secundarios pueda afectar o interferir en los niveles de recepción de los usuarios primarios.

Se concluye que, en la banda UHF existen canales analógicos, canales digitales y canales en donde todavía no se le ha asignado operador alguno que transmita señales de televisión. Los niveles de potencia de recepción varían según la distancia en que se encuentre la estación base de televisión y de los niveles de potencia de transmisión que éste último utilice. Además, se concluye que los niveles más altos de recepción dentro del edificio de estudio, se encuentran en el piso más alto, y que a medida que se va bajando de piso, también se van reduciendo los niveles de recepción debido a la pérdida que existen en el traspaso de las señales a través de las paredes, puertas, pisos y objetos que se encuentre en el camino.

Se concluye que el ancho de banda de un solo canal de televisión en el Ecuador ya sea analógico o digital es de 6 MHz, por lo tanto, por un canal de tv que esté disponible se podrá a través de la radio cognitiva transmitir otras tecnologías inalámbricas como GSM y UMTS que tienen un ancho de banda menor al de televisión. Si se encuentran disponibles 2 canales conjuntos o continuos, representaría 12 MHz de ancho de banda para poder transmitir otras tecnologías. Si se agrupan en triadas de canales, se llega a tener un ancho de banda de 18 MHz para transmitir, pero si se agrupa de 4 canales conjuntos, se llega a obtener un ancho de banda de 24 MHz. Por lo tanto, con una disponibilidad de 4 canales conjuntos se puede transmitir la tecnología WIFI que posee aproximadamente 20 a 22 MHz de banda ancha.

Se concluye que los resultados obtenidos del presente trabajo han demostrado que existe disponibilidad espectral para la posterior implementación de Sistemas basados en OSA por lo cual se recomienda que en dichas instalaciones si es factible el uso de técnicas DSA y radio cognitiva y sirve como modelo para posteriores investigaciones, estudios y diseños de sistemas basados con OSA.

Para una mejor toma de datos, se recomienda poner al dispositivo de medición RTL en un ambiente fresco para evitar altas temperaturas y daños en los componentes electrónicos internos del RTL.

Para estos estudios de medición espectral con fines de implementación de sistemas OSA, la banda más idónea para dicho trabajo, es la banda de UHF de televisión ya

que las características físicas de sus ondas electromagnéticas permiten mayor alcance de transmisión pudiendo penetrar lugares cerrados.

En el momento de analizar toda la banda, se debe hacer un previo reconocimiento para identificar los canales analógicos y canales digitales, ya que tienen diferentes procesos para ser tratados. A los canales analógicos se toma la potencia pico de la portadora de video, mientras que en los canales digitales se calcula el promedio de todos los valores medidos en dicho canal.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Huidobro. "Identificación de white spaces en la Banda de Televisión para la Futura Implementación de Redes de Radio Cognitiva", Tesis, Ing. Telecomunicaciones, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, julio, 2011.
- [2] C. Cullell March. "La Política del Espectro Radioeléctrico en la Unión Europea: la Armonización del Dividendo Digital en el Reino Unido y España", Tesis de Doctorado, Fac. Ciencias de la comunicación, Universidad Internacional de Cataluña, Barcelona, España, marzo 2010.
- [3] Ericsson. "Ericsson Mobility Report", EAB-17:005964 Uen, Revision B, © Ericsson AB 2017, SE-164 80 Stockholm, Sweden, junio, 2017.
- [4] A. Goldsmith. "Overview of Wireless Communications", de Wireless Communications, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [5] D. Evans. "Internet de las cosas: Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo", Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), San José, CA, Abril, 2011.
- [6] F. Novillo, J. Gómez, W. Medina. "Channel Availability Characterization in TV bands for OSA Devices Inside Buildings". IEEE Latin America Transactions, vol. 14, nº 6, pp. 2592-2597, Junio, 2016.
- [7] ANE.(2017, abril 17).Disponibilidad del espectro. [En línea]. Available: <https://www.ane.gov.co/index.php/disponibilidad-del-espectro>. [Último acceso: 19 octubre 2017].
- [8] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee, M. C. Vuran, S. Mohanty. "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey", Computer Networks, vol. 50, pp. 2127-2159, 2006.



- [9] J. A. Aviléz y M. J. Ramírez. "Medición espectral y análisis de la disponibilidad de canales en la banda FM (88.3-107.3 MHz) y modelamiento estadístico para el posible uso de dispositivos con acceso oportunista al espectro en un edificio en el centro de la ciudad de Guayaquil", Tesis, Fiec, Espol, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [10] A. B. Brando, C. E. Nivelá. "Medición espectral y análisis de la disponibilidad de canales en la banda de 1900 MHz, tecnología 3g (1865-197MHz), y modelamiento estadístico para el posible uso de dispositivos con acceso oportunista al espectro en un edificio en el norte de la ciudad", Tesis, Fiec, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2016.
- [11] J. G. García, G. W. González. "Medición espectral para el análisis de la disponibilidad de canales en la banda ISM de Wi-Fi (2400 – 2484 MHz) para modelar el uso potencial de dispositivos con acceso oportunista al espectro al norte de la ciudad de Guayaquil en la torre a del WTC", Tesis, Fiec, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [12] P. J. L. Gómez. "Modelado de la disponibilidad de canales de la banda UHF-TV para el uso potencial de sistemas con acceso oportunista al espectro (OSA) en una zona urbana", Tesis de Maestría, Fiec, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 2015.
- [13] M. Matinmikko, M. Mustonen, H. Sarvanko, M. Höyhty, A. Hekkala, "A motivating overview of cognitive radio: Foundations, regulatory issues and key concepts", de Cognitive Radio and Advanced Spectrum Management, 2008. CogART 2008. First International Workshop on, Aalborg, Denmark, Feb. 2008.
- [14] ARCOTEL. Plan Nacional de Frecuencias Ecuador, Quito: Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones, 2012.
- [15] A. Galvis. "Acceso dinámico al espectro: estado actual, tendencias y retos", Entre Ciencia e Ingeniería, ISSN 1909-8367, vol. 2, nº 4, pp. 38-57, 2008.

- [16] Q. Zhao, A. Swami. "A survey of dynamic spectrum access: Signal processing and networking perspectives", de Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. IEEE International Conference on, California, ©2007 IEEE University of California, 2007, pp. 1349-1352.
- [17] Q. Zhao, B. M. Sadler. "A Survey of Dynamic Spectrum Access", IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, vol. 24, nº 3, pp. 73-89, MAY 2007.
- [18] ARCOTEL. Reglamento general a la ley de telecomunicaciones, Quito: Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones, 2001.
- [19] ARCOTEL. Plan Maestro de Transición a la Televisión Terrestre, QUITO, 2012.
- [20] C. Vega. "Introducción a los Sistemas Transmisores de TV", de Transmisión de televisión, ©Constantino Pérez Vega, 2005, pp. 1-35.
- [21] D. J. León. "Características y Funcionalidades de la Televisión Digital para ser aplicadas en el Ecuador", Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- [22] A. Fanan, N. Riley, M. Mehdawi, M. Ammar, M. Zolfaghari. "Comparison of Spectrum Occupancy Measurements", de Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 2015 23rd, Belgrade, Serbia, November 24-26, 2015.