



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

“DISEÑO DE UNA INTERFACE VIRTUAL (VI) USANDO LABVIEW Y  
DE ALGORITMOS QUE UTILICEN UN DISPOSITIVO RTL-SDR  
PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD ESPECTRAL DE  
CANALES INDIVIDUALES Y EN CONJUNTO DE RADIODIFUSIÓN  
TV, DE LA BANDA UHF, EN EL EDIFICIO EQUILIBRIUM DE  
GUAYAQUIL”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

ÁNGEL ANDRES DAQUILEMA SERRANO  
ISRAEL MOISÉS MENDOZA ANGAMARCA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a Dios, por permitirme cumplir un objetivo más en mi proyecto de vida.

A mis padres, por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, enseñarme que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue.

A mi hermano, por haberme ayudado desde el colegio hasta ahora en la Universidad en mis proyectos académicos.

A mis abuelos, por haberme brindado con sus consejos un gran respaldo anímico para terminar mis estudios universitarios.

A mis compañeros de clase, con los que he vivido y compartido grandes momentos.

A mis profesores, por transmitirme sus diversos conocimientos y anécdotas de la vida laboral.

A mis tíos Luis, Isidro, María y Mario que con sus conocimientos profesionales me ayudaron en los diversos campos académicos en mi vida universitaria.

A todas aquellas personas que siguen cerca de mí y que le regalan a mi vida un poco de ellos.

Ángel Daquilema Serrano

## DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Ángel y Marcelina, porque ellos con sus consejos, su paciencia, su apoyo incondicional me motivaron y me dieron esa fuerza anímica para lograr cumplir este objetivo en mi proyecto de vida.

A mi hermano Miguel, que me ayudó con su tiempo y conocimientos en mis proyectos académicos.

A mis abuelos, que son mi inspiración para cumplir cada objetivo en mi proyecto de vida.

A mi mascota Beethoven, que con su alegría y compañía estuvo presente durante toda mi vida universitaria y fue parte de mi motivación para terminar esta tesis.

Ángel Daquilema Serrano

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

**Washington Adolfo Medina Moreira**

PROFESOR EVALUADOR

**Miguel Giovanni Molina Villacís**

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"

.....  
Ángel Daquilema Serrano

.....  
Israel Mendoza Angamarca

## RESUMEN

En este estudio se analizará la ocupación espectral de la banda UHF-TV en un edificio ubicado en la ciudad de Guayaquil. Para eso se utilizará un dispositivo de medición llamado RTL-SDR, con un código y una configuración establecida en Matlab se medirá los niveles de potencia de recepción de 30 canales de televisión desde la frecuencia 512 MHz hasta la 698 MHz, esto se lo hará durante una semana por piso.

Una vez obtenido las mediciones de potencia, se procederá al tratamiento de dichos datos, la cual se harán en Excel y Matlab. Este estudio tiene dos enfoques, el primero es encontrar la probabilidad de disponibilidad de canales individuales y el segundo es encontrar la probabilidad de disponibilidad de canales conjuntos o continuos con el fin de obtener mayores anchos de banda para transmitir otras tecnologías con un ancho de banda más amplio como es el caso de WIFI.

El reporte del trabajo se ha dividido en cuatro capítulos. En el primer capítulo se presenta y se describe la problemática que actualmente se vive en el mundo de las telecomunicaciones junto a los objetivos de trabajo del estudio. Luego en el segundo, se describe ciertos estudios relacionados a esta investigación, como mediciones de bandas espectrales como la de FM, 3G, WIFI y TV, usando analizadores de espectros, RTL y URSP. En el tercer capítulo, se detalla la metodología que se usará para la obtención de los datos y para el procesamiento de datos

En el último capítulo se mostrarán las gráficas de colores y gráficos estadísticos, donde mostrarán los resultados del análisis para luego al final poder concluir si el trabajo existe o no existe, es recomendable o no el uso de sistemas de radio cognitiva o dispositivos que se basen el método de acceso oportunista al espectro.

## 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 y Marco Legal .....	1
1.2 Descripción del problema .....	4
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1. Objetivo general .....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4 Justificación .....	6
1.5 Metodología.....	7
1.6 Alcance.....	8
CAPÍTULO 2.....	9
2 ESTADO DEL ARTE. ....	9
2.1 Estudios realizados con Radio Definido por Software .....	9
2.2 Espectro radioeléctrico .....	10

2.2.1. Canalización del espectro en la banda UHF televisiva en el Ecuador .....	11
2.3 Parámetros y Normas Técnicas .....	12
2.3.1. Señales analógicas .....	12
2.3.2. Señales digitales .....	14
2.3.3. Ancho de Banda.....	15
2.3.4. Potencia efectiva radiada .....	16
2.3.5. Modelo de pérdida de camino para interiores .....	16
CAPÍTULO 3.....	18
3 ESCENARIO Y METODOLOGÍA. ....	18
3.1 Descripción General .....	18
3.2 Descripción del lugar de trabajo o escenario.....	19
3.3 Pasos para el Análisis y Evaluación de la disponibilidad del espectro de la Banda UHF de Televisión .....	21
3.3.1 Medición.....	22
3.3.2 Modelamiento.....	24
CAPÍTULO 4.....	25
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS. ....	25
4.1 Gráficos de niveles de potencia.....	25
4.2 Disponibilidad de canales individuales .....	26
4.3 Gráficos estadísticos .....	30
4.4 Disponibilidad de canales conjuntos.....	33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 División del espectro radioeléctrico. [10].....	10
Tabla 2 Canalización de las bandas IV y V [10].....	11
Tabla 3 Modelo de Interiores JTC [12].....	17

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Número de estaciones para televisión abierta UHF [5].....	3
Figura 2.1 Gráfica de la señal analógica [12].....	13
Figura 2.2 Gráfica de la señal digital [11].....	14
Figura 2.3 Ancho de banda de una señal [14] .....	15
Figura 3.1 Diseño de adquisición de datos .....	19
Figura 3.2 Vista Frontal del Edificio Equilibrium.....	19
Figura 3.3 Vista Satelital del Edificio Equilibrium .....	20
Figura 3.4 Pasos para el análisis del espectro UHF .....	21
Figura 3.5 Dispositivo RTL.SDR .....	22
Figura 3.6 Pasos para detección de señal.....	23
Figura 4.1 Niveles de potencia en la planta alta .....	25
Figura 4.2 Niveles de potencia en la planta baja .....	26
Figura 4.3 Disponibilidad de canales +4dB Planta baja.....	27
Figura 4.4 Disponibilidad de canales +10dB Planta baja .....	28
Figura 4.5 Disponibilidad de canales +4dB Planta alta .....	29
Figura 4.6 Disponibilidad de canales +10dB Planta alta.....	30
Figura 4.7 PDF Disponibilidad de canales Planta baja .....	30
Figura 4.8 CDF Disponibilidad de canales Planta baja .....	31
Figura 4.9 CDF Disponibilidad de canales +4dB .....	32
Figura 4.10 PDF Disponibilidad de canales +4dB.....	32
Figura 4.11 CDF Disponibilidad de canales conjuntos +4dB Planta baja .....	33
Figura 4.12 CDF Disponibilidad de canales conjuntos +10dB Planta baja ...	34
Figura 4.13 CDF Disponibilidad de canales conjuntos +4dB Planta alta .....	35

# CAPÍTULO 1

## 1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

### 1.1 Antecedentes y Marco Legal

El rápido crecimiento de la demanda de servicios de comunicación en el mundo, impulsado por la tendencia hacia una sociedad apoyada en la información, puede conducir a una grave escasez del espectro disponible, a menos que se tomen medidas para la gestión eficiente de dicho espectro a nivel nacional, regional e internacional. Dado que el espectro de frecuencias es un recurso limitado, el crecimiento requerido deberá alcanzarse a través de una utilización eficaz del espectro disponible [1]

En el Ecuador el constante desarrollo y crecimiento de los sistemas de telecomunicaciones inalámbricos y sus tecnologías, junto con el crecimiento de la demanda de los usuarios, han llevado a una mayor explotación de las redes inalámbricas, requiriendo cada vez un mayor uso del espectro radioeléctrico como medio de comunicación, produciendo una grave escasez del espectro disponible. Es por eso que se necesita implementar una política de utilización eficaz del espectro radioeléctrico disponible.

La UIT como ente máximo regulador de las telecomunicaciones, en la cumbre mundial de sociedad de información creó diez objetivos entre los cuales está: “Asegurar que todos los habitantes del mundo tengan acceso a servicios de televisión y radio.” [1]

Todos los estados miembros de la UIT deben garantizar el acceso a servicios de radio y televisión, sin embargo, el uso de la televisión en la banda UHF está causando problemas de interferencia en varios países del mundo. Lo cual ha llevado a la UIT a intervenir realizando reuniones con los países miembros para poder solucionar este inconveniente.

En junio del 2016 la UIT realizó la 1era “Reunión Regional de Coordinación de Frecuencias” para debatir el uso de las bandas de ondas decimétricas UHF (470-806) MHz, mencionando lo siguiente:

“Esta reunión regional de coordinación de frecuencias estuvo destinada a facilitar los procesos de transición de la televisión analógica a la digital (TDT) y de atribución del dividendo digital, teniendo en cuenta las grandes distancias de separación que se requieren para garantizar la compatibilidad mutua entre las estaciones de radiodifusión y las móviles en las bandas de ondas métricas y decimétricas. El objetivo global es garantizar la explotación compatible para ambas, y así evitar que se produzcan situaciones de interferencia perjudicial que, en otro caso, podrían extenderse varios cientos de kilómetros en el territorio de los países implicados. “ [2]

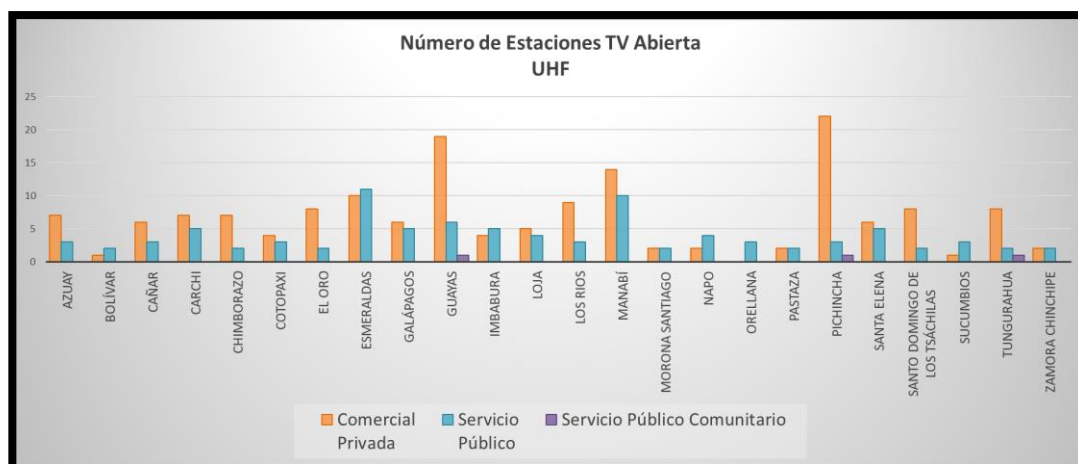
Es por esta razón que se debe implementar la televisión digital terrestre lo antes posible para desocupar frecuencias como las de la televisión UHF que en la actualidad crean interferencias con otros servicios.

La UIT en el manual de comprobación técnica del espectro menciona: “La gestión del espectro es la combinación de procedimientos administrativos, científicos y técnicos necesarios para garantizar una explotación eficaz del equipo y los servicios de radiocomunicación sin producir interferencia.” [3]

Al existir varias tecnologías y servicios inalámbricos funcionando al mismo tiempo, se ha evidenciado un congestionamiento e interferencias en algunas bandas, por lo cual es notorio que existe un uso poco eficiente del espectro radioeléctrico.

En el Ecuador existen reglamentaciones vigentes como la Ley Orgánica de Comunicación, que en su artículo 106 sobre la redistribución de frecuencias equitativamente menciona: “Las frecuencias del espectro radioeléctrico destinadas al funcionamiento de estaciones de radio y televisión de señal abierta se distribuirán equitativamente en tres partes, reservando el 33% de estas frecuencias para la operación de medios públicos, el 33% para la operación de medios privados, y 34% para la operación de medios comunitarios”. [4] Segmentando aún más el espectro radioeléctrico disponible.

Según la Arcotel la mayoría de las estaciones de TV abierta UHF en Ecuador pertenecen al sector comercial privado, como se muestra en la Figura 1.1.



**Figura 1.1 Número de estaciones para televisión abierta UHF [5]**

De la Figura 1.1 se observa el número de estaciones de televisión abierta UHF existentes en cada provincia del Ecuador que están dedicadas al servicio público, comercial privada y servicio público comunitario, en donde en Guayas y Pichincha se encuentra la mayor concentración de estaciones para el servicio comercial privado y además se aprecia que la menor cantidad de estaciones son las del servicio público comunitario. Por lo cual el 34% del espectro destinado para radio y televisión no estaría utilizándose correctamente.

El espectro radioeléctrico se define, desde un punto de vista técnico, como “el conjunto de ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio sin necesidad de guía artificial”. Dichas ondas electromagnéticas se caracterizan por su frecuencia y su potencia (energía), lo que condiciona su modo de propagación y les confiere propiedades distintas. [6]

A cada frecuencia de señal que se propague, le corresponde una atenuación propia. La atenuación produce que, a medida que la señal se propaga en el espacio, pierde parte de su potencia debido a que las ondas electromagnéticas se llegan a dispersar y se reduce la densidad de potencia, lo que hace inviable la comunicación a grandes distancias. Por supuesto, todo ello sin perjuicio de que, a mayor potencia de emisión, se logre mayor alcance y mayor cobertura.

En cualquier caso, el hecho de que la atenuación varíe con la frecuencia de la señal implica que, para una misma potencia de transmisión, la distancia a la que llega la señal de forma viable para la comunicación será diferente en función de la frecuencia, a menor frecuencia se tiene menor atenuación y, por tanto, mayor distancia de cobertura, aunque dicha relación no es lineal y está influida por muchos otros factores, debido a que en frecuencias bajas se tiene una menor atenuación de las ondas electromagnéticas al atravesar cuerpos sólidos, lo que les permite atravesar paredes y proporcionar cobertura en interiores.

## **1.2 Descripción del problema**

El presente estudio de graduación se centrará en la banda de frecuencias UHF que va desde los 300 MHz a los 3000 MHz, sin embargo, en el Ecuador según el Plan Nacional De Frecuencias elaborado en el año 2012, el espectro radioeléctrico que se destinó para la televisión UHF va desde los 500 MHz hasta los 690 MHz, exceptuando las frecuencias de 608 a 614 MHz que está reservada para la radioastronomía.

En el caso de este estudio al realizarse en el edificio Equilibrium y trabajar con la banda UHF se debe considerar que en estas frecuencias la propagación indirecta es usada muy a menudo ya que, en la mayoría de los casos al no existir línea de vista entre el transmisor y el receptor la difracción, refracción y reflexiones multitrayecto son los modos de propagación dominantes en este escenario. Sin embargo, estos medios de propagación también generan pérdidas o deterioro de la señal incluso parte de la señal será absorbida por los obstáculos.

Existen modelos matemáticos, alguno de ellos empíricos para calcular las pérdidas de propagación dependiendo del escenario a estudiar, de manera que modelos de desvanecimientos multitrayectos son aplicados.

Algunos de los modelos para calcular pérdidas en interiores de edificios son:

- Modelo de particiones en el mismo piso: Este modelo requiere conocer datos específicos del tipo de construcción para saber las pérdidas, por lo que este modelo es poco general y usado para estructuras específicas.

- Modelo de Ericsson de multipunto de ruptura: este modelo también es dependiente de mediciones experimentales hechas en edificios con múltiples oficinas.
- Modelo de pérdidas por particiones entre pisos: Este modelo también se basa en datos del material en que está construido el edificio.
- Modelo de factor de atenuación: este modelo está basado en la atenuación entre pisos y existe una matemática para calcular las pérdidas de trayectoria.
- Modelo multipared cost-231: este modelo es especial para interiores toma en cuenta las pérdidas de espacio libre y por pisos penetrados
- Modelo itu-R: Este modelo es más estable debido a la utilización de variables que pueden conocerse sin mediciones por lo que este modelo es mitad teórico y mitad experimental
- A lo largo de este trabajo de titulación se desarrollará más a fondo los modelos de pérdidas en interiores que se utilizaran para poder determinar la disponibilidad de canales en la banda UHF
- A pesar de que actualmente en los países desarrollados han invertido en equipos costosos con mayor ancho de banda, todo el espectro disponible está asignado, varios estudios independientes han demostrado que la cantidad total de espectro en uso en cualquier momento y en cualquier lugar es apenas una pequeña fracción del total.[1] Esto se debe a la forma en que el espectro fue asignado originalmente y al hecho de que el espectro se utiliza a menudo de forma intermitente es decir es subutilizado, por ejemplo algunas emisoras de TV no transmiten las 24 horas del día.
- La cuestión clave es cómo determinar cuándo una banda UHF específica del espectro está realmente en uso en una región geográfica en particular y cuando no está siendo utilizada para en un sistema futuro pueda lograr una eficiencia espectral óptima. En este trabajo de titulación lograremos determinar el uso o disponibilidad del espectro de la banda UHF televisiva.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

- Determinar la disponibilidad del espectro en la banda UHF TV.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un VI en el programa LABVIEW que permita medir el espectro de frecuencia de la banda UHF de los canales de televisión, utilizando el dispositivo RTL-SDR.
- Obtener las mediciones de uso de espectro frecuencial en los canales de radiodifusión TV en la banda UHF dentro del edificio Equilibrium, ubicada en el Norte de Guayaquil.
- Caracterizar y analizar los datos de las mediciones obtenidas para determinar el uso de los canales de radiodifusión UHF Televisión individuales y conjuntos.
- Definir el grado de eficiencia espectral de los canales de radiodifusión UHF Televisión dentro del edificio Equilibrium.
- Determinar tecnologías basadas en OSA que permita utilizar el espectro disponible.

## 1.4 Justificación

El espectro radioeléctrico es uno de los recursos naturales limitados, el cual está compuesto por el conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio, sin necesidad de guía artificial y es utilizado para la prestación de servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora, radiodifusión televisión, seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica, así como para un elevado número de aplicaciones industriales y aplicaciones domésticas.

Un parámetro que es muy utilizado para determinar la medida de lo bien que es aprovechado el espectro de frecuencia para transmitir datos es la Eficiencia Espectral, motivo por el cual es importante analizar y determinar la eficiencia espectral en los diferentes servicios utilizados. En este proyecto hemos seleccionado el servicio de radiodifusión Televisión utilizando la banda de



frecuencia UHF, en la cual se analizó los canales, sean analógicos o digitales que están dentro del rango de frecuencia UHF, escogimos el edificio Equilibrium de Guayaquil como escenario del proyecto.

### **1.5 Metodología**

Para realizar el trabajo, se deberá conocer los diferentes servicios de telecomunicaciones que se otorgan en la banda UHF Televisión, por tal motivo se debe acudir al ente regulador de telecomunicaciones que es ARCOTEL, con lo cual obtendremos el cuadro de frecuencias con la categoría de cada servicio para poder diferenciarlos.

Se tiene que conocer las características del SDR-RTL apropiado que nos permita receptar los canales de la banda UHF Televisión.

El SDR-RTL permite trabajar con el programa Labview en el cual diseñaremos un VI que nos permita medir el espectro de frecuencia de la banda UHF de los canales de televisión.

Una vez diseñado el VI en Labview procedemos a la medición o recepción de las señales de los canales correspondientes a la banda UHF televisión en el interior de un edificio de 8 pisos, en el cual las mediciones se realizarán durante una semana en la planta baja, planta media (piso4) y planta alta (piso8).

Luego de adquirir los datos necesarios para poder proceder al análisis respectivo de las frecuencias, se conocerá los canales que están siendo ocupados dependiendo de un valor de threshold de potencia a la que se esté transmitiendo, con la información resultante se procederá a modelar dichos canales y realizar el análisis de eficiencia espectral.

Al concluir la investigación se obtendrá el modelo probabilístico para la banda asignada, con lo que se podría proponer un método para optimizar la asignación de frecuencias en la banda UHF Televisión.

## **1.6 Alcance**

El edificio Equilibrium escogido para el estudio tiene 8 pisos o niveles, de los cuales la adquisición de datos se realizaron en la planta baja, piso 4 y el en piso 8. La adquisición de datos se realizará durante los 7 días de la semana en los pisos escogidos, utilizando un dispositivo RTL-SDR el cual permite recibir señales en la banda UHF.

Se diseñó una interface virtual en Labview, la cual permite adquirir los datos con el RTL-SDR y posterior proceder a su análisis.

## CAPÍTULO 2

### 2 ESTADO DEL ARTE.

#### 2.1 Estudios realizados con Radio Definido por Software

En la actualidad se han realizado varios estudios sobre el espectro radioeléctrico a lo largo de diferentes países del mundo; En España María Dolores Cereceda Tobal de la ETSIT realizó un proyecto en el que se diseñó y evaluó la recepción de canales de FM, utilizando el programa GNU-RADIO con el dispositivo RTL-SDR. En este proyecto se evaluó la presencia de cinco señales FM Wireless Microphone dentro de un canal de televisión de 8 MHz, zona del espectro infrautilizada. Como conclusión, podemos decir que este detector trabaja apropiadamente cuando la distancia entre emisor y receptor se encuentra entre 0 y 2Km aproximadamente. Además, este detector sufre mucho las variaciones de temperatura ya que no adquiere un comportamiento estable, por lo que resulta muy difícil predecir a que temperatura va a trabajar correctamente. [7]

En Reino Unido A. Fanan, N. Riley y M. Mehdawi de la Universidad de Hull, investigó sobre las mediciones de espectro de frecuencia. En este trabajo se investigó la ocupación del espectro de la banda UHF TV en el rango de frecuencias de 470 a 862 MHz usando dos dispositivos diferentes, el dispositivo de bajo costo RTL-SDR y el analizador de espectro de alto costo. Las mediciones de ocupación del espectro proporcionan evidencia del uso del RTL SDR barato e ilustran su eficacia para la detección del porcentaje de utilización del espectro en comparación con los resultados del analizador de espectro Agilent de costo alto [8].

En Colombia la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" realizó un estudio para la detección del espectro frecuencia de las señales de Radio comunicación licenciadas. [9] En este artículo se describieron las técnicas utilizadas para detectar usuarios licenciados por parte de los dispositivos de CR. Adicionalmente, se aclaró el concepto de espectro multidimensional. Las técnicas expuestas están siendo estudiadas para garantizar interferencia mínima sobre

los usuarios licenciados, ofreciendo un uso eficiente de canales que soporten los anchos de banda de las aplicaciones actuales (calidad de servicio para datos y multimedia). Una detección adecuada es el punto de partida para el correcto funcionamiento de las demás etapas del ciclo cognitivo en los sistemas de CR (decisión, compartición y movilidad).

## 2.2 Espectro radioeléctrico

La Arcotel define el espectro radioeléctrico como un subconjunto de ondas electromagnéticas u ondas hertzianas fijadas convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial. [10] Este espectro electromagnético se subdivide en nueve bandas de frecuencias como se muestra en la Tabla 1.

No. Banda	Simbología (en inglés)	Denominación (en inglés)	Gama de Frecuencias (excluido el límite inferior, pero incluido el superior)	Subdivisión Métrica Correspondiente	Abreviaturas Métricas	Usos Típicos
4	VLF	Very Low Frequency	3 a 30 KHz.	Ondas Miriarmétricas	B.Man	Enlaces de Radio a Gran Distancia
5	LF	Low Frequency	30 a 300 KHz.	Ondas Kilométricas	B.Km	Enlace de Radio y Ayuda a la Navegación
6	MF	Medium Frequency	300 a 3000 KHz.	Ondas Decamétricas	B.Hm	Radiodifusión
7	HF	High Frequency	3 a 30 MHz.	Ondas Hectométricas	B.Dam	Comunicación a Media y Larga Distancia
8	VHF	Very High Frequency	30 a 300 MHz.	Ondas métricas	B.m	Enlace Corta Distancia, Televisión y FM
9	UHF	Ultra High Frequency	300 a 3000 MHz.	Ondas decimétricas	B.dm	Enlace de Radio, Radar y Televisión
10	SHF	Super High Frequency	3 a 30 GHz.	Ondas centimétricas	B.cm	Radar y Enlaces de Radio
11	EHF	Extremely High Frequency	30 a 300 GHz.	Ondas milimétricas	B.mm	Radar y Enlaces de Radio
12			300 a 3000 GHz.	Ondas decimilimétricas		

**Tabla 1 División del espectro radioeléctrico. [10]**

En la Tabla 1 se pueden observar enumeradas las 9 bandas del espectro con sus respectivos rangos de frecuencia y sus usos típicos en el campo de las telecomunicaciones. Van numeradas desde las frecuencias menores, hasta las frecuencias mayores. Como se aprecia, la banda VHF va de los 30 a 300 MHz y se la usa para enlaces de corta distancia, televisión y FM, luego viene la banda

UHF que va desde los 300 MHz hasta los 3000MHz y sus usos típicos son en enlaces de radio, radar y televisión. Por lo tanto las bandas usadas para la transmisión de TV son las VHF y UHF.

### 2.2.1. Canalización del espectro en la banda UHF televisiva en el Ecuador

Para el caso del presente trabajo de titulación se estudiará el espectro radioeléctrico de la banda UHF destinada para televisión. En el Ecuador Dicho espectro según la norma técnica va desde los 500MHz a los 690 MHz. En la Tabla 2 se muestra dicha canalización de la banda UHF.

RANGO DE FRECUENCIAS	BANDA	CANAL No.(MHz)	PORTADORAS	
			VIDEO	SONIDO
UHF 500-608	IV	13 (210-216)	211.25	215.75
		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
		UHF 614-644	IV	34 (590-596)
35 (596-602)	597.25			601.75
36 (602-608)	603.25			607.75
38 (614-620)	615.25			619.75
39 (620-626)	621.25			625.75
UHF 644-686	V	40 (626-632)	627.25	631.75
		41 (632-638)	633.25	637.75
		42 (638-644)	639.25	643.75
		43 (644-650)	645.25	649.75
		44 (650-656)	651.25	655.75
		45 (656-662)	657.25	661.75
		46 (662-668)	663.25	667.75
		47 (668-674)	669.25	673.75
		48 (674-680)	675.25	679.75
		49 (680-686)	681.25	685.75

**Tabla 2 Canalización de las bandas IV y V [10]**

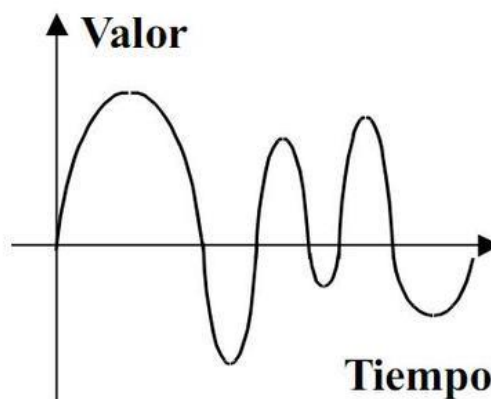
En la Tabla 2 se observan todos los canales de televisión abierta en la que se divide la banda UHF con sus respectivos rangos de ancho de banda y frecuencias de la portadora de video y de audio. Los canales UHF van desde el 19 hasta el 49. En este proyecto se realizarán pruebas en los canales que van desde el 21 al 49. La Norma Técnica de Televisión Analógica vigente compartió el espectro en cinco bandas, designando las bandas IV y V al espectro UHF que van desde 500-644 MHz y 644-686 MHz respectivamente, el cual se observa en la Tabla 2. El canal 37 que va desde 608-614 MHz, no está incluido en la banda UHF TV, ya que se lo usa para fines astronómicos.

### **2.3 Parámetros y Normas Técnicas**

Para analizar la disponibilidad del espectro radioeléctrico en la banda UHF debemos capturar datos realizando pruebas reales, para lo cual se nos asignó como lugar de prueba el edificio equilibrium de Guayaquil, el cual consta con 8 pisos.

#### **2.3.1 Señales analógicas**

Como lo define [11], una señal analógica es “un tipo de señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo (representando un dato de información) en función del tiempo” como se observa en la Figura 2.1.



## Señal Analógica

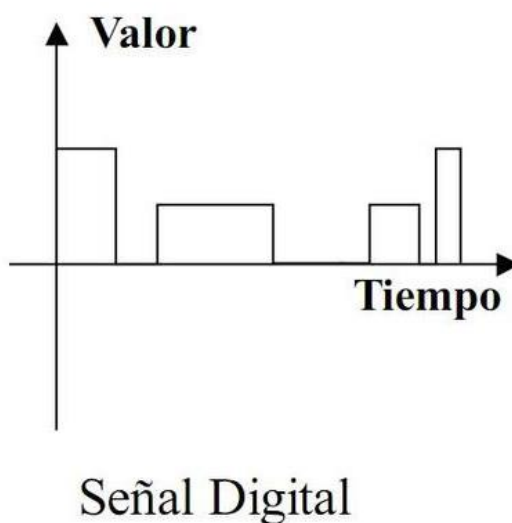
**Figura 2.1 Gráfica de la señal analógica [12]**

Claramente se observa en la Figura 2.1 que la señal analógica es continua todo el tiempo y además su amplitud es muy variante ya que posee diferentes picos tanto positivos como negativos y su periodo es variante con el tiempo. Las señales analógicas son especialmente usadas para llevar a cabo la transmisión de elementos de vídeo o sonido. Aunque son señales de tipo continuo hay que decir que su expansión se produce por la entrada en escena de las ondas de tipo senoidal. Para que las distintas señales analógicas que se transmitan puedan ser interpretadas de una manera adecuada habrá que tener un decodificador que permita cumplir con el proceso de trabajo.

Una de las ventajas del uso de la señal analógica es que hay poco consumo de ancho de banda, mientras que por otro lado es un tipo de acción que se procesa en tiempo real. Hay menores necesidades en términos de inversión y la calidad suele ser más fiel a la realidad (cuando hablamos de la transmisión de sonido). Pero también tiene sus desventajas. La principal es lo complicado que resulta solucionar una transmisión fallida en comparación a si estuviéramos usando una señal digital. [13]

### 2.3.2 Señales digitales

Como está escrito en [14], una señal digital es “un tipo de señal en que cada signo que codifica el contenido de la misma puede ser analizado en término de algunas magnitudes que representan valores discretos, en lugar de valores dentro de un cierto rango”. En la Figura 2.2 se puede observar como es la gráfica de una señal digital.



**Figura 2.2 Gráfica de la señal digital [11]**

A diferencia de la señal analógica, se observa en la Figura 2.2 que en las señales digitales la información no se transmite de la misma forma que en las analógicas, sino que en este caso se utiliza un sistema de códigos binarios (los números 0 y 1) o también llamados altos o bajos con los que se lleva a cabo la transmisión bajo una pareja de amplitudes que proporciona grandes posibilidades. El proceso de las ondas senoidales en las señales analógicas cambia de forma completa para dar paso a ondas cuadradas, lo que permite hacer uso de la modulación digital y de un tipo de señal que no es continua.

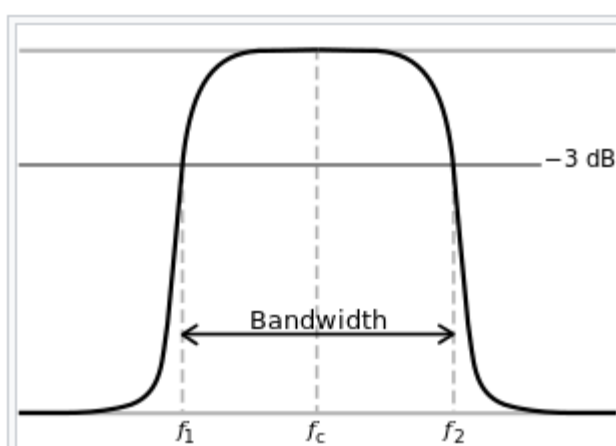
Las señales digitales proporcionan una mayor capacidad para transmitir información de una manera fiel. Estas señales no producen deterioro en



la información ni en la calidad de los datos, lo que ayuda a que el resultado sea más adecuado. Debido a esto las señales digitales son las que se utilizan en todo tipo de dispositivos digitales usados en la actualidad en todo el mundo [13]

### 2.3.3 Ancho de Banda

Para poder analizar el espectro radioeléctrico debemos considerar el ancho de banda de la señal. El ancho de banda se define como la medida en Hz de la longitud de la extensión de frecuencias en la que se concentra la mayor potencia de la señal, tal como se muestra en la Figura 2.3. [14]



**Figura 2.3 Ancho de banda de una señal [14]**

Como se observa en la Figura 2.3 el ancho de banda está formado por dos frecuencias, una alta y una baja que son  $f_1$  y  $f_2$ , donde la resta de dichas frecuencias forman el ancho de banda de una señal. Según la ARCOTEL en su "norma técnica para el servicio de radiodifusión de televisión abierta analógica" especifica valores para la potencia y ancho de banda. En el artículo 10 literal b, se especifica que el ancho de banda debe ser de 6 MHz para la señal televisiva UHF en el Ecuador.

### 2.3.4 Potencia efectiva radiada

La potencia efectiva radiada, es la cantidad de potencia que emitirá una antena isotrópica teórica para producir la densidad de potencia observada en la dirección de máxima ganancia de una antena. En el Ecuador según la norma técnica para el servicio de radiodifusión de televisión analógica en el artículo 10 literal c, se define como: “la potencia de salida del equipo transmisor en vatios (watts) que se suministra al sistema radiante.” [15] El literal “d” del mismo artículo 10 define y explica la metodología para calcular la Potencia efectiva radiada (P.E.R), la cual ésta se la mide en watts.

### 2.3.5 Modelo de pérdida de camino para interiores

Para calcular la pérdida de camino se usará un modelo matemático empírico que se observa en la Tabla 3, diseñado específicamente para interiores como un edificio de varios pisos, para este caso se utilizara el modelo de perdida de interiores Join Technical commitee el cual se describe a continuación en la ecuación 2.1.

#### Modelo de Interiores Join Technical commitee (JTC) para PCS

$$L_{total} = A + L_f(n) + B \log(d) + X \quad (2.1)$$

Donde:

**A:** Es un factor de pérdida fijo en el Primer Metro dependiente del sistema.

**B:** Factor dependiente del Gradiente Distancia-Potencia.

**$L_f(n)$ :** Factor de pérdida de penetración de piso.

**X:** Debilitamiento de Sombra (con distribución Gaussiana en dB y distribución log-normal en watts)

La ecuación 2.1 permite calcular la pérdida de camino que existe dentro de un edificio como una oficina, un departamento residencial o comercial, donde depende de factores como la pérdida de camino en el primer metro,

del gradiente distancia potencia, de la penetración del piso y del debilitamiento de sombra.

Parameter	Environment		
	Residential	Office	Commercial
$L_0$ (dB)	38	38	38
$10\alpha$	28	30	22
$L_g(n)$ (dB)	$4n$	$15 + 4(n - 1)$	$6 + 3(n - 1)$
Lognormal fading (standard deviation dB)	8	10	10

**Tabla 3 Modelo de Interiores JTC [12]**

En la Tabla 3 se puede observar los valores de los parámetros a usarse en el modelo de interiores JTC para ambientes residenciales, de oficina y comerciales. La pérdida en el primer metro se la mide en dB, en donde para un ambiente residencial está definido según el modelo JTC, una pérdida de 38 dB, para un ambiente de oficina, y comercial está también definido el mismo valor. El debilitamiento de sombra para un ambiente residencial se define un valor de 8 dB pero para un ambiente de oficina y comercial el valor sube a 10 dB.

## CAPÍTULO 3

### 3 ESCENARIO Y METODOLOGÍA.

En los capítulos 1 y 2, se dio a conocer la problemática de la escasez del espectro radioeléctrico y sus causas que lo ocasionan, también se explicó el marco legal de los estatutos de radiodifusión TV que en el Ecuador se llevan a cabo, con su ancho de banda asignado y el listado de canales correspondientes. Dimos a conocer la posible solución para mejorar el uso del espectro radioeléctrico en dispositivos tecnológicos que puedan contar con el sistema OSA.

En este capítulo, se dará a conocer la metodología usada para la adquisición de datos en el lugar seleccionado utilizando una interface virtual que trabaja con un RTL-SDR, adicional se hará una descripción de los modelos estocásticos que se busca analizar en este proyecto con sus procedimientos.

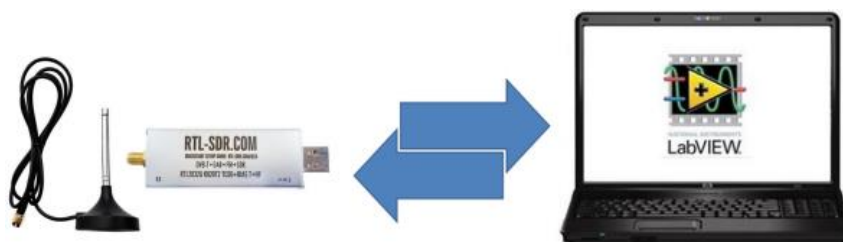
Para la realización de este proyecto, se trabajó en el edificio Equilibrium de la ciudad de Guayaquil, ubicado en una zona hotelera y empresaria, por consiguiente usuarios que utilizan frecuentemente los recursos del espectro radioeléctrico.

La adquisición de datos del estudio se realizó durante las 24 horas de cada día cumpliendo una semana por piso, en el edificio escogido se seleccionó la planta baja, piso 4 y piso 8 como lugares de adquisición de datos.

Los datos obtenidos en las mediciones corresponden a potencia de recepción de los canales en dBm, de lo cual definiremos la potencia de la portadora y el piso de ruido, que nos servirán para analizar si el canal está ocupado o libre.

#### 3.1 Descripción General

Para adquirir las potencias de recepción de los canales de radiodifusión TV en la banda UHF, utilizaremos un dispositivo RTL-SDR, una laptop en la cual diseñaremos una interface virtual en Labview que posee la librería de control del RTL-SDR como se observa en la Figura 3.1.



**Figura 3.1 Diseño de adquisición de datos**

En la Figura 3.1 se ilustra un dispositivo RTL-SDR interactuando con el diseño de algoritmos integradas en la interface virtual en Labview. Un dispositivo RTL-SDR puede ser controlado por tres diferentes software como son GNU-RADIO, LABVIEW y MATLAB los cuales poseen las librerías de control para el RTL-SDR.

Para el diseño de la interface virtual escogimos el software de Labview, en el cual utilizamos la librería de control del RTL-SDR permitiéndonos realizar el muestreo de la potencia de recepción por canal en la banda UHF y lo almacena en una base de datos de EXCEL.

### **3.2 Descripción del lugar de trabajo o escenario**

El escenario escogido en la ciudad de Guayaquil, es el edificio Equilibrium que se muestra en la Figura 3.2.



**Figura 3.2 Vista Frontal del Edificio Equilibrium**

Como se observa en la Figura 3.2 el edificio Equilibrium cuenta con 8 pisos en los cuales se distribuyen oficinas y locales comerciales, este edificio fue inaugurado en el 2007, forma parte de la inmobiliaria Pronobis.

El edificio Equilibrium se encuentra en una zona hotelera y comercial como se observa en la Figura 3.3 que se tiene una vista satelital del edificio junto a las demás construcciones que acompañan dicho edificio, a su lado izquierdo se puede apreciar el edificio CITIBANK, edificio NOBIS, al lado derecho el Hotel SHERATON, el hospital OMNIHOSPITAL, en la parte de al frente el centro comercial MALL DEL SOL. Es decir es un lugar idóneo para el análisis debido a que se encuentra rodeado de muchos usuarios.

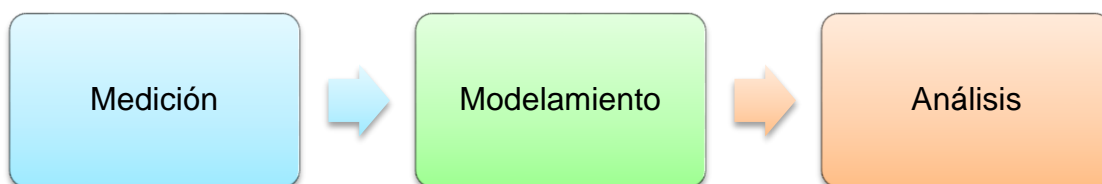


**Figura 3.3 Vista Satelital del Edificio Equilibrium**

En la Figura 3.3 se aprecia la vista satelital de dicho edificio y además se puede observar que se encuentra rodeado de otros edificios como son el edificio CITIBANK, edificio NOBIS, al lado derecho el Hotel SHERATON, el hospital OMNIHOSPITAL, en la parte de al frente el centro comercial MALL DEL SOL. Por lo tanto es una zona muy transitada de buses, autos, peatones lo que hacen que el lugar idóneo para el análisis debido a que se encuentra rodeado de muchos usuarios.

### 3.3 Pasos para el Análisis y Evaluación de la disponibilidad del espectro de la Banda UHF de Televisión

Para analizar la disponibilidad del espectro en la banda UHF de televisión, debemos recolectar datos realizando mediciones en el edificio equilibrium de Guayaquil. Luego de haber recolectado las muestras se procederá a modelar los valores para finalmente detallar un análisis sobre el espectro usado para la televisión en la banda UHF. Este procedimiento se lo segmentó en tres pasos como se observa en la Figura 3.4. Cada bloque o etapa será explicada a continuación.



**Figura 3.4 Pasos para el análisis del espectro UHF**

En la Figura 3.4. se observa que se ha dividido en tres etapas el procedimiento para el análisis del espectro en la banda UHF. El primer paso es la medición de datos, luego el modelamiento de dichos datos para luego analizar y concluir. Cada bloque o etapa será explicada a continuación.

### 3.3.1 Medición

En la etapa de medición se utilizarán dispositivos físicos y softwares para capturar datos del espectro. Un elemento muy importante para la medición es el detector RTL SDR que se observa en la Figura 3.5, el cual viene con una antena incorporada para la recepción de la señal televisiva.

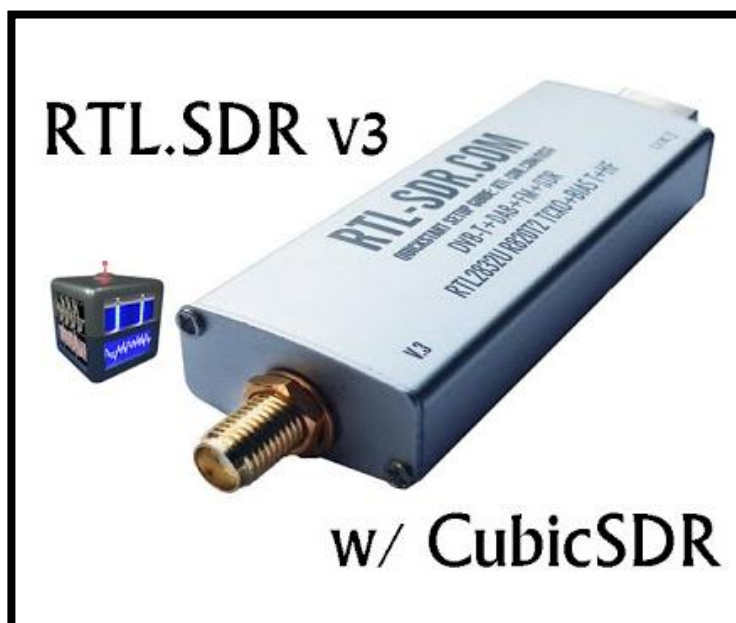


Figura 3.5 Dispositivo RTL.SDR

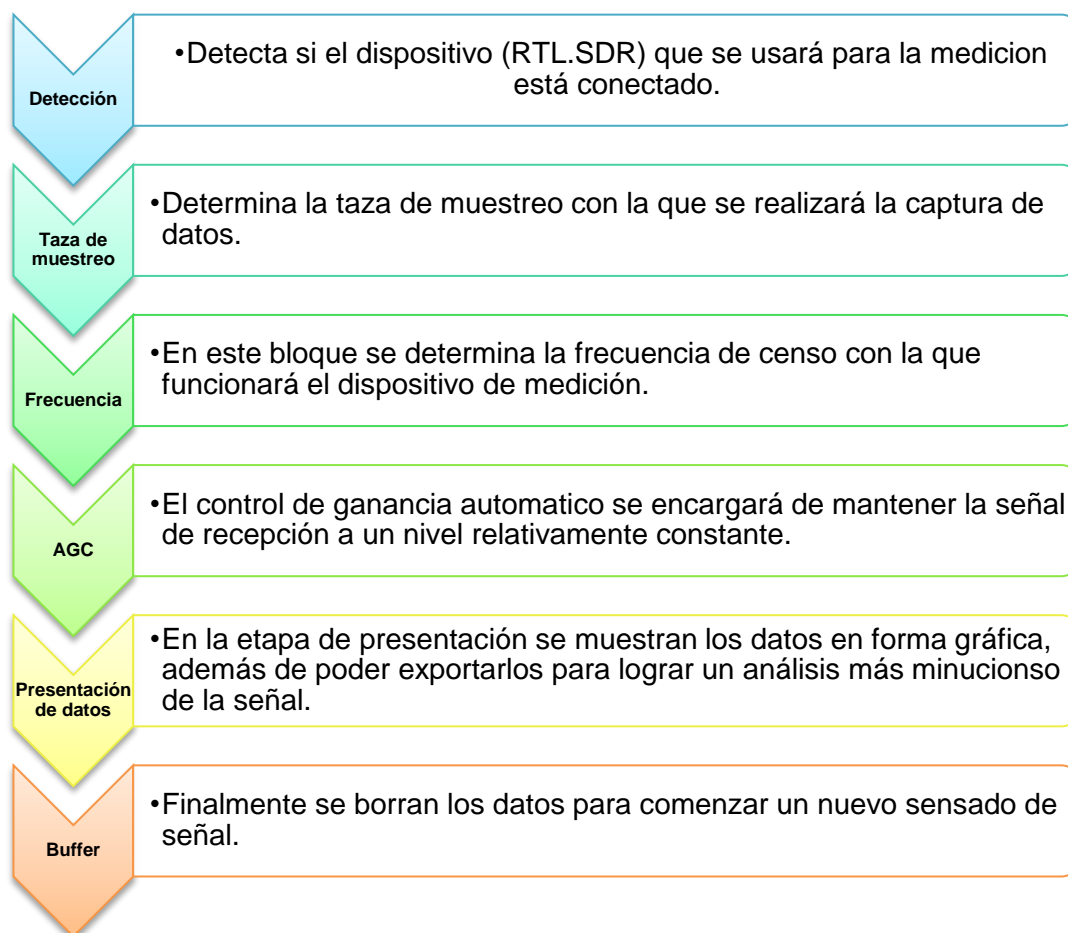
Algunas de las características del detector SRD son las siguientes:

- Recepción completa desde 500Khz a 1,766 GHz ( 500 kHz a 24 MHz con prestaciones reducidas)
- ADC 8 bit
- Salida opcional de 4,5V, para la alimentación de preamplificadores a través del cable coaxial
- Conexión USB al ordenador
- Buen margen dinámico de recepción
- Audio de gran limpieza y claridad
- Conector de antena SMA dorado



- Caja metálica que facilita la disipación de calor
- Dimensiones muy reducidas 45x55x15 mm
- Software de recepción de uso libre

Hasta 3,2 MHz de frecuencia de muestreo (ancho de banda en pantalla)  
 Este elemento será el encargado de detectar la señal televisiva, la cual luego será procesada por un software que se encargará de variar parámetros para censar todos los canales de la banda UHF televisiva. El software que se usará en conjunto con el detector será Labview, en el cual se diseñará un Vi que posee varios bloques, los cuales se muestran en la Figura 3.6:



**Figura 3.6 Pasos para detección de señal**

En la Figura 3.6 se ha descrito los pasos del algoritmo usado en Labview. En cada bloque se explica cómo se realiza dicha etapa del algoritmo. Este procedimiento de medición se realizará para los todos los canales de la televisión analógica UHF, en tres pisos del edificio equilibrium. Luego de terminar de medir todos los canales en los tres edificios se procederá a modelar las señales capturadas en Labview.

### **3.3.2 Modelamiento**

Para realizar el modelamiento se deberán extraer los datos de potencia y frecuencia, respectivamente almacenados en un archivo Excel. Con estos datos procedemos a modelarlo o caracterizarlo como un canal analógico o digital, dependiendo el canal a tratar. Si es un canal analógico podremos apreciar los picos de potencia que corresponden a las portadoras de luminancia, cromancia y audio.

Y si es un canal digital podremos apreciar el pico de potencia correspondiente al segmento asignado, también podremos apreciar los bajos de potencia que van a ser el piso de ruido de cada canal en un tiempo determinado.

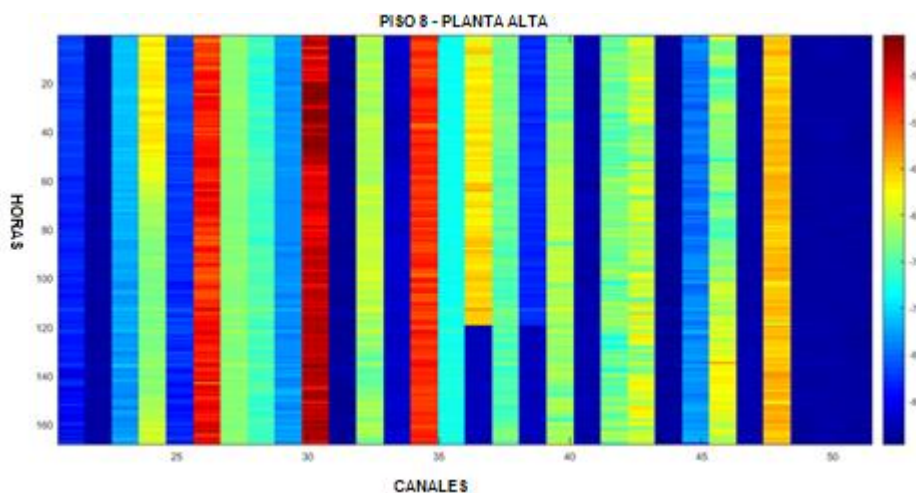
Una vez que hemos modelado los canales es decir determinar las portadoras y el piso de ruido correspondiente a cada canal; le adicionaremos un valor de 4 dB y 10 dB al piso de ruido de cada canal, a la cual le denominaremos Threshold o valor de referencia, con el cual vamos a determinar la ocupación o disponibilidad de los canales analizados. Una vez determinada la ocupación o disponibilidad de cada canal en un tiempo determinado, se procederá a crear matrices de disponibilidad de canales individuales y conjuntos, con lo cual buscamos conocer el ancho de banda disponible en un determinado tiempo y lugar, para proceder a sugerir sistemas tecnológicos que puedan ocupar y aprovechar el espectro de frecuencia disponible.

## CAPÍTULO 4

### 4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS.

#### 4.1 Gráficos de niveles de potencia

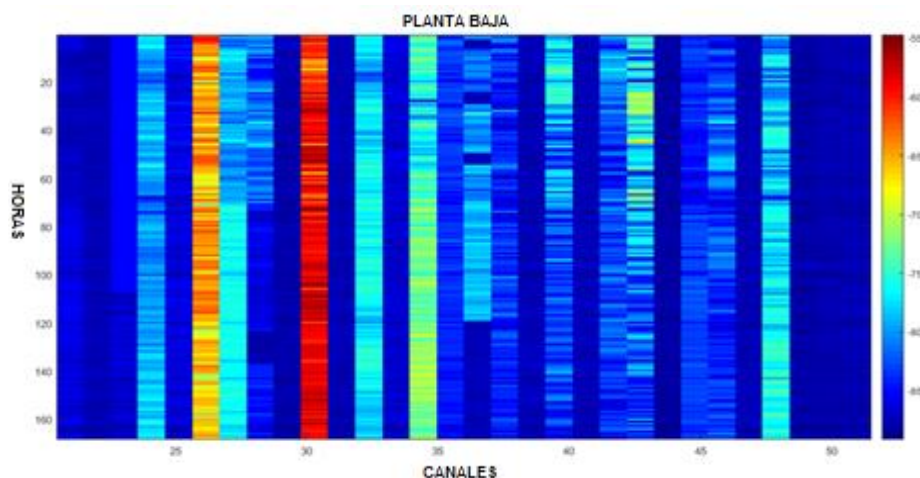
En las Figuras 4.1 y 4.2 se puede apreciar los diferentes niveles de potencias receptados tanto en el piso más bajo y en el piso más alto analizado.



**Figura 4.1 Niveles de potencia en la planta alta**

Los colores azules representan bajos niveles de potencia y los colores rojos altos niveles de potencia. La escala de colores va desde los -90dBm representado por el color azul y hasta los -45dBm representados por el rojo

El análisis está hecho para los 30 canales de televisión en la banda UHF que van desde el canal 21 al canal 51 excluyendo el canal 37 que es utilizado para fines astronómicos. En el eje x se representan los 30 canales y en el eje y se presentan las 168 horas de la semana.



**Figura 4.2 Niveles de potencia en la planta baja**

Se observa que en la Figura 4.2 existen más tonalidades azules que la Figura 4.1 de la planta alta debido a que la señal receptada es mucho menor que la señal receptada en planta alta.

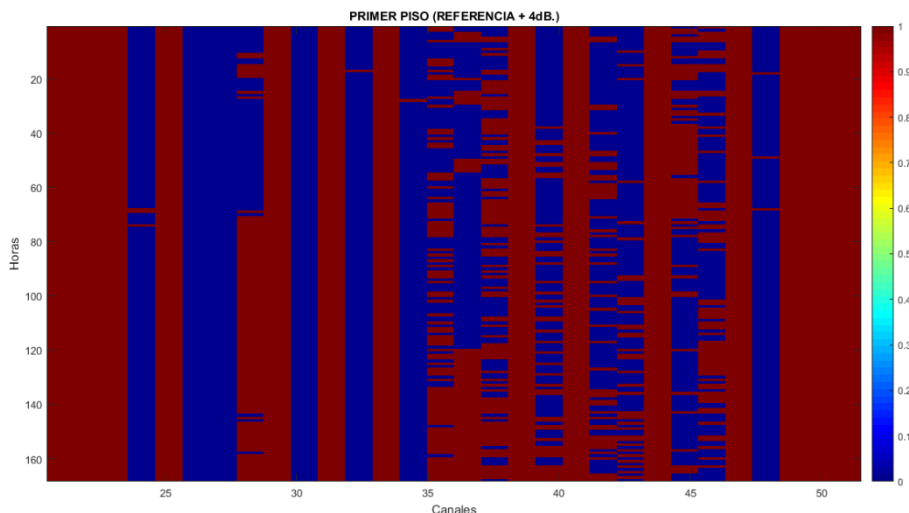
Se puede apreciar que los máximos niveles de potencia se observan en los canales 30, 26 y 34. Los canales 22, 31, 41, 44, 47, 49, 50 y 51 no transmiten señal de televisión debido a que su nivel de potencia representa el nivel de piso de ruido.

## 4.2 Disponibilidad de canales individuales

### Gráficos de colores

Para hallar la disponibilidad de canales se ha formado una matriz hecha de unos y ceros, donde el 1 representa que el canal se encuentra disponible y el 0 que se encuentra ocupado. Para eso se tomó como criterio de decisión el nivel de piso de ruido + 4dB. Si la potencia medida es mayor al umbral de referencia, entonces se coloca un 1, caso contrario se coloca un 0.

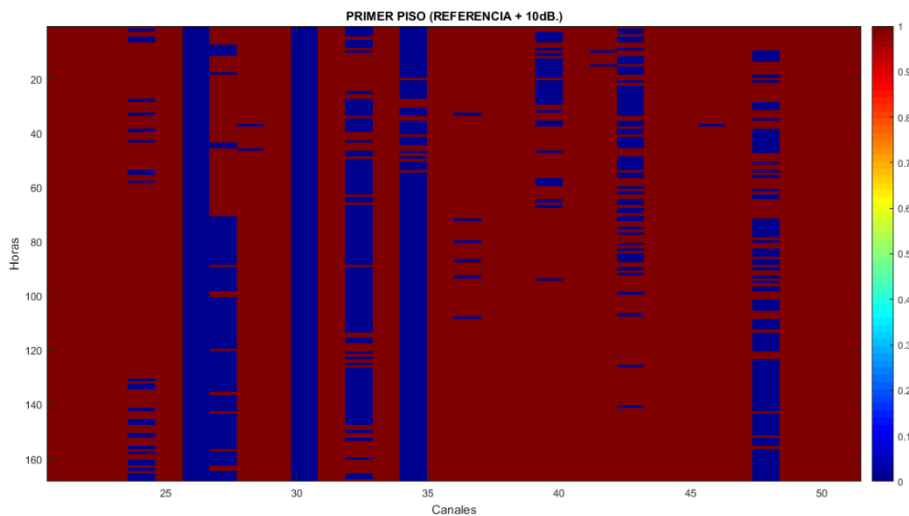
En la Figura 4.3 se puede observar el resultado de disponibilidad de canales durante toda la semana. En el eje x se representan los 30 canales del 21 al 51, excluyendo el canal 37. En el eje y se representan las 168 horas de la semana, donde 120 representa el día sábado y 144 el domingo. El color rojo representa los unos o que está disponible, y el color azul los ceros o que está ocupado el canal



**Figura 4.3 Disponibilidad de canales +4dB Planta baja**

Como se observa en la Figura 4.3 los canales 21, 22, 23, 25, 31, 33, 39, 41, 44, 47, 49, 50 y 51 se encuentran disponible durante las 24 horas de los 7 días de la semana, mientras que los canales 26, 27 y 30 siempre están ocupados. Los demás canales tienen una disponibilidad intermitente dependiendo la hora y el día en que se encuentre por ejemplo el canal 36 los sábados y domingos pasa disponible todos los dos días. Otros canales como el 35, 38, 40, 42, 43, 45, 46 son tan variables que presenta horas disponibles y horas ocupadas.

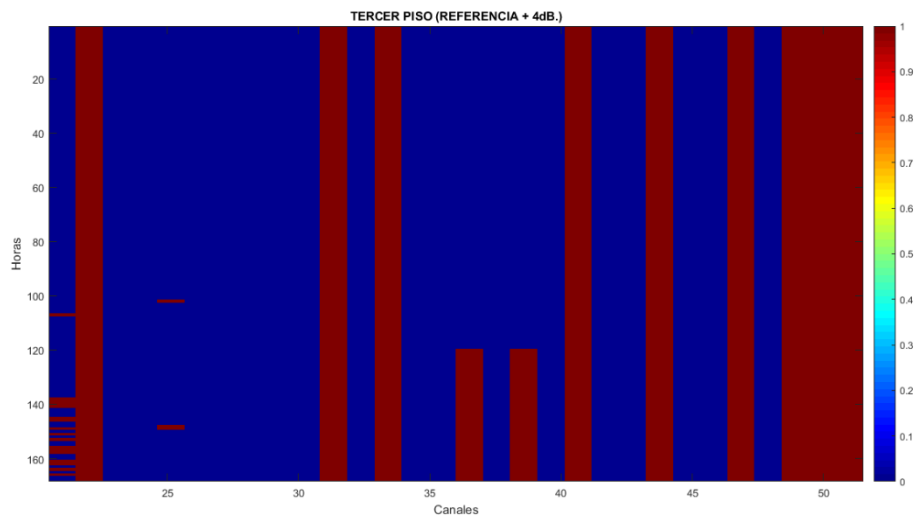
Por otra parte en la Figura 4.4 se hizo el mismo análisis pero con la diferencia que el umbral cambió, en este caso se tomó el nivel de ruido +10dB y como se puede apreciar, el umbral o la referencia subió de nivel lo que implica que va haber mayor cantidad de canales y tiempos disponible. Si comparamos la Figura 4.4 con la Figura 4.3 se puede observar claramente como el color rojo ha aumentado considerablemente y el color azul ha disminuido.



**Figura 4.4 Disponibilidad de canales +10dB Planta baja**

En la Figura 4.4 se observa mayor cantidad de canales disponibles o en color rojo como los canales 21, 22, 23, 25, 29, 31, 33, 35, 38, 39, 41, 44, 45, 47, 49, 50 y 51, donde han aumentado 4 canales más con respecto al umbral +4dB . Además hay canales donde existen minutos que están ocupado durante toda la semana como es el caso de los canales 24, 29, 36, 46. Mientras que los canales 26, 30 siguen estando ocupados y esto se debe que su potencia de recepción o sus niveles de potencias son muy altos

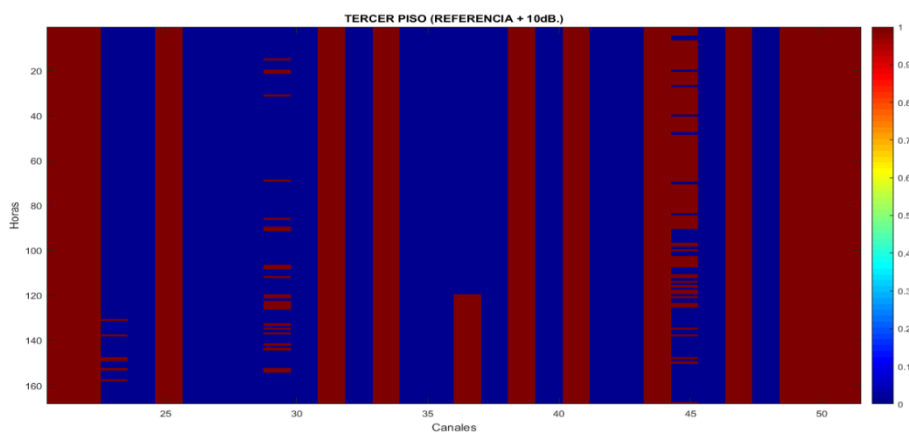
Al analizar el tercer piso, se puede observar en la Figura 4.5 y 4.6 que el color azul ha aumentado de manera significativa y esto se debe a que existe una mayor recepción de los niveles de potencia en el tercer piso analizado o el piso más alto analizado.



**Figura 4.5 Disponibilidad de canales +4dB Planta alta**

En la Figura 4.5 se puede observar que existen en total 9 canales disponibles las 168 horas de la semana que son el canal 22, 31, 33, 41, 44, 47, 49, 50 y 51. Aparte el canal 36 y 39 son canales sábados y domingos se encuentran disponibles ya que los fines de semanas estos canales dejan de transmitir.

El canal 21 y 25 presentan pequeñísimos tiempos disponibles en la semana. Todos los canales sobrantes son canales ocupados o pintados de azul y esto se debe a la fuerte recepción de la señal, y al umbral de referencia que es +4dB.

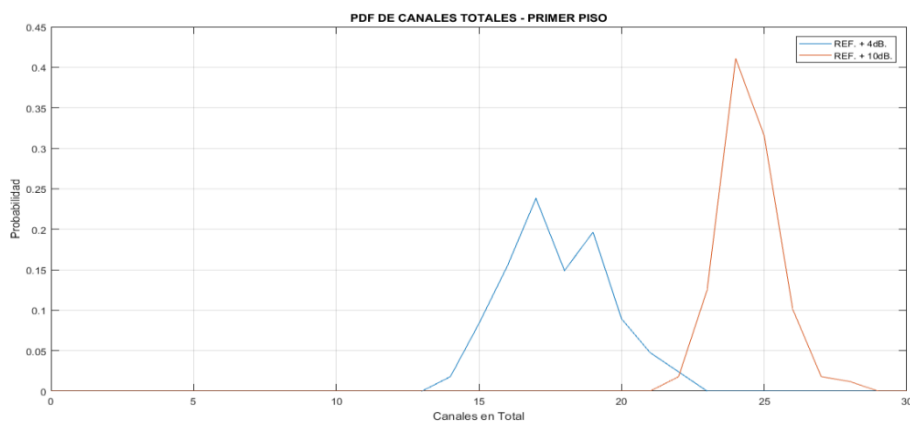


**Figura 4.6 Disponibilidad de canales +10dB Planta alta**

En la Figura 4.6, se puede observar que el color azul ha aumentado de manera significativa y esto se debe a que existe una mayor recepción de los niveles de potencia en el tercer piso analizado pero a diferencia de la Figura 4.5, en la figura 4.6 se aprecia un leve aumento de espacios pintados de rojo o espacios disponibles, esto se debe a que el umbral de referencia subió a +10dB.

### 4.3 Gráficos estadísticos

En la Figura 4.7 se ha graficado la PDF de los canales individuales disponibles en el primer piso analizado tanto con umbral de +4dB y con un umbral +10dB.

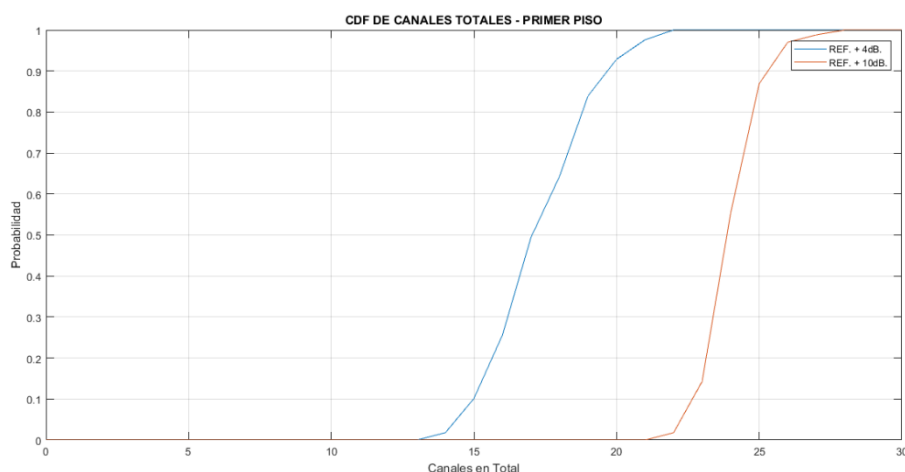


**Figura 4.7 PDF Disponibilidad de canales Planta baja**



Cuando se tiene un umbral de piso de ruido +dB, se obtiene aproximadamente un total de 17 canales individuales disponibles, pero si el umbral de referencia aumenta a +10dB, también aumenta la disponibilidad a 24 canales individuales con una probabilidad de ocurrencia de 0.4.

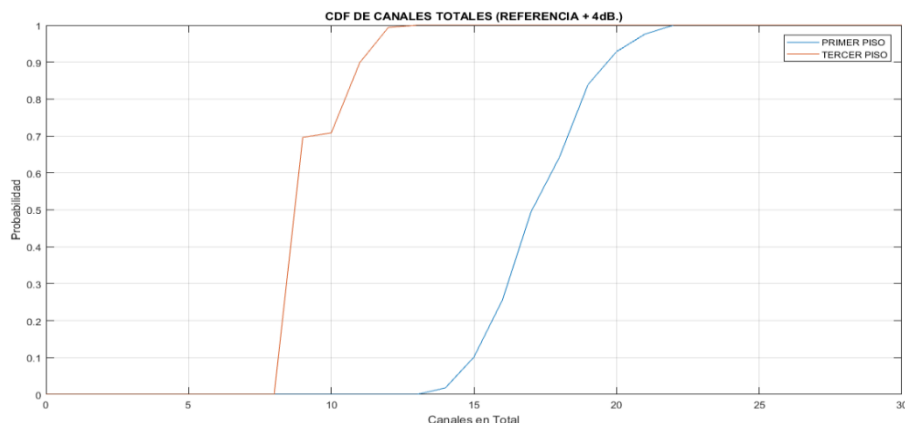
Por otra parte en la Figura 4.8 se ha graficado la CDF de disponibilidad de canales individuales con ambos umbrales ya mencionados



**Figura 4.8 CDF Disponibilidad de canales Planta baja**

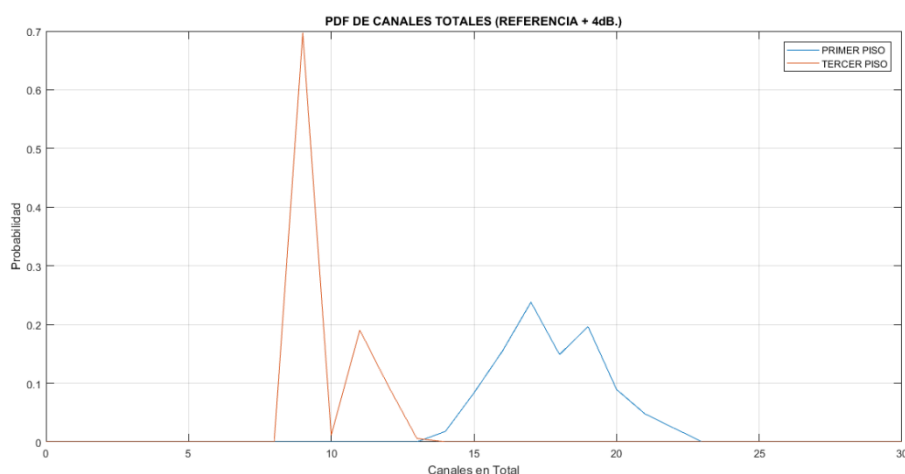
La curva azul representa la disponibilidad de canales usando el menor umbral que es de piso de ruido +4dB y como se observa el número máximo de canales individuales disponibles que se puede obtener es 21 que en la gráfica se puede apreciar cuando la curva azul llega a la probabilidad de 1. Si se usa un umbral mayor que es piso de ruido +10dB, se aprecia que la curva se desplaza hacia la derecha aumentando la cantidad de canales disponibles a 27 aproximadamente. Esto se lo refleja en la curva de color rojo.

Sin duda alguna en el primer piso se va obtener mayor cantidad de canales individuales disponibles que en el tercer piso analizado. En las Figuras 4.9 y 4.10 se demuestra que existe mayor cantidad de canales disponibles en el primer piso que el tercer piso analizado, tomando como referencia +4dB.



**Figura 4.9 CDF Disponibilidad de canales +4dB**

La curva azul representa la disponibilidad de canales individuales en el primer piso, hallada anteriormente en las Figuras 4.7 y 4.8, mientras que la curva roja es una nueva grafica que representa la disponibilidad de canales individuales en el tercer piso analizado tomando como referencia +4dB . Por lo tanto al observar la CDF de la disponibilidad de canales en el tercer piso, se aprecia que el número máximo de canales disponibles puede ser 12, mientras que en el primer piso es 21 canales disponibles, esto se lo puede observar en la Figura 4.9



**Figura 4.10 PDF Disponibilidad de canales +4dB**

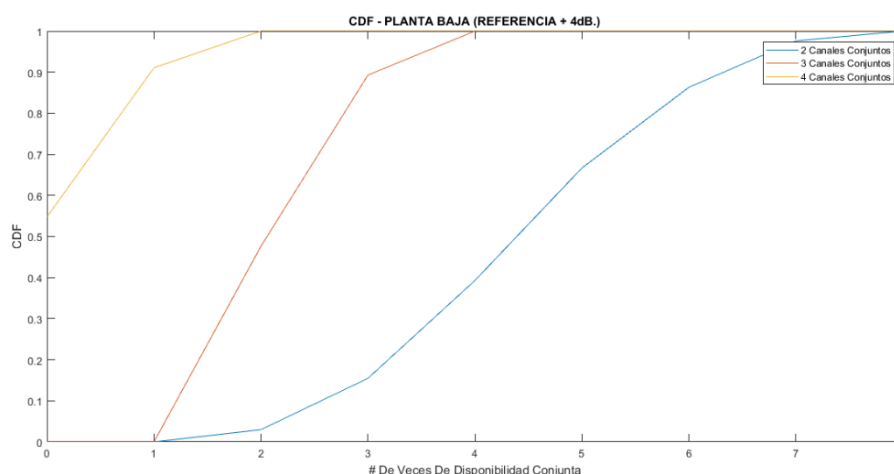
En la Figura 4.10 se puede observar según la PDF, que en el tercer piso el número de canales disponibles es 9, con un 0.7 de probabilidad de ocurrencia, mientras que en el primer piso se tiene 17 canales disponibles con una probabilidad de ocurrencia de 0.25. Por lo tanto queda demostrado que hay mayor disponibilidad de canales en el primer piso.

#### 4.4 Disponibilidad de canales conjuntos

Al agrupar canales adyacentes o que estén juntos, se puede obtener un mayor ancho de banda para poder transmitir otras tecnologías inalámbricas que demande mayor ancho de banda como es el caso de WIFI.

Por ejemplo en la Figura 4.6 , se puede apreciar que los últimos 3 canales empezando desde 49 hasta el 51 están pintados de color rojo que quiere decir que están disponibles las 168 horas de la semana, lo cual implica que se va tener un ancho de banda de 18 MHz ya que hay una triada de canales conjuntos.

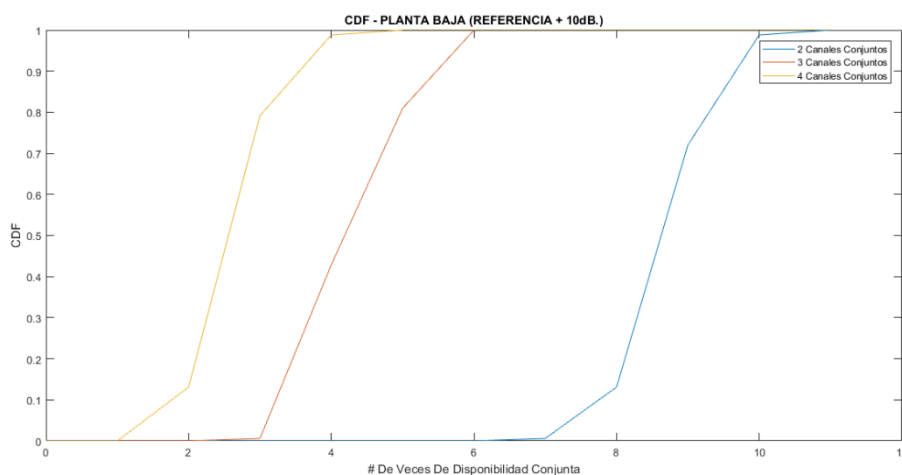
En las Figuras 4.11 y 4.12 se muestran la CDF de la disponibilidad de canales conjuntos agrupados en pares, triadas y cuartetos. Tomando como umbral el piso de ruido +4dB se tiene que cuando se agrupa en pares de canales seguido, el número máximo va ser 8 pares de canales disponibles para poder transmitir en un ancho de banda hasta 12 MHz.



**Figura 4.11 CDF Disponibilidad de canales conjuntos +4dB Planta baja**

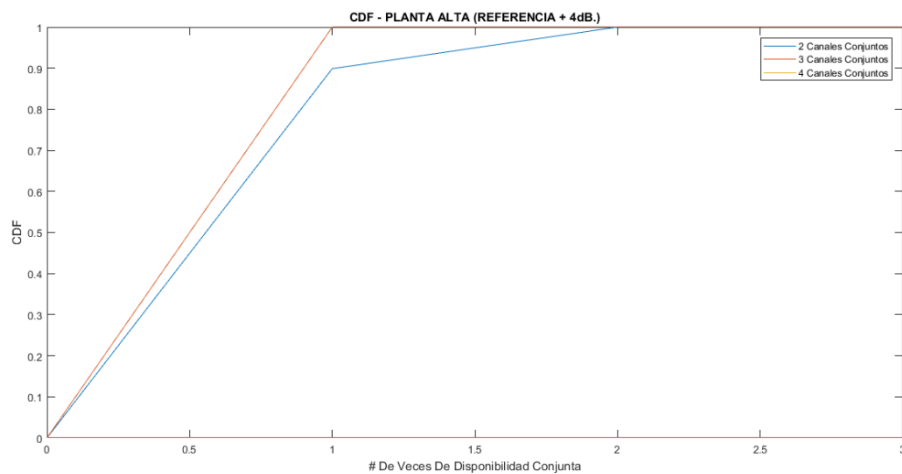
Si se agrupan en triadas de canales o 3 canales seguidos se obtiene como máximo 4 triadas de canales disponibles para transmitir hasta en un ancho de banda de 18 MHz y si se agrupan en cuartetos de canales seguidos se va llegar a tener 2 cuartetos de canales disponibles como máximo. Se aprecia claramente como al aumentar el número de agrupación de canales, la disponibilidad de canales conjuntos disminuye.

Luego si el umbral aumenta a +10dB, la cantidad de disponibilidad va aumentar como se observa en la Figura 4.12, que las mismas curvas de la Figura 4.11 se han desplazado hacia la derecha aumentando de esta forma el número de veces de disponibilidad conjunta.



**Figura 4.12 CDF Disponibilidad de canales conjuntos +10dB Planta baja**

Así mismo como pasó en la disponibilidad de canales individuales que en el tercer piso disminuyó, en la disponibilidad de canales conjuntos también va disminuir como se observa en la Figura 4.13 que la curva que representa la disponibilidad de cuatro canales seguidos disponibles, no aparece en dicha gráfica, mientras que el número máximo de tener pares de canales es 2 y de tener triadas de canales es 1.



**Figura 4.13 CDF Disponibilidad de canales conjuntos +4dB Planta alta**

Por lo tanto queda demostrado que la mayor disponibilidad de canales individuales y conjuntos se va encontrar en el primer piso analizado, y se sabe que si se usa un umbral de piso de ruido +10dB, se va obtener mayor disponibilidad de canales, sin embargo es recomendable trabajar con un umbral de piso de ruido +4dB ya que éste es más selectivo y tiene mayor certeza que los usuarios secundarios no interfieran a los usuarios primarios con los niveles de potencia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se concluye que ciertamente se cumplieron los objetivos planteados en este proyecto y se llegó a demostrar que efectivamente si existe disponibilidad espectral de canales de televisión en la banda UHF dentro del edificio Equilibrium, lo cual es recomendable para el uso e implementación de sistemas basados en dispositivos de accesos oportunista al espectro (OSA).

Se concluye que existe una diferencia de 12dB entre la planta baja y la planta alta y que a medida que aumenta la altura de la medición se recibe mayor señal de televisión debido a que tiene mejor línea de vista y la señal tiene poca atenuación, por lo tanto para un mayor uso eficiente de sistemas OSA se lo debería aplicar en la planta baja ya que se recibe menores niveles de potencia debido a que la señal se atenúa por la mayor cantidad de paredes o medios por los que se debe propagar la señal de canal TV.

Se concluye que la banda UHF en la ciudad de Guayaquil se tienen canales analógicos, canales digitales y canales desocupados, donde en su mayoría los canales digitales después de hacer el análisis, resultan estar disponibles para el uso de sistemas con capacidades cognitivas. La potencia pico de la portadora de video de un canal de televisión analógico en comparación con el promedio de potencia de un canal digital es mayor, por lo tanto los niveles de potencia de un canal analógico son altos que los niveles de potencia de un canal digital.

Se concluye que un solo canal de televisión tiene 6 MHz de ancho de banda, pero cuando se agrupan canales conjuntos se obtiene mayor ancho de banda como son 12 , 18 y 24 MHz si se agrupan en pares, triadas y cuartetos de canales continuos respectivamente. Por lo tanto se puede transmitir por esos anchos de bandas disponibles otras tecnologías como son GSM, UMTS, LTE y WIFI.

Finalmente se concluye que este trabajo sirve como modelo para el diseño de redes y sistemas con capacidades cognitivas que tenga poco alcance de cobertura como es el caso de WIFI, para luego una posible implementación en un edificio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Acceso universal. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2007&issue=07&ipage=universal-access&ext=html>. [Último acceso: 1 Octubre 2017].
- [2] Reunión Regional de Coordinación de Frecuencias de la UIT sobre la utilización de la banda de ondas métricas (174-216 MHz) y la banda de ondas decimétricas (470-806 MHz), del 8 al 10 de marzo de 2017, Managua (Nicaragua) [En línea]. Available: <https://www.itu.int/es/ITU-R/2017-RegFreqCoord/Pages/default.aspx>.
- [3] UIT. Manual de comprobación técnica del espectro, Ginebra: Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2011.
- [4] ARCOTEL. Ley Orgánica de Comunicación, Quito, 2013.
- [5] ARCOTEL. Concesiones televisión abierta y digital terrestre, Guayaquil, 2017.
- [6] O. J. Luque, "Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico", ACTA - Autores Científico Técnicos y Académicos, 2014.
- [7] M. D. C. Tobal, "Diseño y evaluaciones de un detector de energía para señales FM", Cartagena, 2011.
- [8] N. R. M. M. A. Fanan.(2015) IEEEXPLORE. [En línea]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7377447/authors>.
- [9] L. F. Pedraza, "Detección de espectro para radio cognitiva," Revista chilena de ingeniería, nº 2, pp. 197-210, 2012.
- [10] Espectro Radioeléctrico [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>.

- [11] Señal Analógica. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al\\_anal%C3%B3gica](https://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al_anal%C3%B3gica).
- [12] Señal Digital. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al\\_digital](https://es.wikipedia.org/wiki/Se%C3%B1al_digital).
- [13] U. I. Valencia.(2016, diciembre 22).Diferencias entre señal analógica y digital. [En línea]. Available: <http://www.viu.es/diferencias-senal-analogica-digital/>.
- [14] Ancho de banda [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ancho\\_de\\_banda](https://es.wikipedia.org/wiki/Ancho_de_banda).
- [15] Arcotel, Norma tecnica para el servicio de radiodifusion de television abierta analogica, 2015.
- [16] b. reyes.(2014, diciembre 1).Tipos de señales analógica y digital . [En línea]. Available: <http://reyesb664.blogspot.com/2014/12/tipos-de-senales-analogica-y-digital.html>.