



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO DE ALGORITMO PARA LA MEDICIÓN DEL ESPECTRO Y DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE CANALES CONJUNTOS EN LA BANDA UHF-TV, MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS RTL-SDR PARA EL INTERIOR DE UN INMUEBLE DE LA ZONA URBANA DE GUAYAQUIL”

**INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

CHRISTIAN HERNAN MOREIRA GONZABAY

SILVIA MARIA SÁNCHEZ RODRÍGUEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a Dios por estar siempre guiándome para conseguir este logro, agradezco también a mi familia y amigos que estuvieron pendientes de mi desarrollo durante este proceso y principalmente a mis padres por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios y motivarme para no darme por vencido y alcanzar mi objetivo.

**Christian Hernán Moreira Gonzabay**

Agradezco primero a Dios, quien me fortaleció día a día en mi fe para poder seguir adelante con paso firme, a mi familia que siempre estuvo presente brindándome su apoyo, a mi padre por su constante colaboración estando en todo momento pendiente de mis necesidades y finalmente la persona más importante mi madre quien estuvo cada día y cada noche junto a mi durante este duro camino siendo el pilar fundamental de mi esfuerzo y dedicación para alcanzar mis metas.

**Silvia María Sánchez Rodríguez**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mis padres por ser un pilar fundamental en mi desarrollo durante este proceso estudiantil, fomentándome siempre buenos valores y principios.

A familiares, amigos, colegas y profesores que marcaron en mí esa motivación para culminar esta etapa de mi vida.

**Christian Hernán Moreira Gonzabay**

Este proyecto se lo dedico a mi Madre, la persona que estuvo luchando junto a mí en todo momento, quien no me dejó desfallecer y fue el impulso que necesitaba día a día para alcanzar este logro en mi vida.

A mi familia, amigos, profesores y compañero de tesis por su constante apoyo, motivación, confianza y paciencia para alcanzar el éxito en esta etapa de mi vida.

**Silvia María Sánchez Rodríguez**

# TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

---

**Msc. Washington Medina**  
PROFESOR DE MATERIA  
INTEGRADORA

---

**Msc. Carlos Valdivieso**  
TUTOR ACADEMICO

## **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"

.....  
Christian Hernán Moreira Gonzabay

.....  
Silvia María Sánchez Rodríguez

## RESUMEN

En los últimos años el incremento en la demanda del ancho de banda que necesitan los dispositivos actuales generan factores negativos como saturaciones o colapsos de los sistemas utilizados en estas bandas, por lo cual se requiere encontrar nuevas formas de emplear el espectro; mediante el despliegue de nuevas estrategias adecuadas con el fin de alcanzar una mejor eficiencia en la distribución del espectro electromagnético para lograr proporcionar un servicio de calidad que mejore el desarrollo de la sociedad.

Debido a la problemática mencionada, el presente proyecto consiste en diseñar un sistema de medición del espectro en la banda UHF-TV en el interior de un inmueble de la zona urbana de Guayaquil. Con el respectivo análisis de los valores potenciales medidos durante una semana podemos determinar la disponibilidad espectral de los canales conjuntos de TV para futuras conexiones de dispositivos con tecnología OSA durante intervalos de tiempo.

Los resultados obtenidos nos indican la probabilidad de encontrar canales disponibles durante la semana, así como también la probabilidad de encontrar canales conjuntos disponibles, para lo cual agrupamos los canales en grupos de 4 para de este modo destinarlo a canales de Wi-fi y poder utilizar estos espacios blancos en la banda espectral y proporcionar acceso a la red mediante estos dispositivos. Finalmente se encontró una probabilidad cercana al 64% de encontrar 2 grupos de 4 canales disponibles en el tercer piso y una probabilidad de 43% de encontrar 7 grupos de 4 canales en el primer piso.

Con estos resultados podemos concluir lo beneficioso que es la implementación de estos sistemas con OSA para el aprovechamiento del ancho espectral.

## ABSTRACT

*In recent years, the increase in demand for the bandwidth required by current devices generate negative factors such as saturations or collapses of the systems used in these bands, which requires finding new ways to use the spectrum; through the deployment of new appropriate strategies in order to achieve a better efficiency in the distribution of the electromagnetic spectrum to achieve a quality service that improves the development of society.*

*Due to the aforementioned problems, the present project consists of designing a spectrum measurement system in the UHF-TV band inside a building in the urban area of Guayaquil. With the respective analysis of the potential values measured during a week we can determine the spectral availability of the joint TV channels for future connections of devices with OSA technology during time intervals.*

*The results obtained indicate the probability of finding available channels during the week, as well as the probability of finding available joint channels, for which we grouped the channels into groups of 4, in order to allocate it to Wi-Fi channels and be able to use These white spaces in the spectral band and provide access to the network through these devices. Finally, it was found a probability close to 64% of finding 2 groups of 4 channels available on the third floor and a 43% probability of finding 7 groups of 4 channels on the first floor.*

*With these results we can conclude how beneficial is the implementation of these systems with OSA for the use of the spectral width.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ABREVIATURAS.....	v
SIMBOLOGIA.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
INDICE DE TABLAS .....	viii
CAPÍTULO 1 .....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.1.1 Objetivo general.....	1
1.1.2 Objetivos específicos.....	1
1.2 Justificación .....	2
1.3 Antecedentes .....	3
1.3.1 Mediciones en la banda UHF-VHF del espectro electromagnético..	4
1.4 Solución propuesta .....	4
1.5 Metodología .....	5
1.6 Alcance .....	5
CAPÍTULO 2 .....	6
2. ESTADO DEL ARTE .....	6
2.1 Espectro Radioeléctrico en el Ecuador .....	6
2.1.1 Espectro Radioeléctrico para Televisión destinado para Ecuador....	7
2.2 Tipos de señales de Tv utilizados en Ecuador.....	9
2.2.1 Televisión Analógica en Ecuador.....	9
2.2.2 Televisión Digital en Ecuador.....	10
2.3 Línea de Vista .....	12
2.4 Tipos de Antenas .....	13
2.4.1 Patrón de radiación.....	13
2.4.2 Ganancia.....	13
2.4.3 Directividad.....	13
2.4.4 Polarización.....	13



2.5 Presupuesto de enlace .....	14
2.6 Acceso Dinámico al Espectro (DSA).....	15
2.6.1 Modelo Dinámico Exclusivo.....	16
2.6.2 Modelo Compartido Abierto.....	17
2.6.3 Modelo de Acceso Jerárquico.....	18
2.7 Acceso Oportunista al Espectro (OSA).....	19
2.7.1 Elementos de una Red para aplicar OSA.....	20
2.7.2 Red Primaria.....	20
2.7.3 Red Secundaria.....	21
2.7.4 Cambio de Espectro.....	21
2.8 Espacios en blanco .....	22
2.9 Detección del espectro .....	23
3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO. ....	26
3.1 Ubicación .....	26
3.2 Descripción del proceso de medición. ....	32
3.2.1 Recepción de Señal.....	33
3.2.2 Almacenamiento de información.....	34
3.2.3 Procesamiento de datos.....	37
3.3 Análisis de disponibilidad.....	40
CAPITULO 4 .....	42
4. ANALISIS DE RESULTADOS .....	42
4.1 potencias receptadas de canales analizados a diferentes alturas.....	42
4.2 Modelamiento Estocástico de los Datos .....	45
4.2.1 Disponibilidad de canal por día.....	45
4.2.2 Función de distribución de probabilidad.....	47
4.2.3 Función de distribución acumulada.....	49
4.3 Disponibilidad de canales Conjuntos .....	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56

## ABREVIATURAS

UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
RTL	Registration Transfer Level
SDR	Software Defined Ratio
Wi-Fi	Wireless Fidelity
OSA	Opportunistic Spectrum Access
TV	Television
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
ITU	International Telecommunications Union
NTSC	National Television System Committee
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting
FM	Frequency Modulation
AM	Amplitude Modulation
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
QPSK	Quadrature Phase –Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
FSL	Free Space Loss
DSA	Dynamic Spectrum Access
ISM	Instrumental, Scientific and Medical
CDMA	Code Division Multiple Access
UWB	Ultra Wide Band
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
USB	Universal Serial Bus
PDF	Probability Distribution Function
CDF	Cumulative Distribution Function

## **SIMBOLOGIA**

KHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
GHz	Gigahertz
dB	Decibelio
dBm	Decibelio-milivatio
H	Horas
Km	Kilometro
m	Metro

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Modulación de señal analógica .....	10
Figura 2. 2 Modulación de señal digital .....	11
Figura 2. 3 Línea de vista entre antena transmisora y receptora .....	12
Figura 2. 4 Patrón de radiación de una antena .....	13
Figura 2. 5 Equipos utilizados para la medición .....	14
Figura 2. 6 Elementos de una comunicación inalámbrica .....	15
Figura 2. 7 Estructura del sistema DSA .....	16
Figura 2. 8 Niveles de Potencia.....	18
Figura 2. 9 Niveles de Potencias requerida por los usuarios .....	19
Figura 2. 10 Red para Aplicar OSA .....	20
Figura 2. 11 Estructura de una Red Primaria .....	21
Figura 2. 12 Espacios en Blanco.....	22
Figura 2. 13 Tipos de detección de espectro.....	23
Figura 3. 1 Modelo de edificación para realizar las mediciones .....	27
Figura 3. 2 Distancia entre antenas transmisoras y receptoras.....	28
Figura 3. 3 Relieve de la Zona .....	28
Figura 3. 4 Ubicación de los equipos de medición dentro del edificio. ....	29
Figura 3. 5 Ubicación de la edificación .....	30
Figura 3. 6 Vivienda donde se realizaron las mediciones .....	31
Figura 3. 7 Vista de profundidad del escenario .....	31
Figura 3. 8 Antena.....	32
Figura 3. 9 RTL-SDR.....	33
Figura 3. 10 Laptop o PC de Escritorio .....	33
Figura 3. 11 Propagación de la señal entre las antenas .....	34
Figura 3. 12 Espectro de canal digital .....	37
Figura 3. 13 Espectro de un canal analógico .....	38
Figura 3. 14 Grafica suavizada del espectro de un canal analógico .....	39
Figura 3. 15 Espectro de un canal Vacío/Ruido .....	40
Figura 4. 1. Niveles de potencia por día del piso 1.....	42
Figura 4. 2. Niveles de potencia por día del piso 2.....	43
Figura 4. 3. Niveles de potencia por día del piso 3.....	44
Figura 4. 4. Grafica de probabilidad PDF piso 1.....	47
Figura 4. 5 Grafica de probabilidad piso 2.....	48
Figura 4. 6. Grafica de probabilidad PDF piso 3.....	49
Figura 4. 7. Grafica de distribución acumulada CDF de todos los pisos .....	50
Figura 4. 8. Probabilidad de canales conjuntos disponibles .....	54
Figura 4. 9. Distribución Acumulada.....	55

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Distribución de frecuencias .....	7
Tabla 2. 2 Rango de frecuencia de los canales.....	8
Tabla 2. 3 Asignación de canales digitales .....	11
Tabla 3. 1 Identificación de canales analógicos y digitales .....	36
Tabla 4. 1. Disponibilidad de Canales .....	46
Tabla 4. 2. Disponibilidad canales conjuntos Piso 1 .....	52
Tabla 4. 3. Disponibilidad canales conjuntos Piso 2.....	52
Tabla 4. 4. Disponibilidad canales conjuntos Piso 3.....	53

# CAPÍTULO 1

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El constante desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de las telecomunicaciones nos lleva a una problemática exponencial debido al incremento en la demanda del ancho de banda, lo cual podría generar inconvenientes a la población de una zona urbana densa al momento de necesitar acceder al espectro electromagnético en busca de algún servicio, por lo tanto solucionar este problema mediante estrategias adecuadas es la base de este proyecto, con el fin de alcanzar una mejor eficiencia en la distribución del espectro electromagnético para proporcionar un servicio de calidad que mejore el desarrollo de una Sociedad.

Para lograr dicha distribución de manera productiva, es necesario desarrollar una solución que gestione y administre el espectro de frecuencias, partiendo de esta premisa buscaremos analizar los espacios blancos en el espectro para su reutilización y fomentar el despliegue de nuevos servicios de telecomunicaciones y lograr una mejor administración de este recurso fundamental de la actual tecnología.

### 1.1 Objetivos

#### 1.1.1 Objetivo general

- Diseñar un algoritmo de medición que permita obtener los valores potenciales del espectro en la banda UHF; para poder determinar mediante el análisis de datos la disponibilidad espectral de canales conjuntos de TV; para futuras conexiones de dispositivos con tecnología OSA durante un intervalo de tiempo.

#### 1.1.2 Objetivos específicos

- Diseñar con el software Matlab el algoritmo que permita obtener y agrupar las mediciones del espectro en los canales de tv y radiodifusión en la banda UHF.
- Realizar el registro de las mediciones del espectro en la banda UHF, en

- un periodo de tiempo determinado y sin interrupciones.
- Analizar los resultados obtenidos en las mediciones para poder identificar el instante en que existirá disponibilidad del espectro de los canales de tv y radiodifusión en la banda UHF.
  
  - Elaborar un análisis estadístico de los resultados obtenidos, a fin de identificar la disponibilidad del espectro con un mejor intervalo de tiempo.

## **1.2 Justificación**

Con el ingreso del mundo a una nueva era de innovación tecnológica como el apagón analógico o el internet de las cosas, nos hace buscar herramientas que nos permitan tener un mayor alcance de conectividad de forma más eficiente. Es ahí donde la creación de nuevos paradigmas empieza a desarrollarse como es el caso de OSA.

El paradigma OSA el cual traducido del inglés se refiere al Acceso Oportunista al Espectro, plantea el uso de espectros radioeléctricos que en determinado instante de tiempo no estén siendo utilizados, este tipo de espacios del espectro se los conoce como “Espacios en Blanco”.

Los estudios para determinar este tipo de espacios del espectro han sido realizados en países desarrollados como Estados Unidos, Alemania, Japón, entre otros; pero en nuestro país los estudios al respecto son prácticamente escasos, sobre todo en zonas urbanas densas.

Bajo esta premisa lo que se quiere lograr con el desarrollo de este trabajo es conocer la disponibilidad del espectro en relación al tiempo; es decir encontrar aquellos espacios en blanco donde un dispositivo podrá conectarse sin interferir las funcionalidades de los demás dispositivos conectados en las frecuencias cercanas.

Así mismo las frecuencias que se contemplaran en este análisis serán las de la banda UHF de Tv, debido a que con los estudios realizados en otras partes del mundo se ha podido determinar que las frecuencias que otorgan una mejor

disponibilidad del espectro son las frecuencias de la banda UHF de TV debido a que este tipo de frecuencias ofrecen una mejor forma de propagación y con la entrada de la televisión analógica a la televisión digital este tipo de bandas quedarán mucho más disponibles con espacios en blanco.

### **1.3 Antecedentes**

En la actualidad el requerimiento por parte de las nuevas tecnologías para satisfacer a los usuarios es mucho mayor día tras día, debido a que la exigencia por parte de los mismos está enfocada en la capacidad y calidad de servicio que reciben, sin embargo, la distribución del espectro no es efectiva lo que ocasiona que estos parámetros en los que están enfocados los usuarios se vean afectados como por ejemplo en las bandas ISM las cuales están congestionadas como producto de la gran cantidad de usuarios que las utilizan, congestión que es mucho mayor en zonas urbanas con una cantidad considerable de habitantes que acceden a los diferentes servicios donde requieran utilizar un fragmento del espectro.

Como sabemos a mayor ancho de banda mayor calidad tendremos, por ejemplo en la telefonía celular la cual proporciona un servicio cuya calidad es limitada y que en algunos casos incluso disminuye para abastecer la gran cantidad de usuarios que utilizan este servicio, tanto que en ocasiones este servicio llega a colapsar por no soportar el alto número de usuarios siendo así una muestra clara de lo limitado que es este recurso.

Para todo proceso de medición del espectro en el cual se realizará un futuro análisis con fines positivos en el aprovechamiento de las bandas de frecuencia, requiere de la ejecución de dos pasos esenciales. El primero paso es la adquisición de datos o información como producto de las mediciones, con su correspondiente presupuesto de enlace en el cual se considera las características de la antena receptora y del equipo que se utilizaran para tal propósito. El segundo paso consiste en el análisis respectivo de las muestras adquiridas mediante el paso uno para diseñar y ejecutar el modelamiento correspondiente que nos proporcione los resultados esperados, en nuestro caso encontrar los espacios blancos en el espectro radioeléctrico.



### **1.3.1 Mediciones en la banda UHF-VHF del espectro electromagnético**

Este tipo de mediciones ya se han efectuado en el país, la cual consiste en el estudio y análisis del espectro electromagnético en la banda de frecuencias destinadas para la radiodifusión, con la finalidad de encontrar espacios en blanco y a partir de esto definir el tiempo en que los dispositivos con capacidad OSA puedan tener conectarse en estos espacios.

En el Ecuador las mediciones que se han realizado han sido desarrolladas en áreas urbanas densas, en edificios de varias plantas; donde el enfoque ha sido dirigido a los pisos inferior, medio y alto; en otros casos solo se ha tomado en cuenta la planta baja y la azotea; dejando las plantas intermedias fuera del análisis.

En estos estudios las mediciones han sido realizadas durante aproximadamente 168 horas; equivalente a una semana, con estos datos se han desarrollado análisis estadísticos para determinar la cantidad de espacios en blanco encontrados en los lugares de medición.

Habiendo analizado las estrategias y estudios realizados en trabajos previos, notamos que se necesita un análisis mucho más preciso para determinar la disponibilidad del tiempo de los espacios en blanco de espectro para poder utilizar de manera más efectiva la técnica OSA.

Por ello nuestro estudio estará enfocado en obtener datos de un edificio de tres plantas, donde los dispositivos serán conectados de forma simultánea, para realizar una toma de muestras sincronizada durante al menos 120 horas ininterrumpidamente, y con estos datos se realizará un análisis estadístico mucho más preciso con respecto al tiempo, que nos indique exactamente en qué momento habrá un espacio en blanco disponible.

## **1.4 Solución propuesta**

Como ya se ha mencionado con anterioridad, estamos frente a un acontecimiento tecnológico de gran magnitud; para el cual es necesario que se utilice de una forma

más adecuada el espectro radioeléctrico, debido al incremento masivo de usuarios que día a día va aumentando de manera acelerada y que promueve la búsqueda de mejores estrategias que permitan a los operadores y a los usuarios realizar un mejor aprovechamiento de las frecuencias de los anchos de banda a los que operan.

Por esta razón se propone en este proyecto, mediante el empleo de modelos estadísticos, establecer un análisis del tiempo específico en que se presentan los espacios en blanco de la banda UHF de televisión, con la finalidad de conocer en qué horas exactas del día un dispositivo con sistema OSA, pueda realizar un acceso oportunista al espectro, a manera de aprovechar aquel espacio vacío dejado por determinado usuario.

### **1.5 Metodología**

Una de las formas en las que se puede obtener la disponibilidad del espectro es midiendo la potencia máxima del canal, estos valores de potencia pueden ser detectados mediante el uso de un dispositivo denominado RTL-SDR, el cual posee rangos de operación variables, que pueden ser configurados variando el sintonizador interno que posee (Turner), lo que permite realizar análisis a diferentes rangos de frecuencia, el más común y más utilizado es el rango de 24-1766MHz, dentro de la cual se encuentran los rangos de frecuencias sobre los que vamos a trabajar que en este caso es el rango de la Banda UHF para Tv tanto analógica como digital. De igual manera se desarrolla mediante el software Matlab una implementación en programación en la cual se configurara los parámetros del RTL-SDR para realizar la recolección de los datos de los canales correspondientes a la banda de Tv. Una vez realizado esto, se conecta el dispositivo RTL-SDR a la Pc para empezar a obtener los valores en potencia deseados, estos datos serán tomados por una semana y serán guardados constantemente en un archivo.

### **1.6 Alcance**

Este tipo de análisis, permitirá el desarrollo de los nuevos avances tecnológicos, dándonos el acceso a la implementación de múltiples aplicaciones en el área de las telecomunicaciones.

# CAPÍTULO 2

## 2. ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Espectro Radioeléctrico en el Ecuador

De acuerdo a la ARCOTEL, máximo organismo regulador de las Telecomunicaciones en el Ecuador:

“El espectro radioeléctrico constituye 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.

A través del espectro radioeléctrico es posible brindar una variedad de servicios de telecomunicaciones que tienen una importancia creciente para el desarrollo y económico de un país.

El espectro radioeléctrico es considerado por la Constitución de la República como un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión. Dentro de este contexto, La legislación de telecomunicaciones ecuatoriana lo define como un recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible.” [1]

De acuerdo a esta breve definición sobre el espectro radioeléctrico proporcionado por ARCOTEL podemos destacar la importancia y exclusividad que tiene este recurso fundamental del Estado, es por eso que nos enfocamos en darle un uso eficiente para mejorar los servicios que se ofrecen a través de estas ondas electromagnéticas, tomando en consideración la gran necesidad de destinar bandas para la utilización de tecnologías modernas y otros servicios. Esta organización mediante control, regulación y administración tiene como objetivo principal garantizar la disponibilidad de servicios de radiocomunicaciones fijas y móviles así como también los próximos servicios que llegarán como resultado de la convergencia tecnológica “Internet de las cosas”.

### 2.1.1 Espectro Radioeléctrico para Televisión destinado para Ecuador

Un canal de televisión está conformado por varios componentes en donde intervienen antenas transmisoras de audio y video, las cuales envían información hacia receptores estacionarios de televisión en sectores específicos procurando mantener una amplia cobertura.

La televisión opera en banda de radiofrecuencias licenciadas, es decir, rangos de frecuencia privadas que requieren de un pago para su uso, esto con el fin de proporcionar servicios evitando interferencias consiguiendo así la eficiencia del espectro.

Las bandas asignadas para Televisión analógica así como a la recién incorporada Televisión Digital en el Ecuador, son las bandas de UHF y VHF. Los rangos de frecuencias y los canales que utilizan esta clase de bandas se detallan en la siguiente tabla:

Banda 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	500-608	21,22,23.....36
	614-644	38,39,40,41,42
	644-698	43,44,45.....51

**Tabla 2. 1 Distribución de frecuencias**

Para estos rangos del espectro, cada canal tiene un ancho de banda de 6MHz. Con esta cantidad se pueden generar aproximadamente cuarenta y dos canales de Tv, de los cuales se pueden utilizar veinte y tres canales; que se dividen en catorce canales para Televisión Analógica y nueve canales para Televisión Digital.

BANDA ITU	CANAL		PORTADORAS	
	No.	RANGO DE FRECUENCIAS ( MHz)	VIDEO (MHz)	AUDIO (MHz)
VHF	2	54-60	55,25	59,75
	3	60-66	61,25	65,75
	4	66-72	67,25	71,75
	5	76-82	77,25	81,75
	6	82-88	83,25	87,75
	7	174-180	175,25	179,75
	8	180-186	181,25	185,75
	10	192-198	193,25	197,75
	11	198-204	199,25	203,75
	12	204-210	205,25	209,75
UHF	21	512-518	513,25	517,75
	22	518-524	519,25	523,75
	23	524-530	525,5	529,75
	24	530-536	531,25	535,75
	25	536-542	537,25	541,75
	26	542-548	543,25	547,75
	27	548-554	549,25	553,75
	28	554-560	555,25	559,75
	29	560-566	561,25	565,75
	30	566-572	567,25	571,75
	31	572-578	573,25	577,75
	32	578-584	579,25	583,75
	33	584-590	585,25	589,75
	34	590-596	591,25	595,75
	35	596-602	597,25	601,75
	36	602-608	603,25	607,75
	37	608-614	609,25	613,75
	38	614-620	615,25	619,75
	39	620-626	621,25	625,75
	40	626-632	627,25	631,75
	41	632-638	633,25	637,75
	42	638-644	639,25	643,75
	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	
50	686-692	687,25	691,75	
51	692-698	693,25	697,75	

Tabla 2. 2 Rango de frecuencia de los canales

## **2.2 Tipos de señales de Tv utilizados en Ecuador**

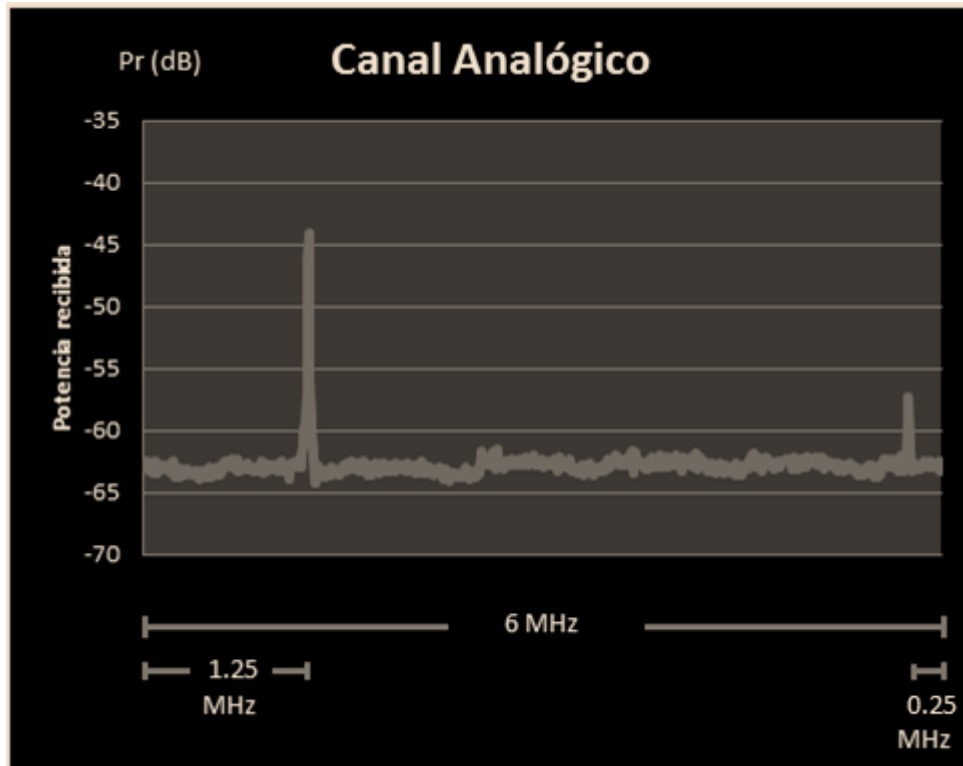
Actualmente en el Ecuador la señal de Tv que se recibe en los hogares, es en su mayoría de tipo analógico y de a poco las cadenas televisivas están cambiando su señal a la plataforma digital. Este cambio total se dará como apertura del apagón tecnológico que se espera inicie en junio del 2018, en las principales ciudades del país como Guayaquil, Quito y Cuenca; para posteriormente extenderse en todo el territorio nacional.

### **2.2.1 Televisión Analógica en Ecuador**

En nuestro país la televisión analógica ha sido implementada mediante el sistema NTSC. Las regulaciones que este sistema impone es lo que permite que cada canal tenga 6 MHz de ancho de banda.

La televisión analógica es un sistema de transmisión y recepción de imágenes y audio mediante señales analógicas las cuales son el método o medio para la difusión de información que llega al receptor de dichas señales que en este caso es la televisión a través de video y sonido.

Hasta hace poco tiempo la televisión era analógica en su totalidad la cual operaba en las bandas VHF y UHF mediante ondas de radio a través del aire.



**Figura 2. 1 Modulación de señal analógica**

Para generar una señal de televisión analógica se necesita tener un ancho de banda de 6MHz, dentro del cual se encuentran los elementos necesarios como son luminancia, cromancia y sincronismo, para formar el componente de video. El componente de audio debe tener un ancho de banda de 20 KHz para ser modulado en FM para que no interfiera en el componente de video. Posteriormente ambas señales pasan a ser moduladas en AM con lo que se obtiene una señal compuesta en banda base que será la señal que se transmitirá para televisión.

### **2.2.2 Televisión Digital en Ecuador**

Al igual que la televisión analógica, la televisión digital en nuestro país está siendo implementada de a poco mediante el sistema ISDB-T; las directrices de este sistema dan la oportunidad de trabajar en el mismo ancho de banda de la televisión analógica; pero obteniendo un mejor aprovechamiento del espectro.

La siguiente tabla muestra la asignación de los canales digitales que actualmente están transmitiendo.

MARCA	AL AIRE	CANAL VIRTUAL	CANAL FÍSICO
CANAL UNO	SI	12.1 HD	33 UHF
ECUADOR TV	SI	HD 7.1/ SD 7.2	21 UHF
ECUAVISA	SI	HD 2.1/ SD 2.2	23 UHF
ESPOL TV	NO	N/D	40 UHF
GAMA TV	NO	HD 8.1 / SD 8.2	47 UHF
OROMAR	SI	HD 26.1	35 UHF
RTS	SI	HD 4.1	25 UHF
RTU	SI	SD 30.1 / MOVIL 30.2	41 UHF
TC	SI	HD 10.1 / SD 10.2	29 UHF
TELEAMAZONAS	SI	HD 4.1 /SD 4.2	32 UHF
TVS	SI	HD 36.1	39 UHF
TELEVICENTRO	NO	HD 11.1 / SD 11.2	31 UHF
UCSG	SI	HD 42.1 / SD 42.2	45 UHF

Tabla 2. 3 Asignación de canales digitales

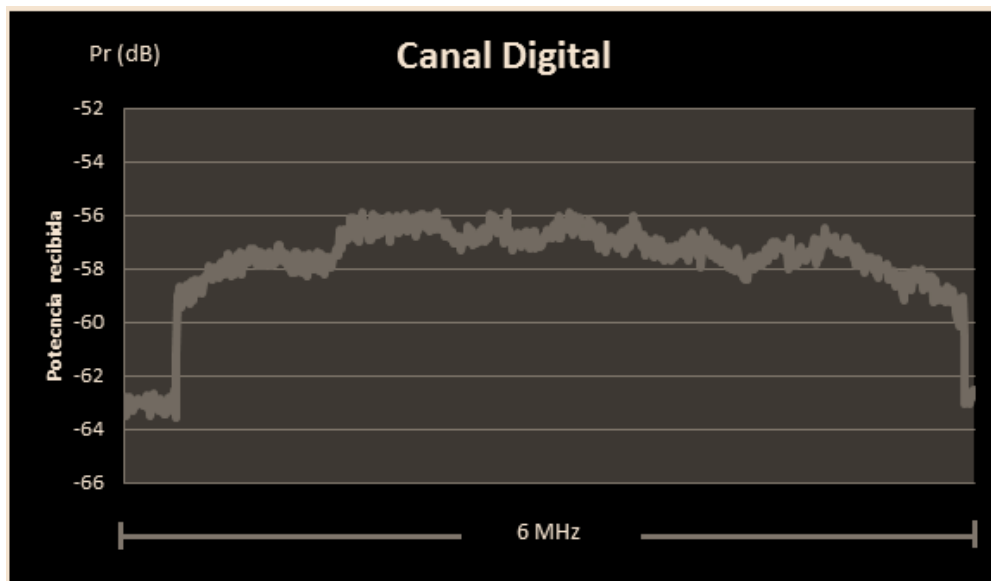


Figura 2. 2 Modulación de señal digital

Para generar una señal de televisión digital necesitamos que el sistema realice una multiplexación de frecuencias COFDM con modulación QPSK/QAM; lo que permitirá obtener de un ancho de banda de 6 MHz perteneciente a un solo canal, varios canales vecinos los cuales transmitirán de forma simultánea señales diferentes utilizando el mismo canal.



### 2.3 Línea de Vista

Cuando nos referimos a la transmisión y recepción de radiofrecuencia, hay que considerar el término línea de vista, la cual representa a la línea trazada desde la antena transmisora hasta la antena receptora sin que exista algún obstáculo u obstrucción entre las dos antenas.

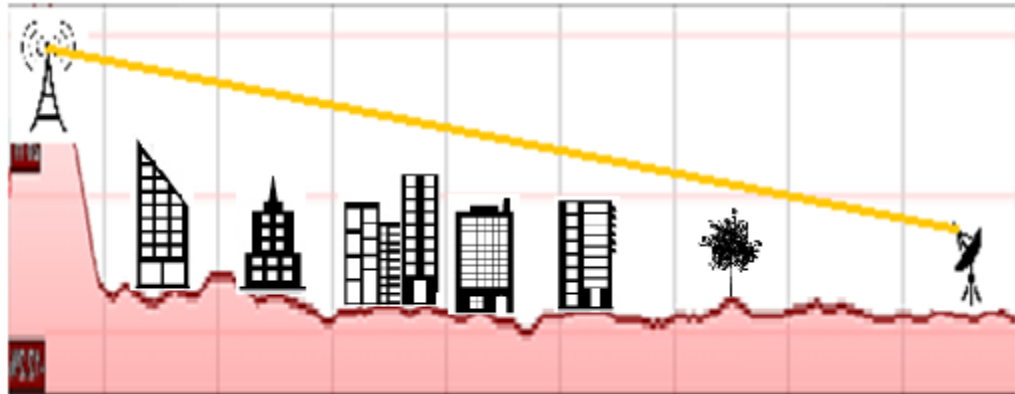


Figura 2. 3 Línea de vista entre antena transmisora y receptora

Que exista una línea directa con la menor cantidad de obstáculos presentes entre las antenas, es necesaria en los sistemas inalámbricos para obtener una mejor eficiencia de recepción de la señal.

Ante la presencia de obstáculos en un sistema de comunicación inalámbrica existirán los efectos de reflexión y refracción de la señal que puede provocar la cancelación de parte de la señal transmitida, lo que genera una reducción en la cobertura o rango de alcance y la calidad de la señal.

Para mejorar la eficiencia de una comunicación inalámbrica, una de los parámetros que se puede considerar es la altura de las antenas tanto transmisora como receptora ya que una altura adecuada puede evitar la obstrucción por parte de vehículos, personas, etc. Incluso con la altura adecuada evitar obstáculos como edificaciones o vegetación lo cual no afectaría la calidad del enlace como ocurriría si las antenas se colocaran a una baja altura.

## 2.4 Tipos de Antenas

La antena es el elemento principal para transmitir ondas electromagnéticas a través del aire mediante enlaces punto a punto o enlace punto a multipunto, las características que se deben considerar para la selección de una antena son las siguientes:

### 2.4.1 Patrón de radiación

El patrón de radiación se representa de dos maneras una es el patrón de elevación y la otra el patrón de Azimuth, representa la energía radiada por la antena mediante una gráfica tridimensional.

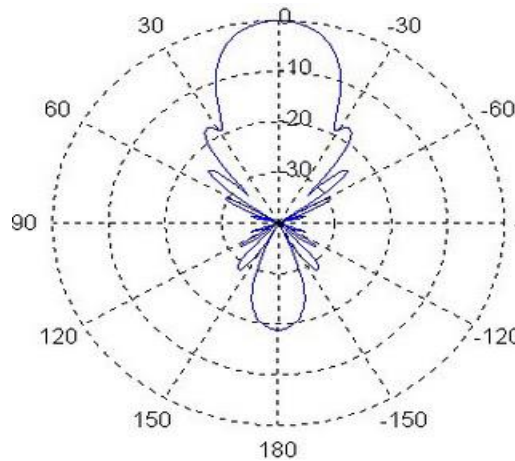


Figura 2. 4 Patrón de radiación de una antena

### 2.4.2 Ganancia

La ganancia de una antena representa la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada, es decir, indica la cantidad de energía que sale de la antena.

### 2.4.3 Directividad

La Directividad representa la capacidad que tiene la antena para dirigir la energía hacia un punto específico por lo que una antena con alta directividad se podría emplear para un enlace punto a punto en donde se busca el envío de la información a un único punto receptor.

### 2.4.4 Polarización

La polarización representa la orientación de las ondas electromagnéticas al ser irradiadas desde la antena, la polarización puede ser Lineal o de tipo

Circular. Elegir la antena adecuada en este sentido implica un mejor rendimiento considerando que tanto la antena transmisora como receptora deben poseer la misma polarización.

Algunos tipos de antenas son:

- Antena Dipolo
- Antena Dipolo multi-elemento
- Antena Yagi
- Antena Panel Plano
- Antena Parabólicas



Figura 2. 5 Equipos utilizados para la medición

## 2.5 Presupuesto de enlace

El presupuesto de enlace es el cálculo de todas las ganancias y pérdidas presentes en un sistema de comunicación inalámbrica, en otras palabras es la consideración de todo lo que influye positiva y negativamente en el sistema. Estas consideraciones se las debe realizar en el transmisor, en el receptor y en la trayectoria o espacio libre donde se realiza la propagación.

En el transmisor los elementos que influyen en la señal son:

La potencia de transmisión, la ganancia de la antena y pérdidas en cables y conectores. Mientras menos cortos sean los cables, menor será la pérdida producida por estos.

En la propagación los elementos que influyen son: La pérdida en el espacio libre y la zona de Fresnel.

En el receptor los elementos que influyen en la señal son: La ganancia de la antena receptora, la sensibilidad del receptor y las pérdidas por cables y conectores.

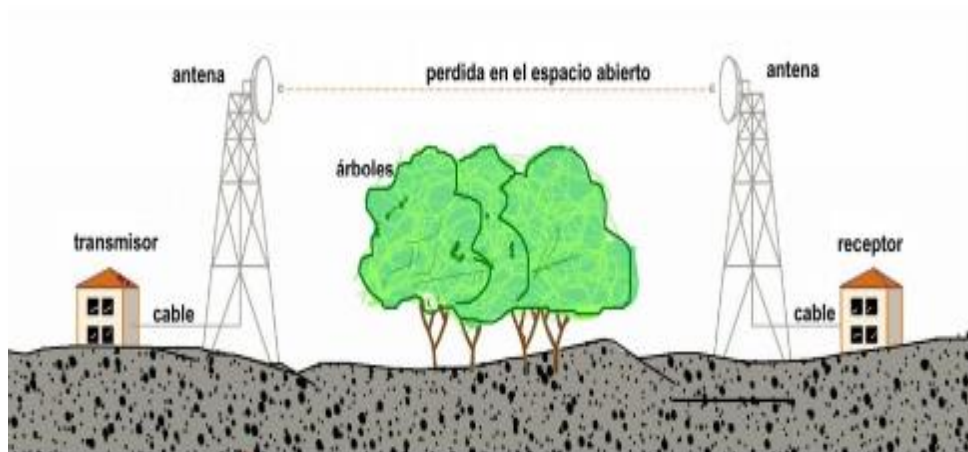


Figura 2. 6 Elementos de una comunicación inalámbrica

La pérdida en el espacio libre está representada por la siguiente ecuación:

$$FSL(dB) = 20 \log(d) + 20 \log(f) - 187.5 \quad (2.1)$$

d: distancia entre las antenas

f: frecuencia de operación

## 2.6 Acceso Dinámico al Espectro (DSA)

Con el incremento del uso diario de dispositivos tecnológicos, la búsqueda constante de nuevas tecnologías, el desarrollo de aplicaciones que requieren el uso de cada vez más ancho de banda del espectro radioeléctrico, la comunidad científica internacional se ha visto en la necesidad de proponer nuevos paradigmas de

investigación, que estén dirigidos precisamente a lograr obtener un mejor acceso a sistemas cuya funcionalidad depende directamente del uso que se le dé al espectro radioeléctrico.

Basados en esta necesidad inminente, se empezó a desarrollar la búsqueda de estas nuevas estrategias, que permiten lograr estos avances tecnológicos. De estas propuestas es donde nace el sistema DSA.

El sistema DSA, está formado por tres modelos estructurales que se muestran en la gráfica a continuación.

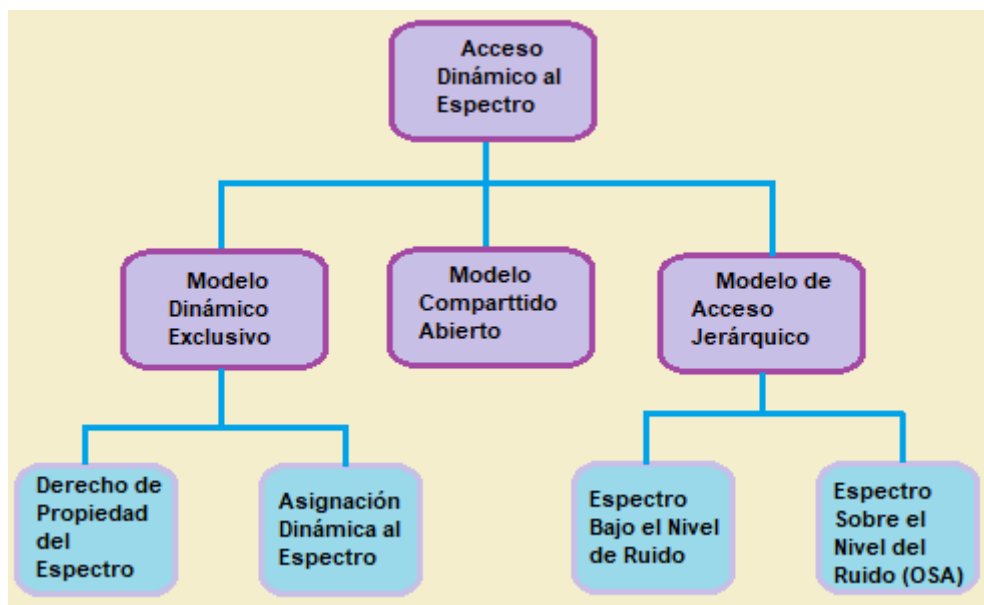


Figura 2. 7 Estructura del sistema DSA

### 2.6.1 Modelo Dinámico Exclusivo

En este modelo los operadores brindan a sus usuarios concesionados el uso de bandas determinadas, para las tecnologías de acceso exclusivo de sus usuarios.

Con esto modelo las operadoras están orientadas a dirigir de mejor manera el uso del espectro otorgado a sus usuarios, bajo estos dos conceptos:

Derecho de Propiedad del Espectro.- Este concepto se basa en la premisa, de que cada usuario, es “dueño” de la banda de operación por la que cancela un valor monetario al operador para poder ser utilizada, por lo tanto es su

“derecho”, utilizar esta banda del espectro como mejor lo crea conveniente; es decir poder “alquilar” o “promocionarla” a manera de “compartir” los gastos que adquiere con el operador.

Aunque en teoría esto podría ser posible, actualmente debido a las leyes que rigen las operadoras los usuarios no tiene permitido realizar este tipo de acciones.

Asignación Dinámica al Espectro.- este concepto nace del proyecto DRIVE (proyecto europeo basado en un sistema de estaciones de radio ubicadas en cierta comunidad), en el cual se maneja la posibilidad de compartir con otros sistemas de radiofrecuencia el uso de las bandas del sistema de estaciones de radio, dependiendo del tiempo que estas estén siendo utilizadas y de la distancia de alcance a la que se encuentren.

Este concepto permite analizar como varía el uso del espectro a través del tiempo, permitiendo determinar los instantes en el que el espectro se encuentra libre y si se está a una distancia adecuada, es decir lo suficientemente alejada del sistema para que este no pueda transmitir en dicha banda y así obtener ese espacio vacío que permita optimizar el uso de estas frecuencias.

### **2.6.2 Modelo Compartido Abierto**

Este modelo que aún está solo en estudios de investigación, su idea principal se basa en la compartición del espectro de dispositivos que operan en la misma banda sin interferirse con éxito, un claro ejemplo de este modelo son los sistemas de Wi-Fi o Bluetooth, que operan en la banda ISM, comandados por un organismo de regulación.

A pesar de que se habla de un organismo de regulación, no se sustenta realmente en un esquema de este tipo como tal; debido a que a pesar de que estos sistemas han logrado funcionar simultáneamente; en ciertos momentos se han detectado fallas como colapsos del sistema o saturaciones en esta banda de operación. Sin embargo lo que busca la comunidad científica

internacional es que se pueda regular el uso de esta banda de forma real a fin de evitar que se sigan produciendo estos errores.

### 2.6.3 Modelo de Acceso Jerárquico

Este modelo está basado en la interacción de los usuarios tanto de la red primaria como de la red secundaria, principalmente lo que se quiere lograr bajo este concepto es que un usuario secundario pueda tener acceso a la banda en la que está operando un usuario primario de manera que no se produzca una interferencia entre ellos, misma que sería limitada por el usuario primario.

Con esta idea se generan dos conceptos:

Espectro Bajo el Nivel del Ruido.- Este concepto concede la posibilidad de que los usuarios secundarios puedan sobreponerse a la transmisión del usuario primario; siempre y cuando cumplan con las condiciones de potencia estrictamente establecidas, debido a que en este punto se está propenso a generar interferencias; las cuales deben ser de bajo nivel y estar muy bien controladas por estos usuarios “invasores”.

En este tipo de escenarios los esquemas que mejor pueden desenvolverse son los esquemas CDMA y UWB debido a su característica de buen manejo de espectro ensanchado; lo que les permite debido a su ancho de banda bastante amplio, moverse por todo ese espectro. [3]

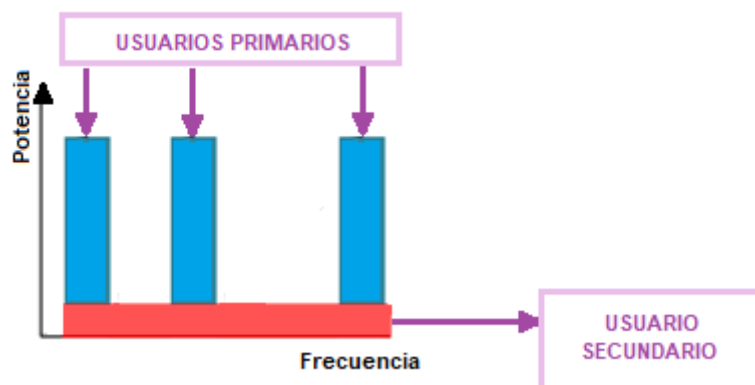


Figura 2. 8 Niveles de Potencia

Espectro Sobre el Nivel del Ruido.- En cambio a diferencia del concepto anterior; este no es tan estricto al momento de restringir el acceso de los usuarios secundarios; pero sí presenta restricciones en la determinación del tiempo en que el usuario secundario puede transmitir información o no; este tipo de espectro es el que “toma la decisión” por el usuario.

Desde otra perspectiva, este tipo de espectro determina si la frecuencia que fue asignada al usuario primario está siendo utilizada o no; si no lo está; entonces permite al usuario secundario hacer uso de esta frecuencia de una forma oportunista. [4]

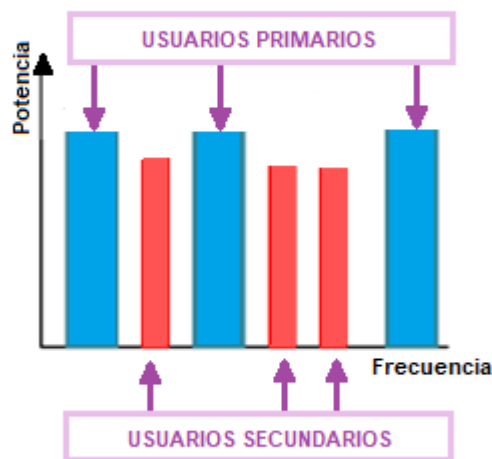


Figura 2. 9 Niveles de Potencias requerida por los usuarios

## 2.7 Acceso Oportunista al Espectro (OSA)

OSA es la solución más destacada que sobresale al momento de hablar del aprovechamiento del espectro electromagnético, ya que se puede buscar fragmentos de frecuencias dentro de las bandas licenciadas que estén libres o desocupadas en un instante de tiempo para utilizarlas de manera oportunista para prestar otros servicios o ser utilizadas como si fueran bandas no licenciadas por un breve periodo de tiempo mientras estén libres. De aquí deriva su nombre, en el aprovechamiento oportunista de las bandas licenciadas en los intervalos de tiempo que presenten espacios blancos, con el fin de explotar el espectro electromagnético obteniendo una eficiencia máxima en su uso siempre y cuando no interfiera con los usuarios de las bandas licenciadas.



Para la implementación del OSA se han efectuado diversos estudios, así como también análisis y experimentos de campo en donde a través de la utilización de equipos de medición y modelamientos probabilísticos, se han utilizado para comprobar el comportamiento de los segmentos vacíos dentro de un rango de frecuencia. Este análisis se ha llevado a cabo en zonas abiertas y en zonas urbanas de alta densidad, con el objetivo principal de encontrar dichos segmentos que se podrían utilizar mediante el despliegue del sistema OSA para el uso oportunista del espectro. [2]

### 2.7.1 Elementos de una Red para aplicar OSA

El sistema OSA necesita que la red sobre la cual va a ser aplicado, este formado por dos grupos relevantes de pequeñas subredes conocidas como red primaria o licenciada y red secundaria o no licenciada.

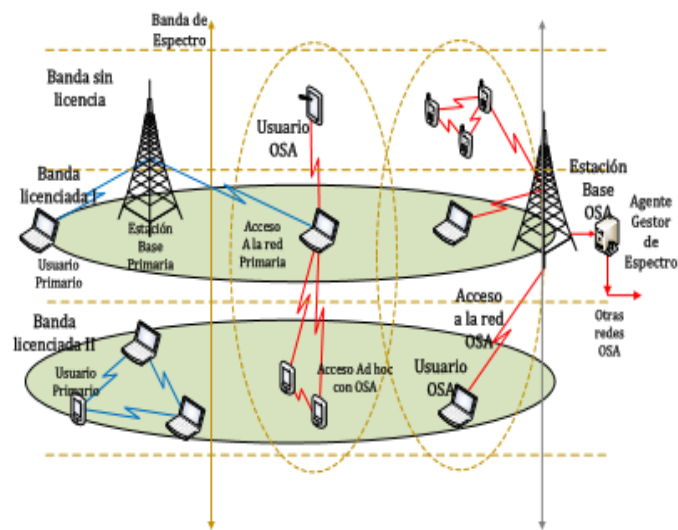


Figura 2. 10 Red para Aplicar OSA

Esta arquitectura de redes permite que se pueda realizar una interacción entre ambas, dando paso a que los usuarios de las redes no licenciadas puedan ocupar el espacio vacío que dejan los usuarios de las redes licenciadas durante un intervalo de tiempo.

### 2.7.2 Red Primaria

Este tipo de red es aquella que está conformada por los usuarios que han sido concesionados por las operadores móviles para funcionar en una banda

previamente asignada por estos, el uso de esta banda es controlado por las antenas base del operador para permitir el acceso a cada usuario de tal forma que el mismo no pueda ser interferido por otros usuarios de la misma operadora o por usuarios externos.

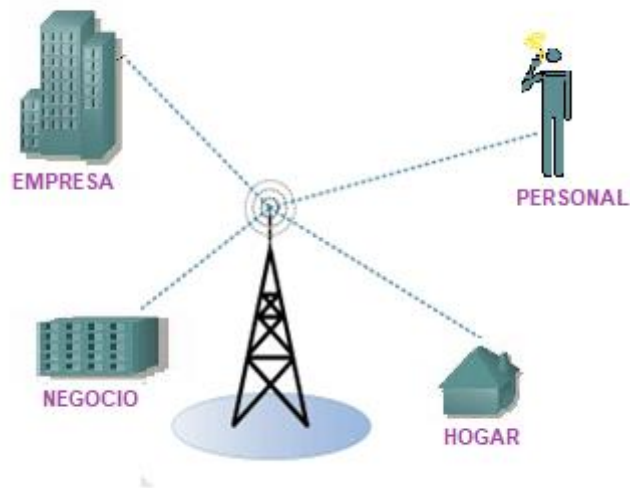


Figura 2. 11 Estructura de una Red Primaria

### 2.7.3 Red Secundaria

Estas redes son de tipo no licenciadas, debido a que no han sido concesionadas por ningún operador para operar en alguna banda determinada del espectro. De ahí es que nace la idea de desarrollar los sistemas OSA, para mediante el uso de una estación base exclusiva para OSA, permita a esta clase de usuarios desplegarse por la red primaria mediante un acceso oportunista al espectro.

### 2.7.4 Cambio de Espectro

El cambio de espectro consta de dos ejes fundamentales, que deben ser ejecutados al mismo tiempo; los cuales son: detección del usuario primario y enlace de mantenimiento.

Ahora bien; para que el proceso de cambio de espectro sea logrado con éxito es primordial que sus dos ejes entren en acción; primero inicia la detección del usuario primario; que no es otra cosa que el trabajo de búsqueda permanente por parte del usuario secundario; el cual mientras transmite y

recibe información debe estar constantemente verificando si el usuario primario es detectado; cuando el usuario primario aparece el usuario secundario debe liberar el canal. Es aquí cuando el usuario secundario pone en ejecución el enlace de mantenimiento el cual le permite culminar la comunicación iniciada y seguir monitoreando todos los canales del espectro hasta que logra localizar otro canal disponible. [5]

## 2.8 Espacios en blanco

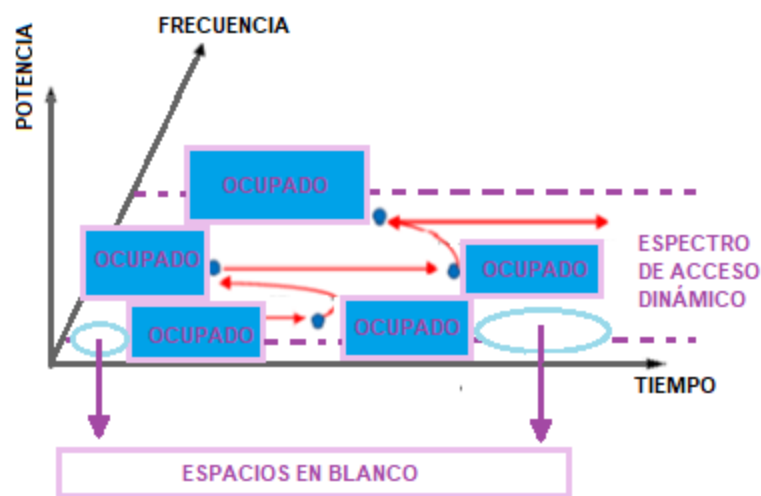


Figura 2. 12 Espacios en Blanco

Los espacios en blanco, son porciones del espectro que no están siendo utilizadas durante un intervalo de tiempo.

Esta clase de comportamientos se dan debido a que en las bandas de tipo licenciada, en cierto momento sus usuarios no están utilizando el segmento del espectro que se les ha asignado; por lo tanto en ese instante se genera un espacio libre en el espectro que bien podría ser utilizado por otro usuario de manera oportunista.

En los estudios realizados previamente sobre la disponibilidad del espectro, es donde se encontró que la banda VHF-UHF de TV, es en la que se producen muchos más espacios en blanco; uno de los factores que más influye en este aspecto, es su gran capacidad de propagación.

## 2.9 Detección del espectro

La arquitectura OSA está basada en los espacios en blanco que puedan encontrarse en el espectro durante la transmisión y recepción de información de los usuarios primarios; así como en la oportunidad que encuentran los usuarios secundarios de acceder a ese espectro hasta que, el usuario primario vuelva a requerir el uso de su banda espectral y de esta manera evitar la interferencia entre ambos.

La detección del espectro se divide en dos grupos: detección local y detección cooperativa.

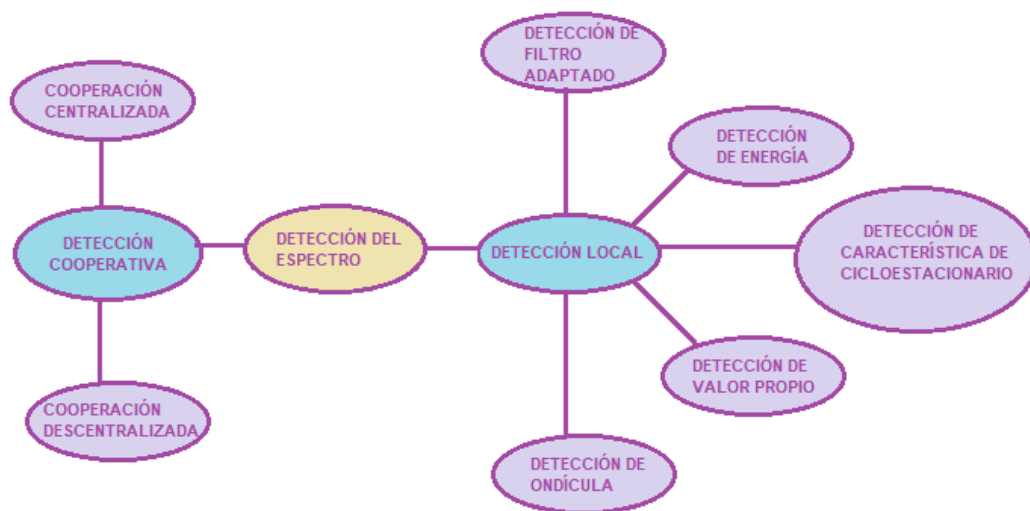


Figura 2. 13 Tipos de detección de espectro

Detección local.- Esta forma de detección es la que permite que cada usuario secundario encuentre un espacio en blanco para sí mismo. Dentro de la detección local se encuentran las siguientes sub formas de detección.

Detección de Filtro Adaptado.- Para emplear este método de detección se debe conocer todos los parámetros de la señal que está siendo generada por el usuario como son su modulación, tipo de paquetes, información, entre otros; con los cuales se realizara una correlación entre la señal recibida desde la transmisión y la señal generada por el usuario primario; para de esta manera poder muestrearla y determinar si la señal recibida es la señal que le corresponde a ese usuario.

Detección de Energía.- Este método de detección está basado en medir la energía de la señal receptada generada por el usuario primario y compararla con el valor máximo de la sensibilidad del equipo de recepción, la misma que es la señal mínima que se requiere y que está reconocida por los organismos internacionales de regulación.

Mediante este método se puede obtener información importante, puesto que se pueden realizar varias aproximaciones; por ejemplo: si se analiza la energía receptada y si encuentra que esta es mayor que el máximo valor de sensibilidad del equipo se puede concluir que el espectro está siendo ocupado por el usuario. Por otro lado si al analizar la energía receptada se encuentra que esta menor al máximo valor de sensibilidad entonces se podrá concluir que el espectro no está siendo utilizado por el usuario; por lo tanto se encontrara un espacio en blanco.

Detección de Característica Cicloestacionaria.- Con este método se les permite a los usuarios primarios transmitir tomando en consideración los periodos de la señal; es decir; este método analiza la cantidad de veces en que se dio el mismo cambio en el comportamiento de la señal durante los periodos de tiempo cuyos eventos son similares. Con esta característica se logra diferenciar a la señal del usuario de las señales de interferencia y de ruido.

Un gran ejemplo en donde se emplea este tipo de característica son las señales OFDM; mismas que antes de ser transmitidas son cambiadas de en su forma estructural; lo que permite que el receptor pueda fácilmente distinguirla de las demás señales que le llegan.

Detección del Valor Propio.- Este método está basado en la creación de una matriz de covarianza de los valores de la señal recibida, de esta matriz se escogen los valores propios y con el análisis de estos valores se determina si el usuario primario genera una señal que está transmitiendo información.

Detección de Ondícula.- este método utiliza un algoritmo denominado transformada de Ondícula, que es una “transformada matemática que representa una señal en

términos de versiones trasladadas y dilatadas de una onda finita (denominada ondula madre)", la cual permite encontrar las señales generadas por los usuarios primarios cuyos espectros poseen un gran ancho de banda y su densidad espectral de potencial está en el rango de las sub-bandas.

Detección Cooperativa.- Por medio de este método de detección se genera una cooperación entre los usuarios secundarios, debido a que se realiza un trabajo conjunto para determinar espacios en blanco. Dentro de este método se encuentran las siguientes formas de cooperación:

Cooperación descentralizada.- Este tipo de cooperación está basada en el tipo de información que comparten los usuarios secundarios, puesto que la información que comparten es la detección local del estado de ocupación en el que se encuentra la banda, así con este intercambio de información todos los usuarios secundarios pueden analizar el estado de utilización esa banda.

Cooperación centralizada.- En cambio en este método de cooperación se denomina a un usuario secundario central, el cual se asemeja a una estación base; y este usuario es el que se encarga de intercambiar la información sobre la detección de localidades disponibles a los demás usuarios, es el único encargado de analizar el estado de utilización de la banda.

## **CAPITULO 3**

### **3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO.**

Como ya se ha mencionado anteriormente, entre los efectos provocados por el constante crecimiento de una población, es la saturación en el uso del espectro lo cual limita el acceso a las tecnologías en el área de telecomunicaciones generando también la posibilidad de que existan interferencias como producto de la densidad urbana que utiliza estos sistemas.

En este capítulo procederemos a describir el escenario en donde se realizó el respectivo estudio del proyecto, mostrando detalladamente las características y el ambiente en el que se llevó a cabo el análisis, así como también las herramientas necesarias para realizar las mediciones de la banda UHF de televisión.

Se llevará a cabo también la explicación paso a paso del proceso necesario para el registro de datos obtenidos de las mediciones que se efectuaron a través de la utilización de un software, computadoras y equipos adecuados para las mediciones, dichos componentes fueron monitoreados constantemente para evitar inconvenientes al momento de analizar y grabar las potencias en un instante de tiempo del espectro elegido para dicho análisis.

El software que se utilizó para este estudio nos proporcionó un registro continuo de los datos generados en las mediciones, los cuales mediante procesos matemáticos nos dará los resultados necesarios para implementar la solución adecuada a la problemática ya mencionada en el primer capítulo.

#### **3.1 Ubicación**

La ubicación en donde se realizará este estudio debe ser el adecuado y que cumpla con todos los requisitos, principalmente debe ser una zona urbana que posea una alta densidad de edificios en donde existan una considerable cantidad de usuarios con la necesidad de acceder a los beneficios del espectro.

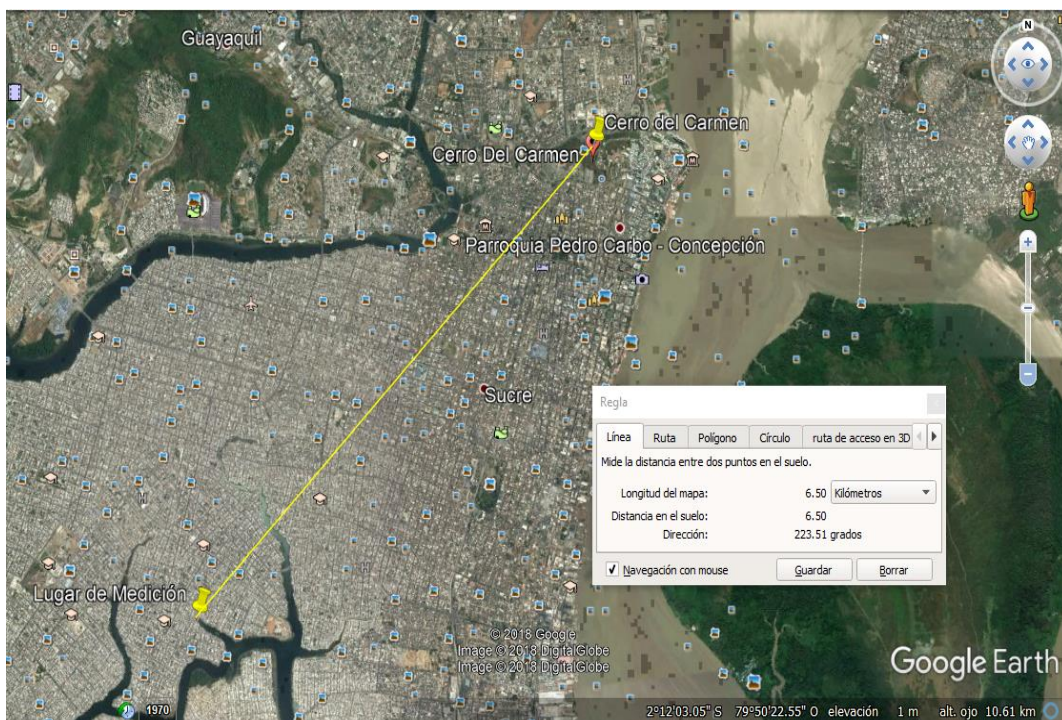
El objetivo de elegir el lugar o edificación adecuada para la realización del proyecto, es considerar todas las características que posee una señal al propagarse por el medio, en este caso el aire. Así como exponerse a las atenuaciones, reflexiones o refracciones como producto de la presencia de otros edificios, ventanas, paredes, y otros elementos que influyan en las ondas electromagnéticas, lo cual podría representar una pérdida en la potencia de transmisión de dicha señal.



**Figura 3. 1 Modelo de edificación para realizar las mediciones**

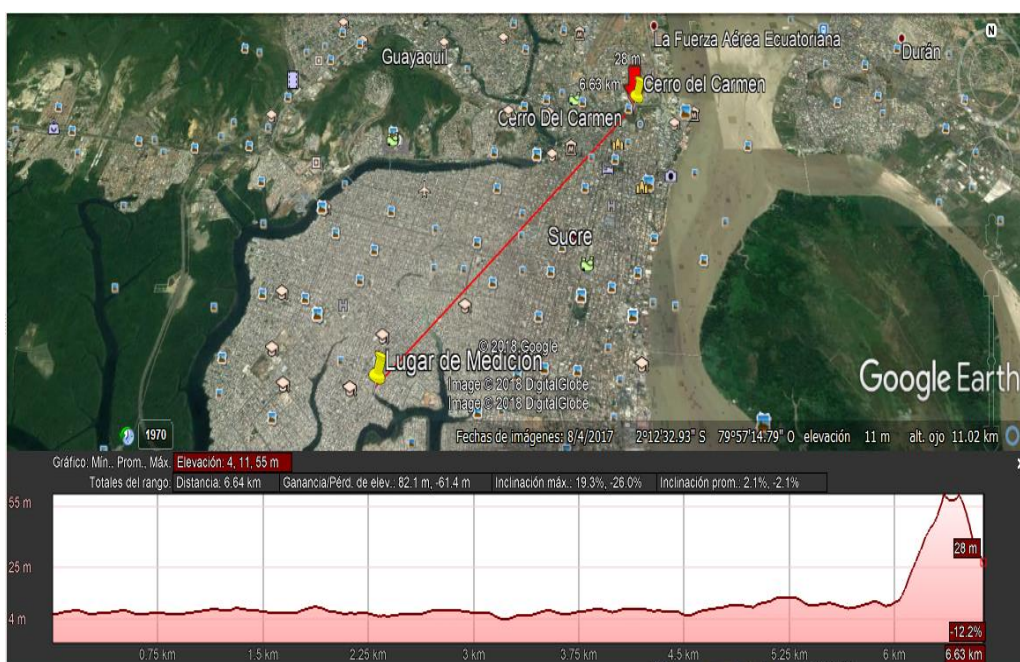
El edificio elegido para proceder con la toma de mediciones está ubicado en el sur de la ciudad de Guayaquil tal como se muestra en la siguiente figura.





**Figura 3. 2 Distancia entre antenas transmisoras y receptoras**

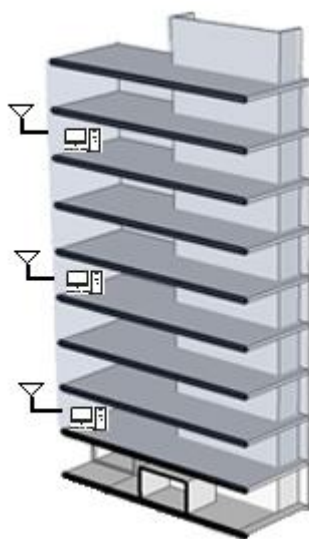
Como vemos en la Figura 3.2, la distancia que existe entre el Cerro del Carmen en donde se ubican la mayoría de las antenas de transmisión de televisión, y la localidad donde se colocaran las antenas RTL es de aproximadamente 6,5 km.



**Figura 3. 3 Relieve de la Zona**

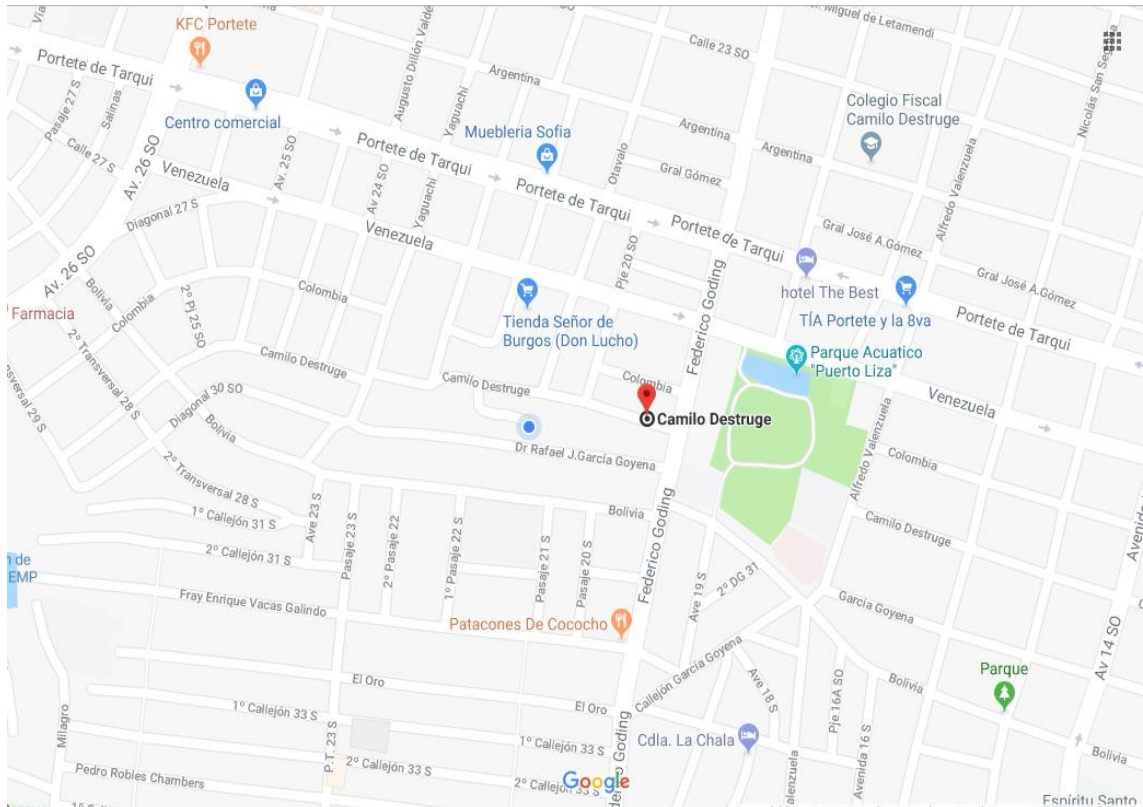
En esta zona es en donde encontramos el ambiente pertinente para la realización del estudio ya que hay presencia de otros edificios así como también departamentos.

Las mediciones se realizaron en 3 lugares dentro de la misma edificación, las cuales serán planta alta, planta media y planta baja, en donde se instalaran los equipos de medición al mismo nivel en los diferentes pisos, para obtener datos en donde la cantidad de paredes y pisos afectaran la propagación de la señal.



**Figura 3. 4 Ubicación de los equipos de medición dentro del edificio.**

La ubicación exacta del edificio en el cual se realizaron las mediciones está indicada en la siguiente figura.



**Figura 3. 5 Ubicación de la edificación**

En este sector se seleccionó el edificio que contara con 3 plantas como mínimo para poder realizar las mediciones con los equipos respectivos y cubrir por completo los diferentes pisos y de este modo analizar los resultados obtenidos durante los 5 días de medición, iniciando desde lunes hasta viernes.

Al igual que la vivienda elegida, a su alrededor encontramos otras viviendas de igual tamaño, es decir, también de 3 plantas que de alguna u otra manera influían en la toma de datos ya que se presentan como obstáculos para nuestros sistemas de medición, lo cual ocurre siempre en zonas con alta densidad de edificaciones, generalmente en las zonas céntricas de ciudades y metrópolis. Estos aspectos nos proporcionan el ambiente adecuado para someter el sistema a los efectos que influyen en la propagación de las ondas electromagnéticas utilizadas para la transmisión de televisión en la banda UHF.





**Figura 3. 6 Vivienda donde se realizaron las mediciones**



**Figura 3. 7 Vista de profundidad del escenario**

En la Figura 3.7 observamos las otras viviendas, las cuales poseen la misma altura que la vivienda elegida para realizar las mediciones. Dentro de la vivienda los equipos de medición fueron instalados cuidadosamente para medir las potencias en un instante de tiempo durante las 24 horas del día.

### **3.2 Descripción del proceso de medición.**

El proceso de medición estuvo distribuido en dos semanas, debido a que se midió el espectro en la banda UHF durante 5 días, cubriendo los días desde lunes hasta viernes en donde los equipos se mantuvieron encendidos durante las 24 horas. Para completar las mediciones sin sobrecalentar los equipos, se procedió a efectuar cada medición saltando un día para de este modo no abusar del uso continuo de los equipos y evitar alguna falla en la adquisición de datos como producto del calentamiento de los elementos utilizados.

Para la obtención de los datos correspondiente a las mediciones del espectro requerimos de un software que nos ayude a recopilar dicha información la cual trabajara en conjunto con otros elementos para cumplir con el objetivo principal de la medición.

Los procesos que se llevaron a cabo los podemos clasificar en 3 pasos: 1. Recepción de señal, 2. Almacenamiento de la información y 3. Procesamiento de datos.

También es necesario mencionar los equipos y elementos que se utilizaran para alcanzar nuestro propósito, estos elementos se los presenta a continuación:



**Figura 3. 8 Antena**



**Figura 3. 9 RTL-SDR**



**Figura 3. 10 Laptop o PC de Escritorio**

### **3.2.1 Recepción de Señal.**

Como primer paso para la obtención de mediciones, necesitamos recibir o captar las señales presentes en el aire, para ello utilizaremos una antena omnidireccional que trabajara en conjunto con el receptor RTL-SDR (RTL2832U), estos equipos poseen un rango de operación o recepción desde 24 MHz hasta 1,766 GHz. Este componente se conectará al ordenador mediante el puerto USB.

Su pequeño tamaño lo hace perfecto para la instalación en un reducido espacio dentro del edificio, así como también su fácil portabilidad para ubicarlo en el lugar más conveniente para la respectiva recepción de señal.

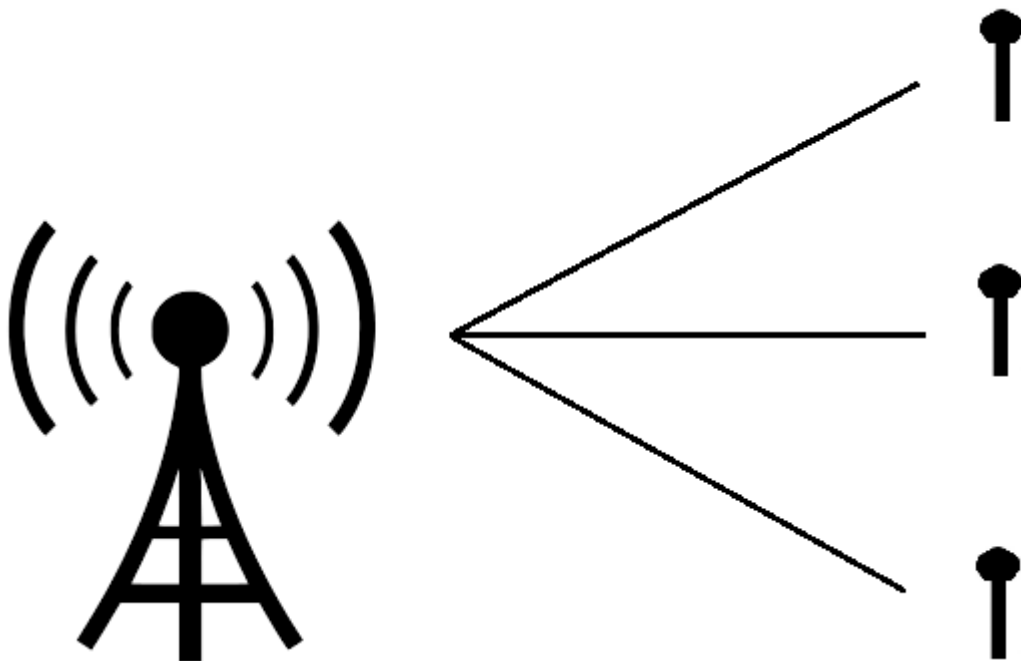


Figura 3. 11 Propagación de la señal entre las antenas

Como ya se había mencionado la colocación de las antenas receptoras deben ser todas al mismo nivel entre pisos, por esa razón se las coloco los equipos de medición, especialmente la antena en el mismo espacio físico en los diferentes pisos, con el propósito de que cada sistema esté sometido a las mismas condiciones teniendo como diferencia la altura correspondiente a cada antena y la densidad de obstrucción de cada una. Una de las características que podemos mencionar es que en el piso más alto del edificio, la potencia medida por la antena va a ser mayor que la potencia medida por la antena colocada en el piso de abajo.

### 3.2.2 Almacenamiento de información

Para este paso requerimos de un ordenador en el cual se utiliza el software Matlab para implementar un código que permita la captación de los datos obtenidos a través del RTL. Mediante este programa podemos definir a través de software el rango de frecuencias que se desea medir, así como también características de la antena y el tiempo en que se desea hacer la medición.

Estos datos obtenidos serán adjuntados instantáneamente en un libro en Excel en donde serán almacenados indicando día, mes y año en que se

realizó la medición y también la hora exacta en que se realiza cada captura de datos. Cabe recalcar que el tiempo que tarde en realizar un barrido y guardar los datos es aproximadamente cada 2 minutos esto depende de la capacidad del procesador que posea el ordenador.

Con un adecuado procesador se podría conseguir mediciones con intervalos de espera de 1 minuto. Es por esta razón que utilizamos el equipo con un procesador más eficiente en la planta baja de la vivienda ya que es aquí donde obtendremos los datos de mayor interés, debido a que está ubicado en lo más bajo del edificio y como producto de eso obtendremos una mayor probabilidad de encontrar canales vacíos o blancos.

El rango del espectro de interés será el de UHF para televisión que va desde 512 MHz hasta 698 MHz, estos fueron guardados en el archivo Excel saltando intervalos de frecuencia y lo que nos mostrara es la potencia de recepción en dB medida en un instante de tiempo en dichos intervalos de frecuencia.

El código utilizado para el almacenamiento de los datos también cuenta con un autoguardado para evitar la pérdida de la información en caso de que el equipo se apague o se detenga la ejecución del programa, el archivo Excel se guarda automáticamente cada 30 mediciones, y dichas mediciones son repartidas en dos hojas de Excel debido a que todo el rango de la frecuencia analizada es mucho mayor que la cantidad de columnas que posee Excel. En la primera hoja está el rango de frecuencia desde 512 MHz hasta 632 MHz, y en la segunda hoja tenemos el rango de frecuencia desde 632 MHz hasta 698 MHz.

En la Tabla que se muestra a continuación, se encuentra detalladamente los canales de televisión, la frecuencia en la que transmiten y el tipo de canal asignado. Como observaremos existen canales no usados por lo tanto siempre se encontraran disponibles.



<b>Canal</b>	<b>fi</b>	<b>fi + 6</b>	<b>Tipo de canal</b>
21	512	518	Digital
22	518	524	Vacío
23	524	530	Digital
24	530	536	Analógico
25	536	542	Digital
26	542	548	Analógico
27	548	554	Digital
28	554	560	Analógico
29	560	566	Digital
30	566	572	Analógico
31	572	578	Vacío
32	578	584	Analógico
33	584	590	Digital
34	590	596	Analógico
35	596	602	Digital
36	602	608	Analógico
37	608	614	Vacío
38	614	620	Analógico
39	620	626	Digital
40	626	632	Vacío
41	632	638	Vacío
42	638	644	Analógico
43	644	650	Analógico
44	650	656	Vacío
45	656	662	Digital
46	662	668	Analógico
47	668	674	Vacío
48	674	680	Analógico
49	680	686	Vacío
50	686	692	Vacío
51	692	698	Vacío

**Tabla 3. 1 Identificación de canales analógicos y digitales**

### 3.2.3 Procesamiento de datos.

Finalmente, una vez obtenidas las mediciones correspondientes a cada piso durante el tiempo establecido, continuamos con el análisis, proceso y simplificación de los datos captados por la antena y almacenados en los archivos Excel.

El dato almacenado nos presentara un valor de potencia en una frecuencia instantánea, para obtener la frecuencia de referencia en los distintos canales que se van a analizar, es necesario realizar un proceso aritmético o estadístico para obtener una potencia promedio considerando todos los valores obtenidos por canal. Para obtener las potencias promedio una vez identificado el tipo de canal, debemos considerar 3 casos:

- **Canal Digital**

En el caso de los canales digitales, obtendremos la potencia promedio de cada canal considerando que la gráfica correspondiente a la potencia medida en un instante de tiempo está representada con la siguiente figura.

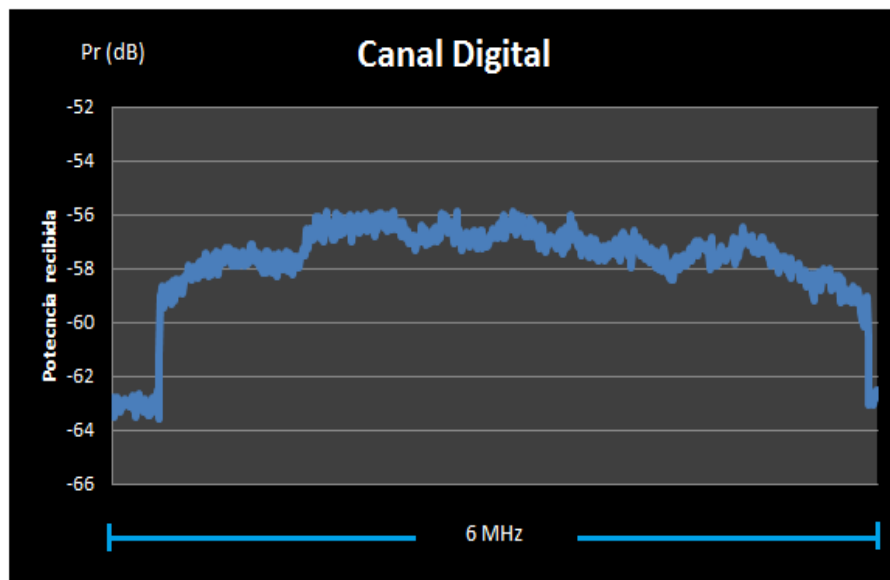


Figura 3. 12 Espectro de canal digital

Como podemos observar en la imagen, se presentan potencias bajas al inicio y al final de la gráfica obtenida para un cierto canal digital, por lo tanto al

calcular la potencia promedio del mismo, no se consideraron estos extremos ya que afectarían al valor de la potencia de transmisión detectada.

El canal digital emite potencia que aumentan y disminuyen aleatoriamente, es por esta razón que utilizar una potencia máxima dentro de los 6MHz de un canal digital, es inapropiado debido a que el canal no se mantiene constante en dicho valor, por lo cual lo más conveniente es trabajar con la potencia promedio de todos estos valores fluctuantes por cada barrido.

- **Canal Analógico**

En el caso de los canales analógicos, nos ubicamos en la portadora de video la cual se encuentra exactamente a 1.25 MHz dentro de los 6 MHz que posee cada canal, y tomaremos algunos de los datos adyacentes al pico máximo de la portadora de video para obtener la potencia promedio de dicho canal.

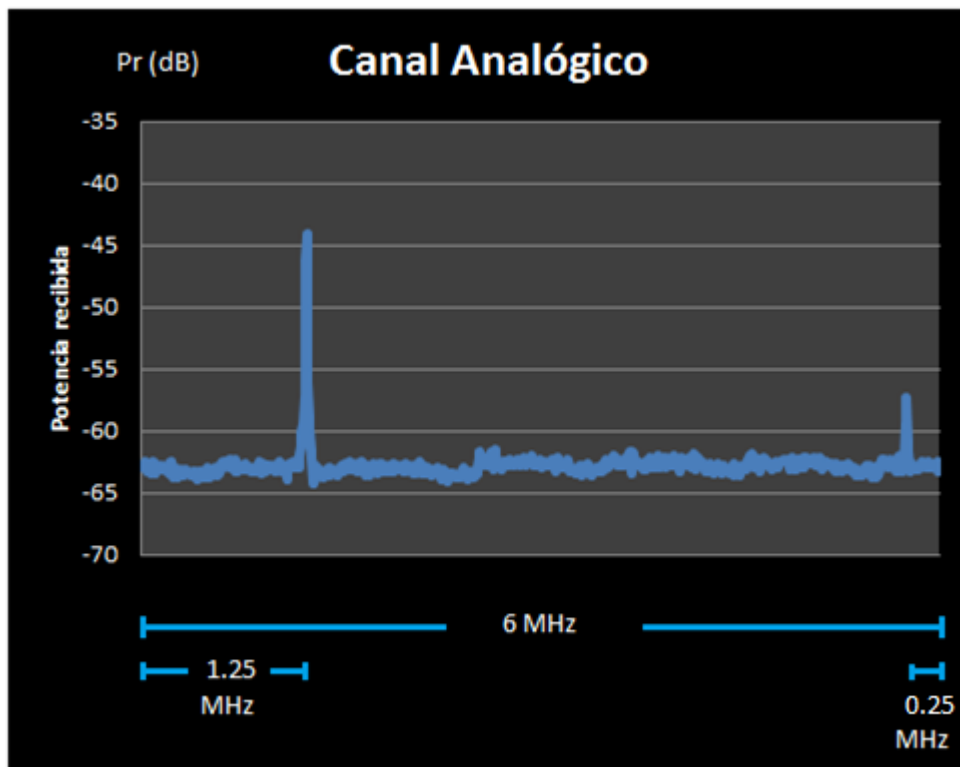


Figura 3. 13 Espectro de un canal analógico

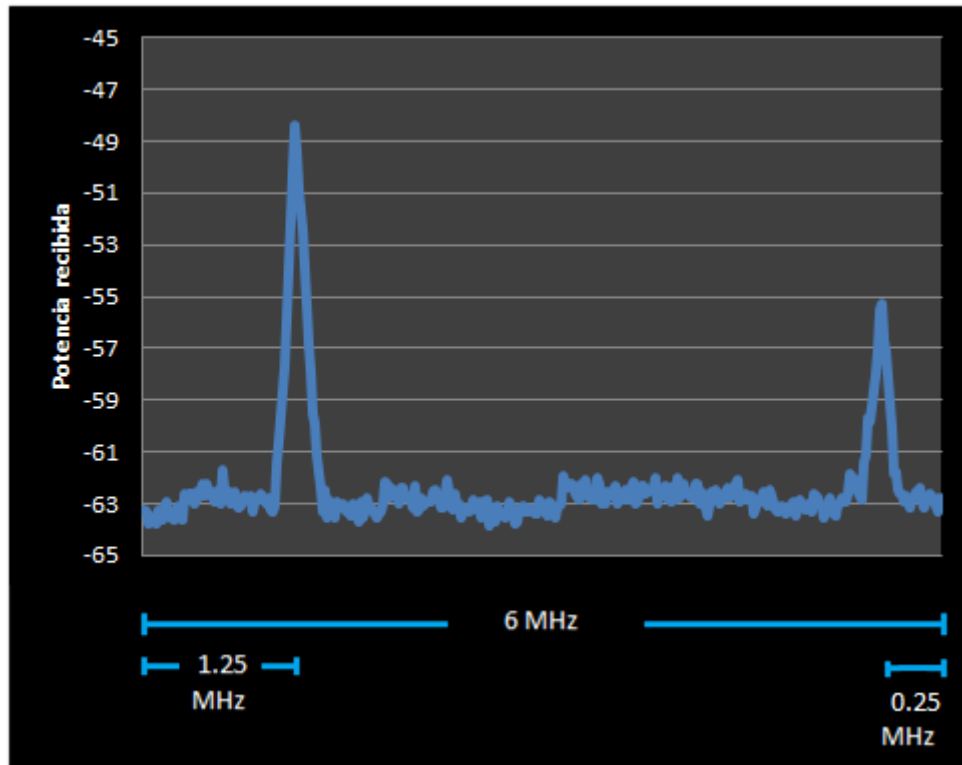


Figura 3. 14 Grafica suavizada del espectro de un canal analógico

Como nos indica la figura 3.14 observamos tanto la portadora de video como la portadora de audio, esta última se ubica a 5.75 MHz desde donde inicia el canal.

La potencia obtenida del promedio de los datos adyacentes a la portadora de video es la que utilizamos para calcular su disponibilidad.

- **Canal Vacío**

Estos canales son aquellos que no son utilizados y por lo tanto no se transmite ninguna información en estos rangos de frecuencia, en el caso de un canal vacío, lo que se hizo fue sacar un promedio de todas las potencias medidas dentro de los 6 MHz del canal.

La Figura 3.15 muestra el espectro de un canal vacío, donde notamos las bajas potencias detectadas por los equipos, las cuales están por el nivel del piso de ruido.

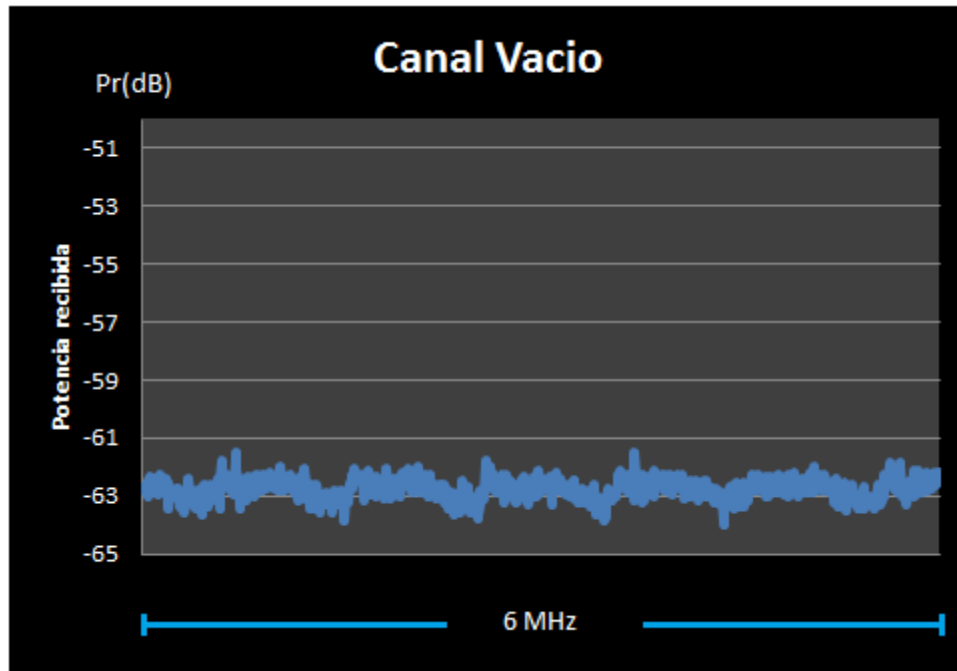


Figura 3. 15 Espectro de un canal Vacío/Ruido

### 3.3 Análisis de disponibilidad

Para esta sección es necesario hablar del “threshold”, aunque esta palabra tiene varios significados nosotros la definimos como la potencia requerida para establecer si un canal está disponible o no, para lo cual es necesario el valor de la potencia promedio de cada canal durante todo el tiempo que dura el proceso de medición.

El threshold es calculado mediante la suma de 4dB al promedio de todos los valores pertenecientes a un canal vacío de 6 MHz, en otras palabras utilizaremos este canal para calcular el piso de ruido y a este se le sumara los 4dB para definir la potencia mínima de recepción necesaria para establecer la disponibilidad de un canal, es decir, que cualquier canal cuya potencia promedio este por debajo del threshold, será establecido como espacio blanco o vacío.

Nuestros datos están conformados por las potencias de cada canal ya sea digital, analógico o vacío y este valor es comparado con el valor del threshold, si dicha potencia es superior al threshold, entonces este canal está ocupado y lo representaremos con un “0” en nuestra tabla correspondiente y en caso contrario si la potencia del canal está por debajo del threshold, entonces aquel canal estará disponible o vacío y será representado con un “1” en nuestra tabla correspondiente.

Al final obtendremos una tabla con valores de “0” y “1” para cada medición a lo largo del día.

Una vez obtenida esta tabla de ceros y unos, procederemos a calcular la probabilidad de que un canal esté disponible en un determinado día, recordemos que tendremos 15 tablas, 5 tablas por piso correspondiente a los días lunes, martes, miércoles, jueves y viernes. De estas tablas obtendremos un porcentaje que nos indicara el tiempo en que el canal sea un espacio blanco, en relación a las 24 horas de cada día. Por ejemplo si tenemos un porcentaje de 50% de disponibilidad, entonces esto nos indicara que durante 12 horas el canal está disponible debido a que la potencia de recepción en ese punto está por debajo del threshold.

Para obtener este porcentaje de disponibilidad, se contarán la cantidad de “1” presentes en cada canal en la tabla correspondiente, el cual indica las veces que el canal esté disponible en el transcurso del día y con esta cantidad se procede a dividirla para la cantidad totales de capturas por día y se lo multiplica por 100 para representar el dato en porcentaje. Por ejemplo si tenemos un total de capturas en un día equivalente a 1000, de los cuales 250 nos indican que el canal está disponible, entonces el resultado será 25% de disponibilidad al día.

## CAPITULO 4

### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

#### 4.1 potencias receptadas de canales analizados a diferentes alturas

En las gráficas que se presentaran a continuación se podrá apreciar los diferentes niveles de potencia que se obtuvieron durante los días de medición; estos niveles de potencia se diferenciaran por medio de una barra de colores, los canales con mayor potencia estarán representados con el color rojo y sus derivaciones, los que tengan una potencia intermedia con los colores derivados del amarillo y los que tengan menor potencia con el color azul y sus respectivas degradaciones.

Para realizar este análisis se tomó en consideración, los niveles de potencias máximos, mínimos y medios, obteniéndolos realizando un análisis de todas las potencias obtenidas durante las 24 horas de cada uno de los días en los que se realizó la toma de datos.

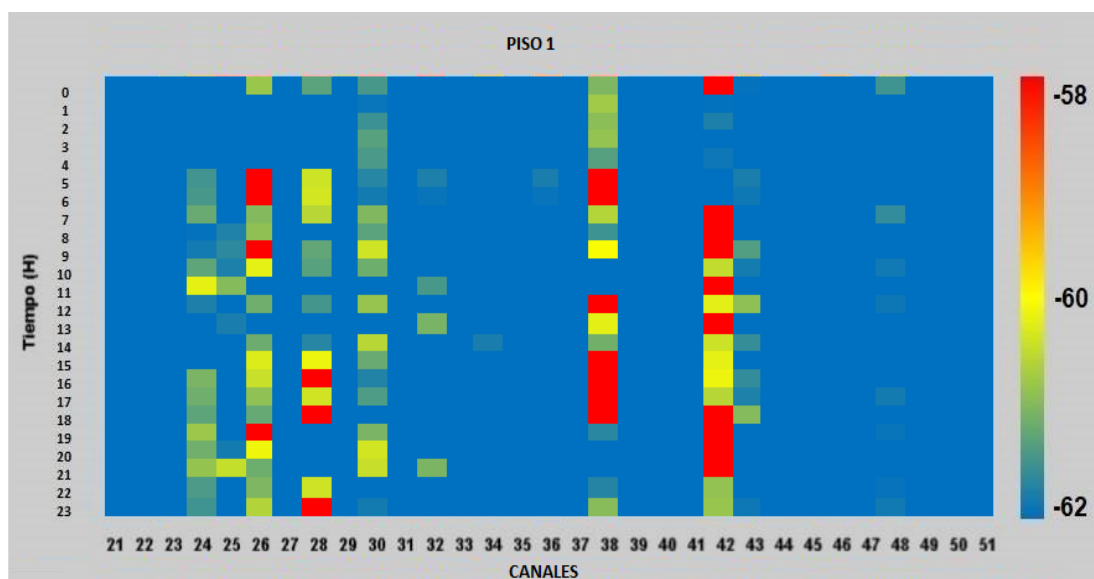
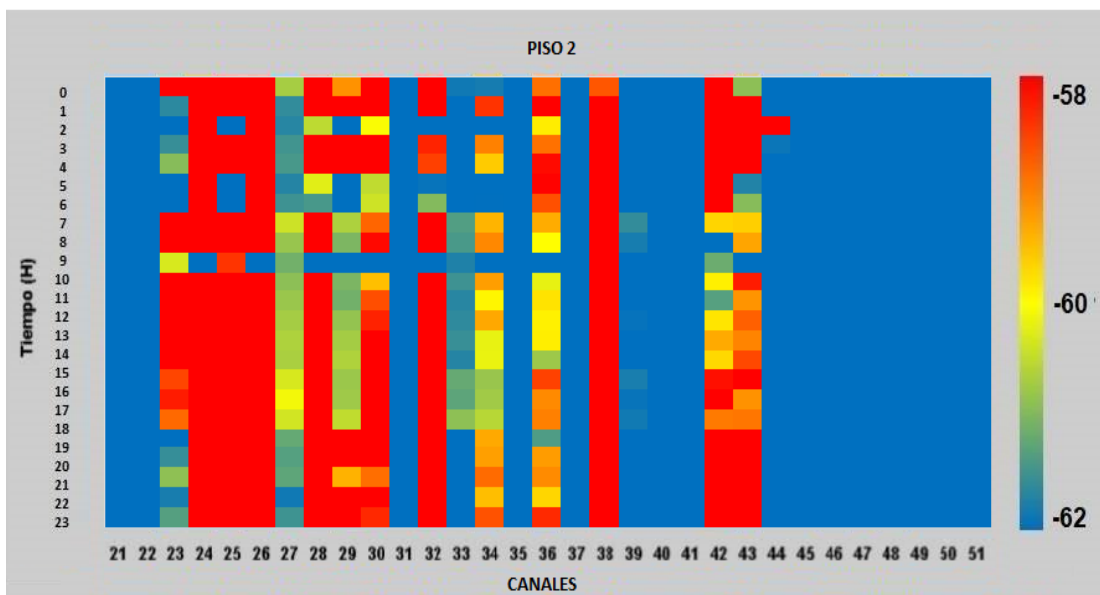


Figura 4. 1. Niveles de potencia por día del piso 1

En la figura 4.1 tenemos los niveles de potencia del piso 1; que en nuestro caso es la planta baja, tomados los resultados obtenidos del día lunes, podemos observar en la gráfica que la mayoría de canales presentan una potencia baja y lo que esto nos

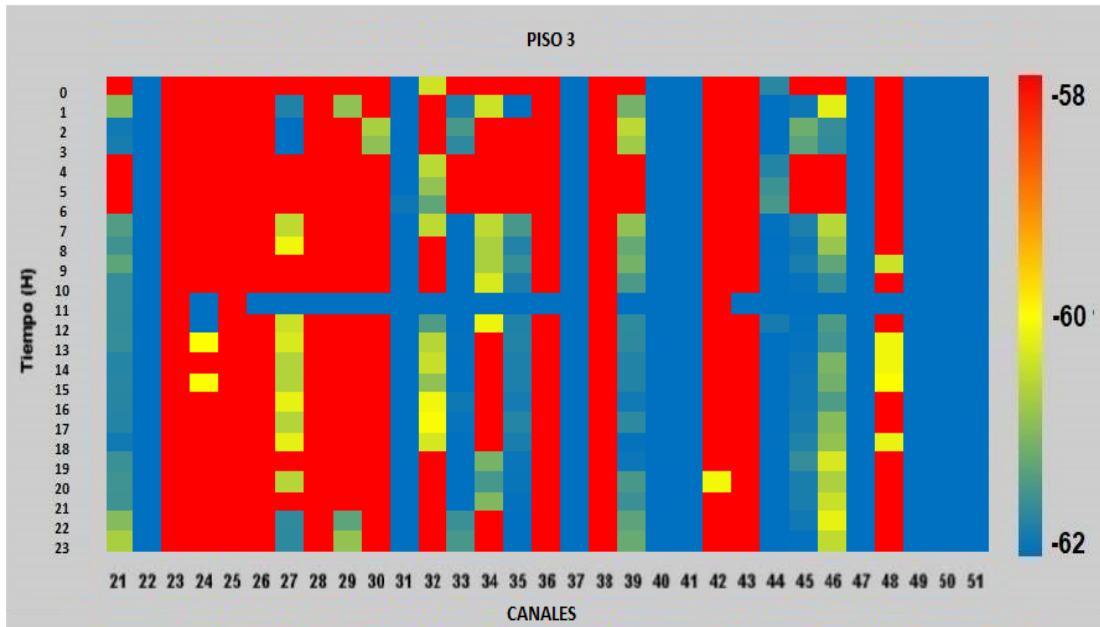
indica es que en esta planta es muy difícil que podamos tener potencias de recepción máximas debido a la gran cantidad de obstáculos que existen en las plantas superiores. Así mismo esta grafica nos ayuda a observar que canales están disponibles y en qué momento; como notamos en la figura 4.1 los canales con mejor disponibilidad son los canales 21, 22, 27, 31, 33, 35, 37, 39, 40, 41, 44, 45, 47, 49, 50, 51 puesto que muestran niveles de potencia bajos, que se encuentran alrededor de -62dB.



**Figura 4. 2. Niveles de potencia por día del piso 2**

La figura 4.2 corresponde a la planta media de la edificación y cómo podemos apreciar las potencias recibidas de los distintos canales, son más perceptibles en comparación con la planta baja lo cual está representado con un mayor número de tonalidades entre amarillas y rojas las cuales están entre -59dB y -52dB. Esto se debe a que a una mayor altura, se reducen los obstáculos que pueden afectar directamente a la propagación de la señal; cómo podemos notar en este caso los canales con una mayor disponibilidad son el 21, 22, 31, 35, 37, 40, 41, 46, 47, 49, 50, 51. En este caso algunos de los canales que en la planta baja estaban disponibles casi en su totalidad, ahora pasan a estar ocupados en ciertos intervalos de tiempo.





**Figura 4. 3. Niveles de potencia por día del piso 3**

En la figura 4.3 se presentan las potencias recibidas en la planta alta, en esta grafica se detallan con mayor intensidad las potencias de los distintos canales como resultado de la mínima cantidad de obstáculos presentes que pueden influir en la propagación de la señal. Notamos tonalidades de color rojo con mayor frecuencia lo que indica potencias muy altas que mantienen a los canales ocupados casi en todo momento, sin embargo, aún se detectan canales disponibles y esto debido a que son canales que no transmiten ninguna información o en la zona donde nos ubicamos las potencias de estos canales no tiene cobertura. La mayor disponibilidad la presentan los canales 22, 31, 37, 44, 49, 50, 51.

Mediante estas graficas se muestra como son afectadas las señales a diferentes niveles y como esto puede influir en la toma de datos, además nos proporciona información de los canales disponibles que pueden ser utilizadas para proporcionar otro tipo de servicio, aprovechando de esta manera esos espacios blancos en el espectro de la banda UHF-TV.

## 4.2 Modelamiento Estocástico de los Datos

### 4.2.1 Disponibilidad de canal por día

Uno de nuestros principales objetivos es hallar la disponibilidad en el espectro de la banda UHF para televisión, por lo cual debemos analizar cada uno de los canales e identificar mediante el umbral de sensibilidad, si el canal está ocupado o disponible. Para esta primera parte procederemos a encontrar la probabilidad por día de cada canal, es decir, que contaremos cuantas veces el canal está disponible y lo dividiremos para el numero de capturas en el día.

Una vez establecido la disponibilidad de cada día, se obtuvo una tabla con dos valores, 0 y 1 donde 1 representa la disponibilidad del canal y 0 representa un canal ocupado. Parte de la tabla se muestra a continuación.

CH21	CH22	CH23	CH24	CH25	CH26	CH27	CH28	CH29	CH30	CH31	CH32
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0

1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
602	602	469	24	3	0	602	0	342	9	602	142
100%	100%	78%	4%	0%	0%	100%	0%	57%	1%	100%	24%

**Tabla 4. 1. Disponibilidad de Canales**

En esta tabla contamos las veces que el canal está disponible (contamos los 1), y este resultado lo dividimos para la cantidad totales de capturas en un día, la tabla correspondiente al día martes posee 602 mediciones durante las 24 horas y corresponde al equipo instalado en la planta media. Como

podemos observar las probabilidades están representadas porcentualmente y este porcentaje representa la probabilidad de que dicho canal esté disponible en el transcurso del día.

#### 4.2.2 Función de distribución de probabilidad

La PDF es empleada para indicar las zonas o regiones de menor y mayor probabilidad correspondiente a valores aleatorios, en este caso los valores de potencia receptada la cual varía en el tiempo.

Para esta parte la PDF nos proporcionara la probabilidad de que un suceso ocurra, es decir, la probabilidad de encontrar mayor cantidad de canales disponibles.

Las siguientes graficas representan la probabilidad de que exista una determinada cantidad de canales disponibles.

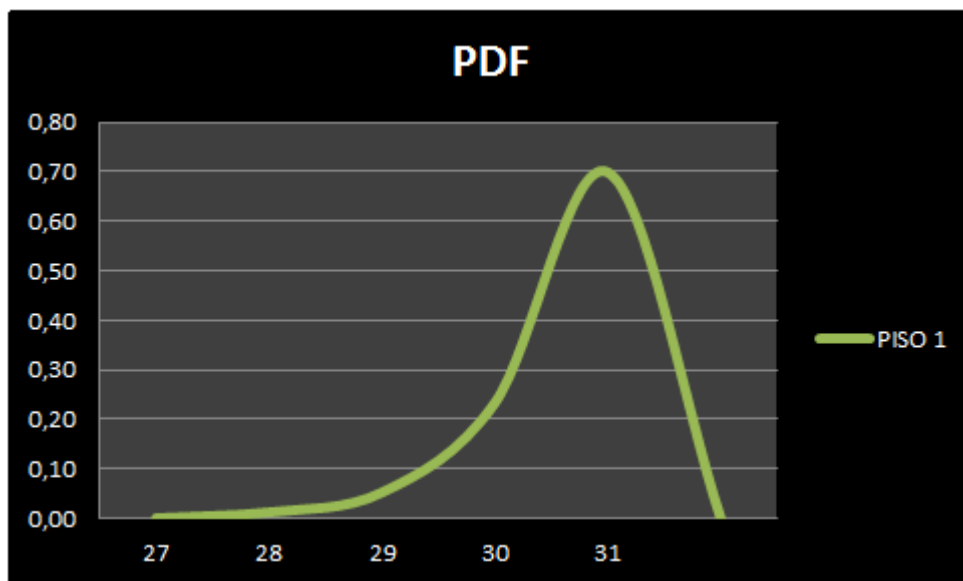


Figura 4. 4. Grafica de probabilidad PDF piso 1

La figura 4.4 nos indica que hay una mayor probabilidad en la planta baja, de tener 31 canales disponibles en un instante de tiempo aleatorio, además observamos que existen entre 28 y 31 canales disponibles en diferentes instantes de tiempo, esto es debido a que en la planta baja las señales son

atenuadas casi en su totalidad debido a los diferentes obstáculos en el entorno.

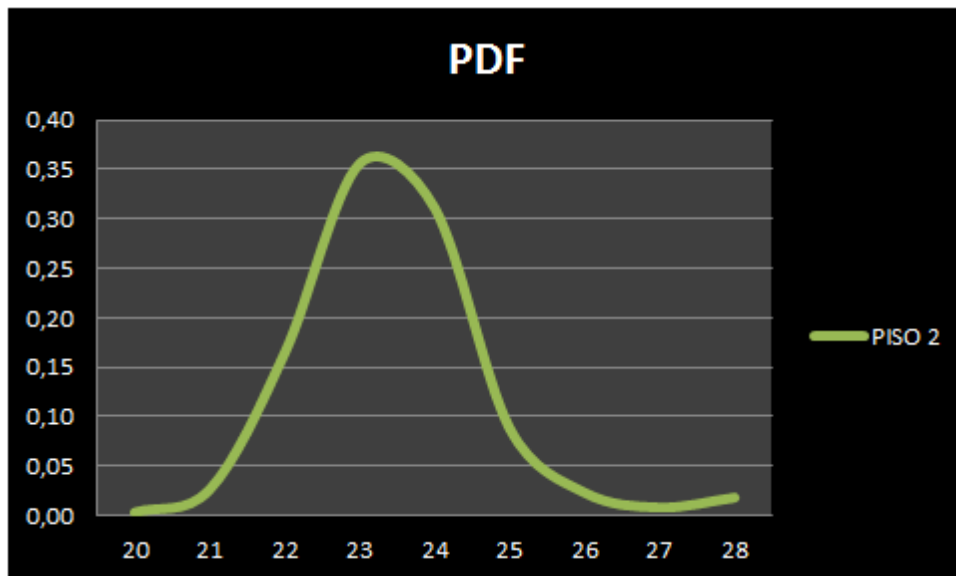


Figura 4. 5 Grafica de probabilidad piso 2

La figura 4.5 correspondiente a la planta media nos indica que existe una mayor probabilidad de tener entre 23 y 24 canales disponibles en un instante de tiempo aleatorio y cómo podemos observar la cantidad de canales disponibles es inferior al de la planta baja, sin embargo, existen canales disponibles en común entre los diferentes pisos.

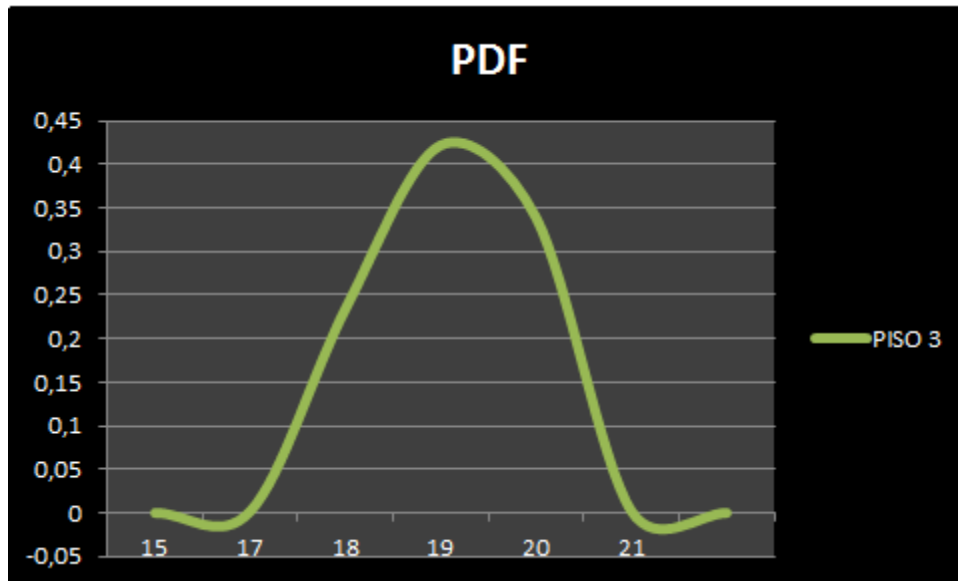
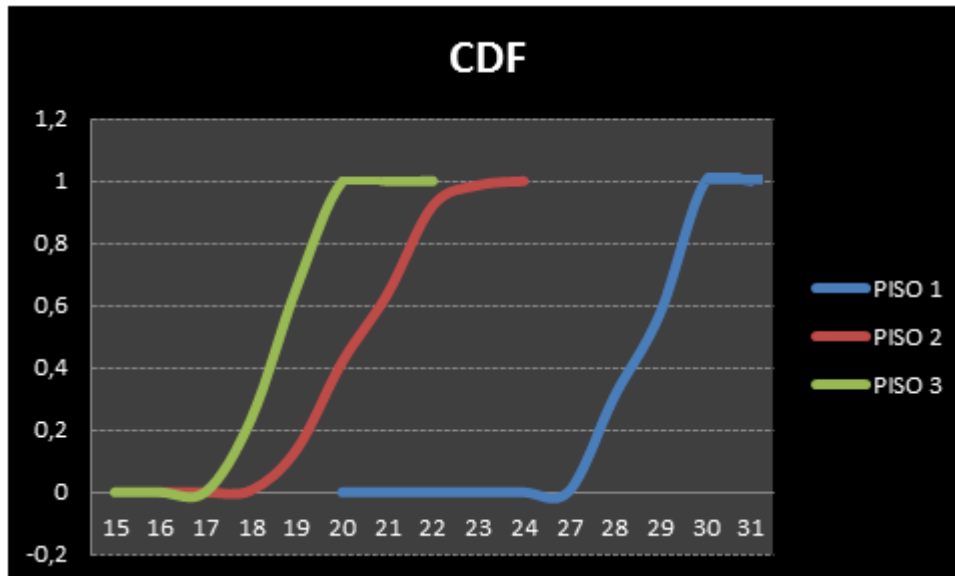


Figura 4. 6. Grafica de probabilidad PDF piso 3

La figura 4.6 representa la PDF de la planta alta y nos refleja la disminución de números de canales disponibles, en la gráfica observamos que existe una mayor probabilidad de encontrar 19 canales disponibles en un instante de tiempo aleatorio, pero como ya se mencionó existen canales disponibles en común entre los 3 pisos.

#### 4.2.3 Función de distribución acumulada

Es importante el proceso estocástico debido a que los valores obtenidos varían con el tiempo y es necesario el análisis de estos valores aleatorios mediante la función de distribución acumulada (CDF), la cual asigna a cada valor de la variable un número entre 1 y 0, el cual nos proporciona la probabilidad de que dicha variable sea menor o igual al valor en el cual se evalúa.



**Figura 4. 7. Grafica de distribución acumulada CDF de todos los pisos**

En la figura 4.7 se observa la función de distribución acumulada (CDF) de las mediciones obtenidas en los 3 pisos, un día determinado en donde podemos identificar cada piso con respecto al color asignado y diferenciar las probabilidades de cada uno. Notamos que efectivamente tal como ya se había mencionado, en la planta baja existe una mayor disponibilidad de canales seguido de la planta media y finalmente la planta alta.

En esta grafica podemos apreciar que la planta baja (PISO 1), tiene disponibles entre 27 y 30 canales en un instante de tiempo, donde vemos en la función del PISO 1 que aproximadamente 28 canales tienen un valor de 0,3095 lo cual significa que existe un 30.95% de probabilidad de que existan 28 canales disponibles o menos.

La función del PISO 2 posee menos cantidad de canales disponibles que van desde 18 a 24 canales en un instante de tiempo y finalmente la función del PISO 3 posee entre 17 y 21 canales disponibles en un instante de tiempo aleatorio. Es importante mencionar que estas probabilidades indican solamente la cantidad de canales disponibles, pero no necesariamente que sean canales conjuntos en su totalidad.

### 4.3 Disponibilidad de canales Conjuntos

Uno de los análisis más importantes de este proyecto no es solo encontrar la disponibilidad de cada canal, sino también hallar esos intervalos de tiempo en donde exista más de un canal disponible y que estén adyacentes entre ellos, proporcionando de esta manera un ancho espectral mucho mayor que podamos aprovechar para implementar el acceso a otros servicios.

Una de las mayores demandas del mercado es poder tener acceso a la red, es por esta razón que nos podemos enfocar en reutilizar el espectro de las bandas licenciadas de UHF para destinarlas a proporcionar internet de buena calidad y evitar las interferencias producidas por los sistemas de Wi-Fi los cuales en la actualidad al ser instalados en cantidades masivas dentro de una misma zona, generan interferencias entre ellos que afectan a la comunicación disminuyendo la calidad y el rendimiento del servicio.

Como sabemos los dispositivos de Wi-Fi trabajan en distintos canales dentro de un rango de frecuencia según el estándar IEEE 802.11 [6], y cada canal tiene un ancho de canal de 20 MHz por lo tanto al agrupar 4 canales de la banda UHF-TV que sean adyacentes entre ellos, nos proporcionaría un total de 24 MHz en el cual podemos implementar un canal de Wi-Fi. Eliminando el solapamiento de canales lo cual ocurre en los actuales dispositivos generando una mejor eficiencia del sistema además de incrementar su cobertura y eliminar las atenuaciones producida por paredes, ventanas, puertas, entre otros obstáculos, debido a que las señales UHF viajan de mejor manera a través de estos obstáculos.

Mediante el análisis de los datos por semana se pudo determinar la probabilidad de disponer de 4 canales conjuntos que puedan ser destinados para el sistema Wi-Fi. Para ello se contaron la cantidad de grupos de 4 canales disponibles a la semana y se obtuvieron las siguientes tablas:



<b>Cuenta de CANTIDAD CANALES</b>	
<b>Grupos de 4 canales</b>	<b>CONJUNTOS</b>
2	5
3	32
4	347
5	727
6	1606
7	1949
<b>Total general</b>	<b>4666</b>

**Tabla 4. 2. Disponibilidad canales conjuntos Piso 1.**

La tabla 4.1 correspondiente al piso 1 nos permite observar que la cantidad mínima de canales conjuntos es 2 grupos de 4 canales, en las cuales encontramos que solo en 5 mediciones están disponibles. Al tratarse de la planta baja, en donde se presenta la mayor atenuación como producto de los obstáculos, es razonable que tengamos en ocasiones la mayor cantidad de canales disponibles, en este caso existen 1949 mediciones en las que obtenemos 7 grupos de 4 canales disponibles, recordemos que estas mediciones corresponden desde el día lunes hasta el viernes.

<b>Cuenta de CANTIDAD CANALES</b>	
<b>Grupos de 4 canales</b>	<b>CONJUNTOS</b>
0	244
1	722
2	909
3	806
4	318
5	26
6	5
7	2
<b>Total general</b>	<b>3032</b>

**Tabla 4. 3. Disponibilidad canales conjuntos Piso 2**

La tabla 4.2 corresponde al piso 2 (planta media) en donde observamos que tan solo en 2 ocasiones existen disponibilidad en 7 grupos de 4 canales es decir, disponibilidad en casi todo el espectro UHF, los datos presentan los mayores valores corresponden a 2 grupos de 4 canales conjuntos cada uno seguido de los grupos 1 y 3.

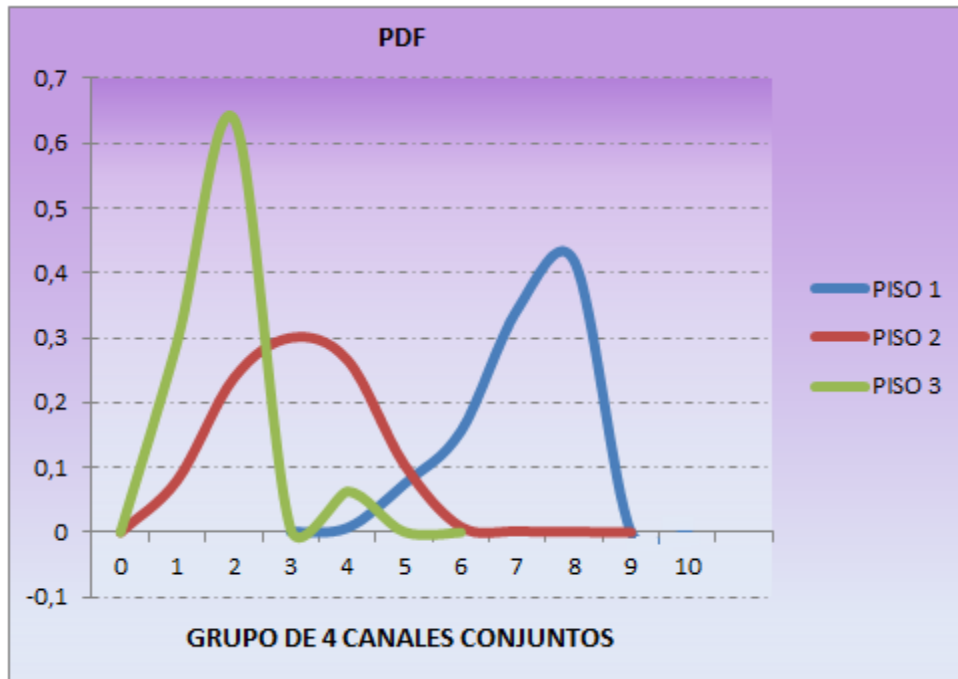
<b>Cuenta de CANTIDAD CANALES</b>	
<b>Grupo de 4 canales</b>	<b>CONJUNTOS</b>
0	1239
1	2690
2	22
3	266
4	3
<b>Total general</b>	<b>4220</b>

**Tabla 4. 4. Disponibilidad canales conjuntos Piso 3**

En la tabla 4.3 se presentan los datos del piso 3 y notamos que existe un máximo de 4 grupos de 4 canales conjuntos los cuales se repiten en tan solo 3 de las mediciones tomadas durante la semana por lo tanto su probabilidad es muy baja, y esto se debe a que en este piso las señales llegan a los receptores con altas potencias.

Además observamos que en una cantidad considerable de mediciones no existen canales conjuntos que agrupen 4 canales de televisión para formar un canal de Wi-Fi, es decir que implementar un sistema en la planta alta del inmueble es más complicado que en los pisos anteriores, era de esperar estos resultados debido a la ubicación de cada equipo de medición y a los diferentes factores que influyen y afectan a las señales en los diferentes pisos.

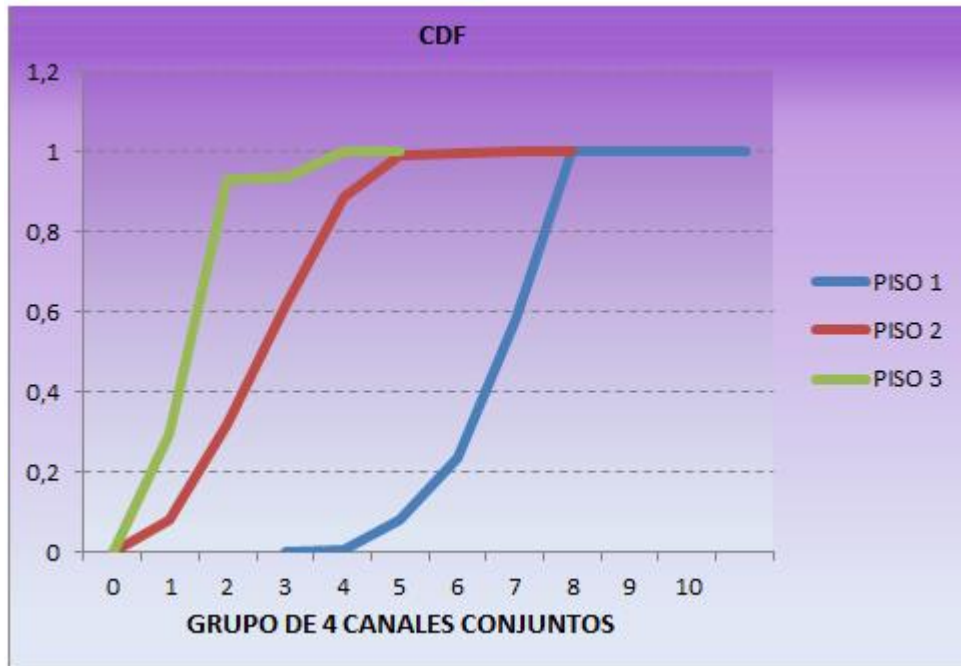
Para obtener una presentación grafica de estos valores se procedió a realizar la PDF y CDF con los datos obtenidos en las tablas anteriormente mostradas y los resultados obtenidos se describen en las siguientes gráficas.



**Figura 4. 8. Probabilidad de canales conjuntos disponibles**

Como observamos en la figura 4.8 el piso 1 tiene mayor probabilidad de encontrar canales conjuntos disponibles en comparación a la planta media y la planta alta.

Se muestra gráficamente que existe casi un 50% de encontrar todo el espectro disponible en el piso 1, es decir obtener disponibilidad desde el canal 21 hasta el 51, lo cual nos permite tener un máximo de 7 grupos de 4 canales de tv lo que significa que podemos implementar 7 canales de Wi-Fi que trabajen aproximadamente la mitad del tiempo durante una semana.



**Figura 4. 9. Distribución Acumulada**

En la figura 4.9 se observa la función de distribución acumulada (CDF) de las mediciones obtenidas en los 3 pisos durante toda la semana en la cual identificamos por color cada piso y poder diferenciar las probabilidades de cada uno. La grafica nos presenta las probabilidades de encontrar disponibilidad de canales conjuntos, en nuestro caso grupos de 4 canales y se comprobó que en la planta baja existe una mayor disponibilidad de canales seguido de la planta media y finalmente la planta alta.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La utilización de la banda UHF-TV para proporcionar otro tipo de servicio como acceso a internet mediante la tecnología Wi-Fi, nos proporcionara un incremento en la cobertura de este tipo de sistemas debido a que las atenuaciones de la señal son inferiores que en la banda de GHz.

La reutilización de la banda de televisión es conveniente debido a que las señales de TV tienen una mayor cobertura y se propagan a través de las paredes a diferencia de las señales de mayor frecuencia, debido a que mientras más mayor sea la frecuencia de operación, menor es la propagación de la señal.

Mediante el análisis del espectro de la banda UHF, se puede concluir que podemos implementar sistemas que operen en estos rangos de frecuencias sin provocar interferencias, aprovechando aquellas que no se usan o en su defecto proporciona servicios obsoletos logrando así mejorar las comunicaciones de datos.

En el proceso de medición se recomienda colocar las antenas al mismo nivel entre los diferentes pisos, esto con el fin de someter a las 3 antenas al mismo al mismo entorno en comparación con la antena transmisora.

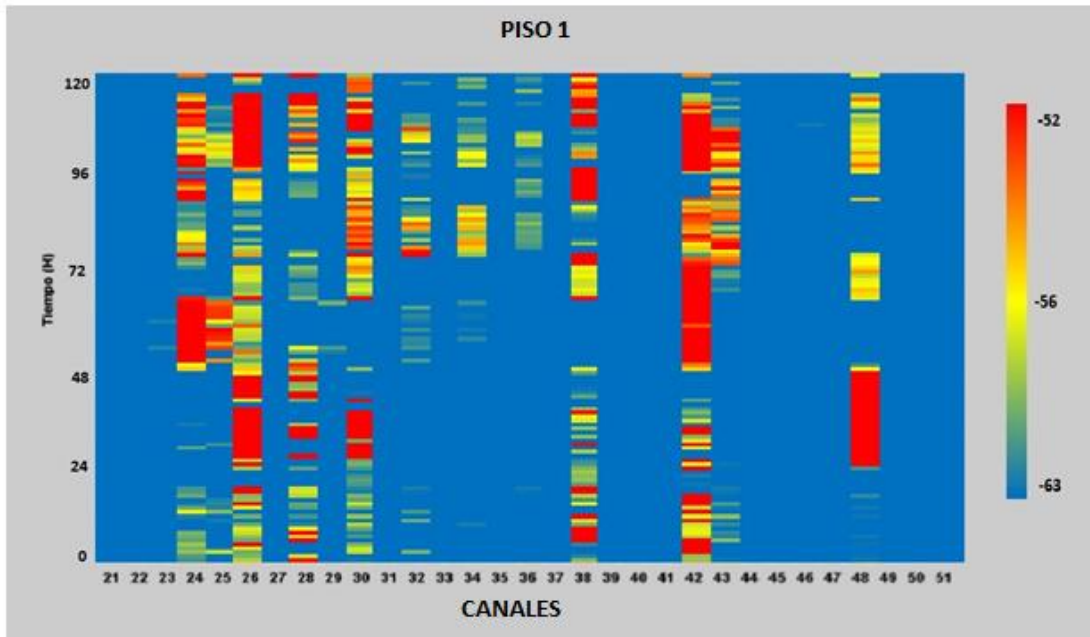
Una vez que se empieza con el proceso de medición, es importante la vigilancia constante de los equipos, debido a que son utilizados durante varias horas consecutivas, generando sobrecalentamiento en los dispositivos RTL-SDR lo que produce una interrupción en el proceso de medición; provocando que no se pueda seguir obteniendo los datos.

Para proceder con el análisis de los datos por día y por piso es necesario diferenciar los dos tipos de canales con los que se está trabajando, debido a que las potencias que se analizaran de cada uno de ellos se encuentran en diferentes puntos del espectro de frecuencia; es decir; para el canal analógico en los perímetros de la frecuencia de la portadora de video y para el canal digital en todo su rango de frecuencia dejando pequeños intervalos de guarda al inicio y al final de todo el ancho de banda del canal.

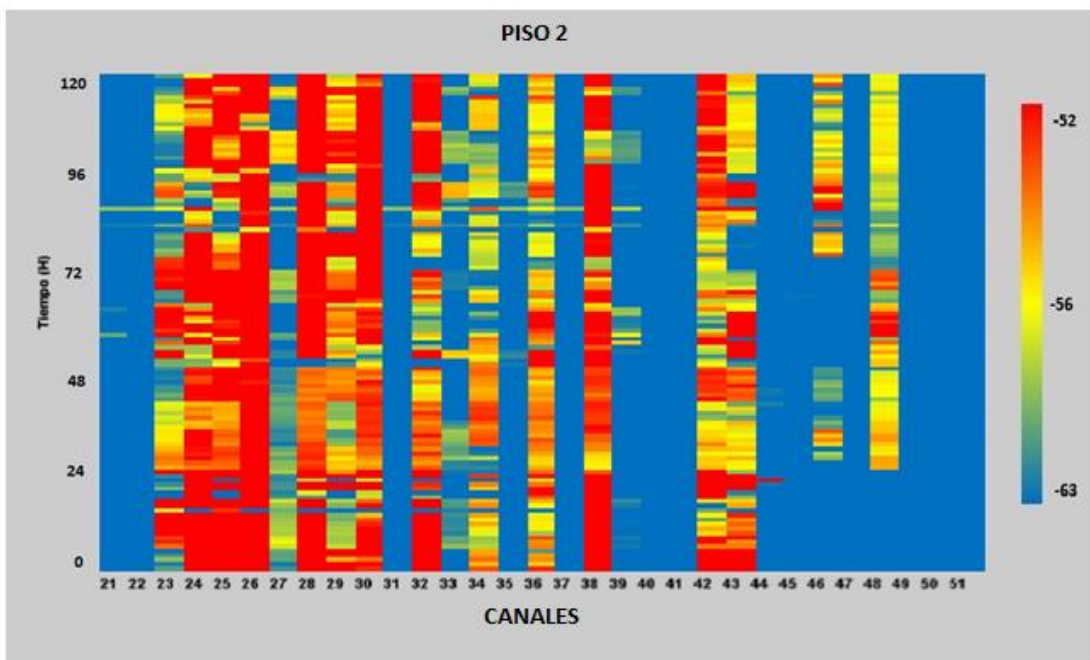
## BIBLIOGRAFIA

- [1] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones Ecuador. Disponible en: [www.arcotel.gob.ec-espectro-radioelectrico-2](http://www.arcotel.gob.ec-espectro-radioelectrico-2)
- [2] Novillo, F.; Galeana, H.; Ferrus, R.; Agusti, R., "Spectrum Availability in Indoor Locations for Opportunistic Spectrum Access in Dense Urban Scenarios," Vehicular Technology Conference, 2009.
- [3] 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  
Disponible en:  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/30009/D-84692.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [4] 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  
Disponible en:  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/30009/D-84692.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [5] Y. Zhang (Junio 2009) Spectrum Handoff in Cognitive Radio Networks: Opportunistic
- [6] Principales Estándares 802.11, políticas e información disponible en: <http://ieeestandards.galeon.com/aficiones1573579.html>.

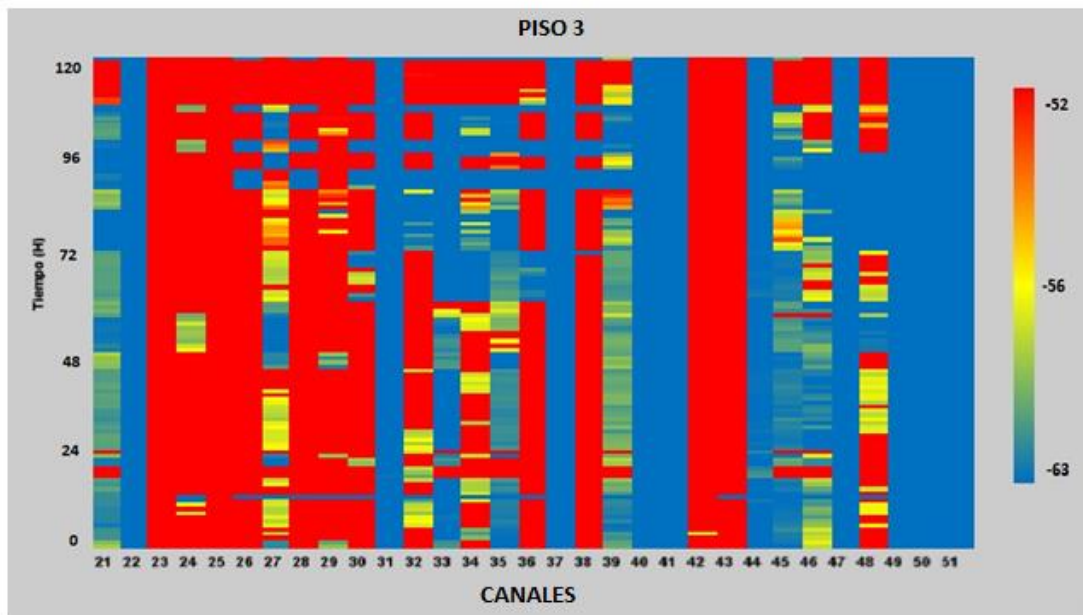
## ANEXOS



Gráfica de Potencias por semana del Piso1 (Planta Baja)



Gráfica de Potencias por semana del Piso2 (Planta Media)



**Gráfica de Potencias por semana del Piso3 (Planta Alta)**

```

% PARAMETROS (Pueden Cambiar)
location          = 'cliff_lodge';    % ubicación utilizada para el nombre de la figura
start_freq       = 512e6;             % frecuencia de inicio de barrido
stop_freq        = 698e6;             % frecuencia de fin de barrido
rtlsdr_id        = '0';               % ID de barra RTL-SDR
rtlsdr_fs        = 2e6;               % Frecuencia de muestreo RTL-SDR en Hz
rtlsdr_gain      = 0;                 % Ganancia del sintonizador RTL-SDR en dB
rtlsdr_fmrlen    = 4096;              % Tamaño del marco de datos de salida RTL-SDR
rtlsdr_datatype  = 'single';          % Tipo de datos de salida RTL-SDR
rtlsdr_ppm       = -126;              % Sintonizador RTL-SDR partes por millón de corrección

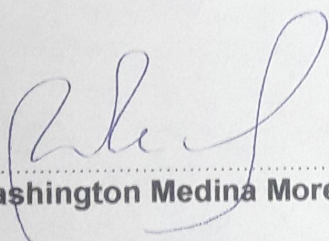
% PARAMETROS (Puede Cambiar, pero puede interrumpir el código)
nfirmhold        = 20;                % número de cuadros para recibir
fft_hold         = 'avg';             % mantener la función "max" o "avg"
nfft             = 4096;              % número de puntos en FFTs (2 ^ algo)
dec_factor       = 16;                % disminución del diagrama de salida
overlap          = 0.5;               % Superposición de FFT para contrarrestar la caída
nfirmdump        = 100;               % número de fotogramas para desplomarse después de volver a sintonizar
contador         = 1;

```

**Parámetros para el algoritmo de medición**




## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Msc. Washington Medina Moreira

PROFESOR DE MATERIA  
INTEGRADORA



Msc. Carlos Valdivieso Armendáriz

TUTOR ACADÉMICO

**"DISEÑO DE ALGORITMOS PARA LA MEDICIÓN DEL ESPECTRO Y DETERMINACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE CANALES CONJUNTOS EN LA BANDA UHF-TV MEDIANTE EL USO DE DISPOSITIVOS RTL-SDR PARA EL INTERIOR DE UN INMUEBLE DE LA ZONA URBANA DE GUAYAQUIL."**  
**CHRISTIAN HERNÁN MOREIRA GONZABAY (Mat. # 200836211)**  
**SILVIA MARÍA SÁNCHEZ RODRÍGUEZ (Mat. # 200817427)**  
II TÉRMINO 2017