

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño de algoritmo para obtención de disponibilidad espectral del espectro de un canal de TV y su comparación con modelo teórico, al interior de edificios.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELÉCTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

JOHN JAVIER COLINA UCHUBANDA

PABLO RICARDO HEREDIA MENÉNDEZ

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mi Padre por su colaboración y apoyo incondicional en el desarrollo de este proyecto.

Pablo Ricardo Heredia Menéndez

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi Padre ya que él siempre se aseguró que sea un hombre de bien y pueda cumplir todas las metas que me propongo

Pablo Ricardo Heredia Menéndez

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; **COLINA UCHUBANDA JOHN JAVIER** y **HEREDIA MENÉNDEZ PABLO RICARDO**, 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”

**COLINA UCHUBANDA
JOHN JAVIER**

**HEREDIA MENÉNDEZ
PABLO RICARDO**

EVALUADORES

Msc. Washington Medina
PROFESOR DE LA MATERIA

PhD. Francisco Novillo
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la obtención de la disponibilidad del espectro radioeléctrico, mediante el diseño de algoritmos, con la finalidad de hacer uso dinámico del espectro disponible para solucionar el problema de la saturación de las bandas de frecuencias ISM, las cuales no requieren licencia, y con esto evitar la utilización de las bandas milimétricas de frecuencias, para lograr más eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico disponible.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó 3 dispositivos RTL-SDR, donde cada uno se conectó a una laptop diferente. Las computadoras contaban con las librerías de MATLAB correspondientes para el uso de este dispositivo. Se procedió a realizar la medición de las potencias de recepción de un canal de TV en 3 posiciones diferentes, en cada uno de los pisos del edificio Torres de la Merced que cuenta con 25 pisos.

Luego del procesamiento de los datos medidos en cada piso se realizó el análisis con la ayuda de graficas estadísticas como la CDF y PDF para representar la disponibilidad temporal y espacial del espectro radioeléctrico; Además, se realizó la comparación con 3 modelos de propagación para la determinación que modelo se ajusta a los datos obtenidos.

Con los resultados obtenidos se determinó que actualmente hay espectro radioeléctrico disponible, la cual depende de la posición y piso en el que se realizó la medición. Se presento mayor disponibilidad en la posición del edificio que se encuentra más alejado de la antena transmisora. Esta disponibilidad es adecuada para el uso de nuevas tecnologías y no es necesario la migración a nuevas frecuencias de bandas milimétricas, obteniendo una optimización el uso del espectro.

Palabras Clave: ISM, RTL-SDR, CDF, PDF

ABSTRACT

The objective of this project is to obtain the availability of the radio spectrum through the design of algorithms, in order to make dynamic use of the spectrum available to solve the problem of saturation of the ISM frequency bands, which do not require a license, and with this to avoid the use of millimeter frequency bands, to achieve more efficiency in the use of the available radioelectric spectrum.

For the development of this project we used 3 RTL-SDR devices where each one was connected to a different laptop. The computers had the corresponding MATLAB libraries for the use of this device. We proceeded to measure the reception power of a TV channel in 3 different positions in each of the floors of the Torres de la Merced building, which has 25 floors.

After the processing of the data measured in each floor, the analysis was performed with the help of statistical graphs such as the CDF and PDF to represent the temporal and spatial availability of the radioelectric spectrum; In addition, the comparison was made with 3 propagation models for determining which model fits the data obtained.

With the results obtained, it was determined that there is currently available radio spectrum, which depends on the position and floor on which the measurement was made. Greater availability was presented in the position of the building farthest away from the transmitting antenna. This availability is adequate for the use of new technologies and it is not necessary to migrate to new frequencies of millimeter bands, optimizing the use of the spectrum.

Keywords: *ISM, RTL-SDR, CDF, PDF*

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1. Definición de problema	2
1.2. Justificación	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Estado del arte.....	5
1.5. Alcance	6
1.6. Metodología	7
CAPÍTULO 2.....	9
2. Marco teórico	9
2.1. Espectro radioeléctrico	9
2.2. Plan Nacional de Frecuencias	10
2.3. Cobertura.....	12
2.4. RTL-SDR	12
2.5. Tipos de Señales de TV en Ecuador	13
2.5.1. Televisión Analógica.....	13
2.5.2. Televisión Digital Terrestre TDT.....	14
2.6. Espacios en blancos (TV White spaces (TVWS)).....	16
2.7. Línea de vista	17
2.8. Modelo de propagación	18
2.9. Modelo de propagación de Espacio Libre.....	19
2.10. Modelo de propagación EGLI	19
2.11. Modelo de propagación COST-Walfisch-Ikegami	19

2.12. Radio Cognitiva.....	20
2.13. Ganancia	20
2.14. Patrón de radiación.....	20
2.15. Directividad	20
2.16. Polarización	21
2.17. Tipos de antenas	21
2.17.1. Paneles Planos para TV – UHF	21
2.17.2. Antenas diédrico.....	21
CAPÍTULO 3.....	23
3. Metodología y modelamiento	23
3.1. Generalidades.....	23
3.2. Escenario de mediciones.....	23
3.3. Sistema para realizar la medición.....	26
3.4. Verificación del correcto funcionamiento de los controladores	26
3.5. Configuración del dispositivo de medición.	28
3.5.1. Diagramas del proceso completo.	28
3.5.2. Pseudocódigo para adquisición de datos	30
3.5.3. Parámetros iniciales	30
3.5.4. Función “capture_and_plot”.....	31
3.6. Comparación de datos medidos con otro dispositivo de medición	33
3.7. Control del tiempo de ejecución.....	35
3.8. Generación del archivo Excel con los datos medidos.....	36
CAPÍTULO 4.....	39
4. Análisis y resultados.....	39
4.1. Comportamiento de los datos medidos.....	39
4.2. Disponibilidad del canal de televisión.	40
4.3. Función de distribución acumulada.....	43

4.4.	Función de distribución de probabilidad.....	46
4.5.	Gráficos de la simulación de los modelos de propagación.	47
4.5.1.	Modelo EGLI.....	47
4.5.2.	Modelo Espacio Libre.	47
4.5.3.	Modelo COST 231.....	48
4.6.	Comparación de modelos de propagación.	49
	Conclusiones y recomendaciones.	54
	Conclusiones.....	54
	Recomendaciones.....	56
	Bibliografía.....	57

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del litoral
FIEC	Facultad de Ingeniería Electrónica y Computación
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
ISM	Industrial, Scientific and Medical
RF	Radio Frequency
IoT	Internet of Things
FM	Frecuencia Modulada
RTL	Register transfer Language
SDR	Software defined by Radio
USB	Universal Serial Bus
MATLAB	Matrix Laboratory
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
ITU	Internacional Telecommunication Union
CCIR	Comité Consultor Internacional de Radiocomunicaciones
NTSC	National Television System Committee
SECAM	Séquentiel Couleur à Mémoire
Pal	Phase Alternation Line
WRAN	Wireless Regional Area Network
FCC	Federal Communications Commission
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
TV	Tele Vision

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
MPEG	Moving Picture Experts Group
CDF	Cumulative Distribution Function
PDF	Probability Density Function
TVWS	TV White Spaces
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial

SIMBOLOGÍA

dB	Decibelio
dBm	Decibelio-milivatio
GHz	GigaHertz
MHz	MegaHertz
m	Metros
Km	Kilómetros

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1. RTL-SRD dispositivo y accesorios.....	13
Figura. 2.2. Espectro capturado con el RTL en la ciudad de Guayaquil.	14
Figura. 2.3. Topología de red de transmisión de TV digital terrestre.....	15
Figura. 2.4. Espectro de Televisión Digital Terrestre.....	16
Figura. 2.5. Topología de un sistema TVWS basado en.....	17
Figura. 2.6. Ejemplo de línea de vista	18
Figura. 2.7. Antenas dietro.....	22
Figura. 3.1. Ubicación del edificio “Torres de la Merced”.	24
Figura. 3.2. Distancia entre antena transmisora y edificio.....	25
Figura. 3.3. Vista exterior del edificio. ♦ Piso 16.....	25
Figura. 3.4. Resultado del comando sdrinfo.....	27
Figura. 3.5. Diagrama de flujo para la verificación de conectividad del RTL-SDR. .	28
Figura. 3.6. Diagrama de flujo para crear gráfica.	28
Figura. 3.7. Algoritmo para adquisición de datos.	29
Figura. 3.8. Comparación Anritsu RTL-SDR.	33
Figura. 3.9. Comparando dispositivos RTL-SDR y ANRITSU.....	34
Figura. 3.10. Diagrama de flujo proceso de guardado de datos.....	36
Figura. 3.11. Proceso de simulación de edificio.	37
Figura. 4.1. Promedio de potencia receptadas por pisos.	40
Figura. 4.2. Ciclo de trabajo del piso 12 en posición L2.	42
Figura. 4.3. Ciclo de trabajo del piso 16 en posición L3.....	42
Figura. 4.4. Ciclo de trabajo del piso 5 en posición L1.....	43
Figura. 4.5. Distribución acumulada en 3 diferentes pisos para la Posición L1.....	44
Figura. 4.6. Distribución acumulada en 3 diferentes pisos para la Posición L2.....	45
Figura. 4.7. Distribución acumulada en 3 diferentes pisos para la posición L3.	45
Figura. 4.8. Probabilidad PDF en 3 diferentes pisos.	46
Figura. 4.9. Modelo de propagación EGLI.....	47
Figura. 4.10. Modelo de propagación Espacio Libre.	48
Figura. 4.11. Modelo de propagación COST 231.....	49
Figura. 4.12. Comparación de modelo de propagación para Posición L1.....	50
Figura. 4.13. Comparación de modelo de propagación para Posición L2.....	51

Figura. 4.14. Comparación de modelo de propagación para Posición L3.....52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. División del espectro Radioeléctrico [9].....	10
Tabla 2.2. Canales y frecuencias concernientes a las bandas VHF y UHF [11]	11
Tabla 2.3. Bandas VHF [11].	11
Tabla 2.4. Bandas UHF [11].	12
Tabla 4.1. Disponibilidad de canal de televisión.....	41
Tabla 4.2. Correlación entre los modelos de propagación.	52

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento trata sobre el diseño de un algoritmo para la medición y comparación del espectro radioeléctrico, el cual está constituido por un conjunto de ondas electromagnéticas, las cuales habitualmente no superan la frecuencia de 3000GHz y se propagan sin una guía artificial [1].

La necesidad de uso del espectro radioeléctrico presenta un crecimiento diario debido a los dispositivos que lo utilizan para brindar conexiones inalámbricas siendo esta una tendencia actual ya que ofrecen mayor facilidad de manejo de dispositivos siendo esto utilizados en áreas comerciales o residenciales, lo cual conlleva a una ocupación total de este recurso. Se puede apreciar en el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, donde cerca de la totalidad del espectro radioeléctrico se encuentra asignado, siendo este administrado por el Estado.

Con el fin de mejorar el uso eficiente del espectro radioeléctrico, estipulado en el Plan Nacional de las Telecomunicaciones y el Plan Nacional del buen vivir, se realizan desarrollos de nuevas tecnologías como, uso invasivo del espectro y radio cognitiva, las cuales mejoran la eficiencia con la que se usa el espectro en redes inalámbricas de corto alcance.

1.1. Definición de problema

Existe un gran incremento en la utilización de dispositivos que ofrecen conectividad inalámbrica haciendo esto se vea involucrado directamente la eficiencia de las conexiones inalámbricas [2]. En un área o edificación que consta con un alto número de servicios que ocupan redes inalámbricas se podrían presentar grandes problemas de interferencia en un futuro, donde la banda que no requiere licencia este sobre saturada debido a todos los puntos de acceso de internet inalámbrico, principalmente en las zonas con población densa y también a las tendencias tecnológicas como una casa con sistema de domótica o el internet de las cosas que actualmente poseen muchos equipos eléctricos, como electrodomésticos, televisiones, A/C, etc.

Acorde a las necesidades tecnológicas de la actualidad, se podría presentar una alta congestión en las redes inalámbricas al interior de edificios, en especial edificios residenciales y/o de oficinas, donde se localizan numerosos dispositivos que brindan servicios inalámbricos, los cuales por lo general están limitados a las bandas ISM, generando esto una alta ocupación del espectro en las bandas en que estos equipos operan y dando como resultado una reducción de cobertura, interferencia y aumento de latencia para los usuarios que actualmente cuentan con equipos que brindan estos servicios.

El desarrollo en las telecomunicaciones evoluciona día a día donde ya no solo las personas se conectan a internet, sino también equipos electrónicos usan parte del espectro radioeléctrico para su eficaz y facilidad de funcionamiento conocido como el internet de las cosas (IoT); es decir, que, si actualmente existen problemas de latencia por sobre saturación de las bandas de frecuencia no licenciadas, en un futuro podría ya no ser eficiente la comunicación inalámbrica.

1.2. Justificación

Conociendo la ocupación del espectro radioeléctrico de un canal de televisión al interior de un edificio predeterminado con la realización previa de estudios y análisis de datos medidos al interior de la estructura, se puede verificar si existen frecuencias, las cuales no se están utilizando en un determinado tiempo, siendo este favorable para el estudio posterior de la implementación de nuevas tecnologías para el aumento de la eficiencia del uso del espectro radioeléctrico como son los sistemas de acceso dinámico al espectro sin que exista alguna interferencia con la información transmitida en ese instante de tiempo y así solucionando algunos problemas que tienen los usuarios que utilizan dispositivos que brindan conexiones inalámbricas.

La solución actual que se le está dando a la escasez del espectro es migrar a otras frecuencias como lo son las ondas milimétricas pero, conforme avanza la tecnología, en un futuro podríamos encontrarnos con el mismo problema de saturación por tener más rango de frecuencias a usar, pero actualmente estudios realizados en diferentes países, el tiempo de ocupación del canal ronda entre el 15% y 85% dependiendo de la banda, el momento y el lugar [3], demostrando así la baja eficiencia del uso de los canales radioeléctricos en los lugares donde se realizaron los estudios. Por eso con la ayuda de un estudio para verificar la disponibilidad actual del espectro radioeléctrico de un canal de televisión para evaluar el uso de frecuencias desocupadas y así comprobar el posible uso de radio cognitiva para que los usuarios, no siendo dueños de las licencias de estas bandas con la condición de que no provoquen interferencia de los actuales dueños de las licencias, puedan usar las frecuencias disponibles.

Conocer las características de propagación en el interior de una edificación es importante para el diseño eficiente de sistemas que usen conexiones inalámbricas y con la ayuda de un algoritmo de medición y comparación sería más fácil determinar la disponibilidad del espectro en algún lugar determinado

para luego compararlo con un modelo de propagación, verificando si este es válido para la ciudad de Guayaquil.

Con la ayuda de estos datos reales se puede evaluar con datos teóricos el comportamiento de las señales recibidas mediante un modelo de propagación y verificando la validez de este para una ciudad con no tan alta densidad de edificios como lo es Guayaquil, comparada con ciudades ubicadas en Asia o Norteamérica.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar algoritmo para la medición y comparación de la disponibilidad de un canal de televisión en el interior de un edificio.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comprender el funcionamiento del dispositivo de medición de bajo costo.
- Diseñar el algoritmo de medición para receptar señales de potencia en el interior del edificio.
- Realizar diferentes mediciones en los mismos puntos de todos los pisos de un edificio en un tiempo establecido y sin interrupciones.
- Diseñar el algoritmo para determinar la disponibilidad del canal de televisión.
- Diseñar el algoritmo para determinar la disponibilidad simulada con un modelo de propagación.
- Analizar la posibilidad real y teórica para la implementación de la tecnología radio cognitiva para un edificio en la ciudad de Guayaquil.

1.4. Estado del arte

Con respecto a la disponibilidad del espectro radioeléctrico se han realizado varios estudios en diferentes ciudades como por ejemplo en la ciudad de Loja-Ecuador se hizo un estudio del rango de frecuencias de 54MHz a 1000MHz con el fin de determinar la ocupación de estas frecuencias en edificios de 2 pisos ubicados en sectores con una densidad población no tan alta. Para receptar las señales de potencia de recepción utilizaron un analizador de espectro MT8212B de la marca ANRITSU con una Antena Discono, conectores RF, y cable coaxial. Luego del procesamiento de los datos adquiridos se determinó que existe poca utilización del espectro radioeléctrico en las frecuencias usadas siendo posible la implementación de tecnologías como radio cognitiva o redes de acceso dinámico que puedan coexistir sin que exista interferencia alguna [4].

En áreas donde la topología del lugar no ayuda a la captación de señales de televisión abierta ocasionando distorsión en audio o video y en algunos casos pérdida total de la señal. Un estudio realizado en la ESPOL, se analizaron las frecuencias desde 512 MHz a 698MHz, siendo estas pertenecientes a las bandas UHF, para el análisis de las potencias de recepción se escogió la Facultad de Ingeniería en Electrónica y Computación de esta institución y con la ayuda del analizador RF Agilent E4404B y la antena Sirio SD 200U omnidireccional pertenecientes al laboratorio de telecomunicaciones de esta facultad se realizó la captación de las señales de potencia disponibles en este lugar; además del almacenamiento de datos usando la herramienta Intuilink para el posterior análisis de estos. Luego realizaron un modelo estadístico para verificar la ocupación del espectro en el rango de frecuencias medido para automatizar el proceso de verificación de canales de frecuencias disponibles, siendo esto lo principal en los sistemas de acceso dinámico al espectro y dando como resultado del estudio una alta disponibilidad del espectro para ciertas frecuencias de las medidas debido a que la potencia de recepción es demasiada baja [5].

En otro estudio realizado para la ciudad de Guayaquil, se analizó que las bandas de radiodifusión FM para la provincia del Guayas estaban totalmente asignadas, pero en algunos casos estas transmisoras de radio no tienen la suficiente potencia para cubrir cada rincón de una ciudad con gran cantidad de edificaciones, por eso se realizó un estudio de las bandas FM en el interior de un edificio y en tres pisos distintos con el fin de determinar si existe algún rango de frecuencias disponibles dentro de las frecuencias asignadas para radiodifusión con el fin de evaluar la posible implementación de la técnica de acceso dinámico al espectro. Para esto se adquirieron datos siete días continuos en tres diferentes pisos del edificio y con esto verificar si existe disponibilidad en el espectro. Después de todo el proceso se verificó que en el piso inferior existe más canales frecuencias disponibles que en los otros pisos [6].

En este proyecto se utiliza el dispositivo de medición RTL-SDR que cuenta con una antena de ganancia unitaria, mediante un puerto USB se conecta a una laptop para procesar los datos con el software MATLAB. Realizando 3 mediciones de un canal de televisión en cada piso de un edificio que cuenta con 25 pisos, las mediciones se realizan en el periodo de una hora por piso; además, comparando estos datos con valores teóricos aplicando modelo de propagación.

1.5. Alcance

El siguiente proyecto tiene como finalidad comprobar la disponibilidad de la banda de frecuencia de un canal de televisión en el edificio Torres de la Merced que cuenta con más de 20 pisos y está ubicado en el centro de la ciudad de Guayaquil en la dirección, calles Víctor Manuel Rendón y Gral. Córdova.

Para el proceso de medición se utilizarán tres dispositivos de bajo costo, el cual es RTL2832U y con la ayuda del software MATLAB se guardarán estos datos de potencias de recepción en una hoja de Excel.

El proceso de medición se realizará en 3 diferentes puntos de las áreas comunes del edificio antes mencionado y se aplicará el mismo proceso para todos los pisos.

1.6. Metodología

El primer paso es verificar el correcto funcionamiento del dispositivo de medición que en este caso será el RTL-SDR, siendo este de bajo costo y fácil instalación con la ayuda del software MATLAB para poder visualizar las señales receptadas, esto se realizará con la ayuda del analizador de espectro ubicado en el laboratorio de telecomunicaciones de la FIEC - ESPOL. Con esto se tendrá una referencia de las potencias de recepción con el analizador de espectro para usarlas con las mediciones obtenidas con el RTL-SDR en el lugar designado para realizar este estudio. Se tendrá que verificar el correcto funcionamiento de los 3 dispositivos de medición, ya que se realizaran 3 mediciones en simultáneo.

Una vez verificado los 3 RTL-SDR se desplazará al lugar donde se realizará este estudio, en dicho lugar se procede a captar la señal de televisión con el fin medir las potencias de recepción de señal en cada uno de los pisos que tiene el edificio. En este caso se trata del edificio Torres de la Merced ubicado en las calles Víctor Manuel Rendón & Gral. Córdova, este lugar está ubicado en una zona con una gran densidad poblacional, en el centro de la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

Dentro del edificio se escogerán 3 diferentes lugares de un mismo piso, en estos lugares se ubicarán los dispositivos de medición, dichos lugares deberán ser en lo posible el mismo en todos los pisos del edificio, para que exista la menor diferencia posible con su representación en la simulación, variación en la separación entre los dispositivos de recepción y alterando las pérdidas ocasionadas por la distancia entre los dispositivos.

Cuando ya se encuentren identificados los puntos de medición para todos los pisos, se procederá a realizar las mediciones con los 3 dispositivos RTL-SDR simultáneamente, en las posiciones establecidas para el piso con la ayuda de una laptop para cada dispositivo. Las laptops poseerán instalado el software MATLAB para proceder al almacenamiento de datos medidos. El tiempo de análisis por piso se establece en 1 hora.

Conforme se realicen las mediciones, los datos obtenidos de éstas se guardarán periódicamente en una hoja de Excel con el nivel de potencia correspondiente a cada frecuencia que pertenece al canal de televisión. Estos datos serán procesados para la comparación con 3 modelos de propagación y determinar la disponibilidad del canal y de televisión en el edificio antes mencionado.

El proceso de comparación se realizará con modelos de propagación para ciudades y el modelo de propagación en espacios libres. Para la obtención de datos teóricos de potencias de recepción se realizará una simulación ajustando las condiciones del edificio donde se realiza la toma de datos. Se compararán estos datos teóricos y reales para verificar si se cumple o no este modelo de propagación para la ciudad de Guayaquil.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico corresponde a un subconjunto de las ondas electromagnéticas, el cual sin requerir una guía artificial este se puede propagar por el espacio siendo este el medio por el cual las frecuencias de onda de radio electromagnéticas son transmitidas permitiendo las telecomunicaciones, es un recurso natural limitado cuya administración, uso, regulación y control de este recurso es realizado por entidades de cada país, constituyendo un bien de dominio público [7]. Se divide en bandas de frecuencia para establecer el servicio de las ondas electromagnéticas proporciona para los diferentes usos en las telecomunicaciones en la Tabla 2.1. Se aprecia la distribución del espectro radioeléctrico, la cual contiene el tipo de banda con su respectivo rango de frecuencias y su longitud de onda correspondiente. Además de las áreas en las cuales es más común utilizar los diferentes rangos de frecuencias.

La ARCOTEL es la entidad encargada de la administración, asignación de uso y regulación del espectro radioeléctrico en el Ecuador, con el fin de garantizar que los servicios de telecomunicaciones estén disponibles.

El Consejo Consultivo Internacional de las Comunicaciones de Radio (CCIR) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-ITU) estableció la división del espectro radioeléctrico en el año 1953. Además, la UIT estableció la división en tres diferentes regiones del planeta, con el fin de que cada región esté conformada con diferentes países, los cuales sus distribuciones de frecuencias correspondientes a los servicios de telecomunicaciones son similares. Siendo los países de las Américas la Región 2, La Región corresponde a Europa, África [8].

Tabla 2.1. División del espectro Radioeléctrico [9].

Distribución Convencional del Espectro Radioeléctrico				
Sigla	Denominación	Rango de Frecuencias	Longitud de onda	Uso típico
VLF	Muy bajas Frecuencias	3KHz a 30KHz	100000m a 10000m	Enlaces de gran distancia
LF	Bajas Frecuencias	30KHz a 300KHz	10000m a 1000m	Enlaces de gran distancia, navegación marítima y aérea
MF	Medianas Frecuencias	300KHz a 3MHz	1000m a 100m	Radiodifusión
HF	Altas Frecuencias	3MHz a 30MHz	100m a 10m	Comunicación de media y larga distancia
VHF	Muy altas Frecuencias	30MHz a 300MHz	10m a 1m	Enlaces de corta distancia
UHF	Ultra altas Frecuencias	300 MHz a 3GHz	1m a 0.1m	Difusión Televisión y Radioastronomía
SHF	Súper altas Frecuencias	3GHz a 30GHz	0.1m a 0.01	Radar, enlaces de radio
EHF	Extremada alta Frecuencias	30 GHz a 300 GHz	0.01m a 0.001m	radar, enlaces de radio

2.2. Plan Nacional de Frecuencias

El Plan Nacional de Frecuencias es el documento donde se establece los canales radioeléctricos y la atribución de las bandas para el uso de los diferentes servicios de telecomunicaciones, con el objetivo de una gestión del espectro radioeléctrico de manera eficiente y eficaz.

Las bandas VHF y UHF se utilizan para servicios de televisión, en esta banda se pueden encontrar canales digitales o analógicos y con un ancho de banda que, según la normativa de la ARCOTEL debe ser de 6MHz para cada canal

de televisión. Existe una restricción en la banda UHF, la cual es en el rango de frecuencia de 608 a 614 MHz siendo el canal 37 que está asignado a los servicios de radioastronomía.

La distribución del espectro radioeléctrico para TV según el Plan Nacional de Frecuencias es la que se muestra en la Tabla 2.2. La cual está separada por diferentes bandas y canales [10].

Tabla 2.2. Canales y frecuencias concernientes a las bandas VHF y UHF [11]

Bandas de radio	Frecuencias (MHz)	Canales
VHF	54 - 72 76-88 124-216	2, 3, 4, 5, 6 7, 8, 9, 10,11,12,13
UHF	512-608 614-644 644-698	21, 22, 23, 24, 25, 26,40, 41, 42, 43 44, ..., 50, 51.

Además, estos canales son divididos en grupos para las correspondientes bandas VHF y UHF como se muestra en las Tabla 2.3 y Tabla 2.4.

Tabla 2.3. Bandas VHF [11].

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

Tabla 2.4. Bandas UHF [11].

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

2.3. Cobertura

En telecomunicaciones se entiende como cobertura a la cualidad de una emisora radioeléctrica de cubrir una zona geográfica para prestar servicios a sus habitantes; definiendo el área de cobertura como el área o superficie terrestre, donde bajo determinadas condiciones técnicas una radiocomunicación de un origen particular puede ser establecida con una o varias estaciones terrestres [12].

2.4. RTL-SDR

Es un dispositivo que su uso original estaba destinado como receptor de la transmisión de video digital terrestre, pero se descubrió que cambiando el modo de trabajo se puede recibir señales siendo los diseños más comunes en el rango de 25 MHz a 1750 MHz. Siendo de bajo costo proporciona gran facilidad para su uso además de su traslado, ya que cuenta con un conector USB y la respectiva antena omnidireccional incluida con el equipo como se puede apreciar en la Figura. 2.1. La corporación MathWorks lanzó un paquete de soporte para la interacción y el control del RTL-SDR con el software

MATLAB y Simulink, cuyo nombre es “RTL-SDR Support from Communications Toolbox”. Con este paquete las señales capturadas por el dispositivo pueden ser visualizadas y procesadas en el software con la ayuda de una computadora [13].



Figura. 2.1. RTL-SRD dispositivo y accesorios. [13].

2.5. Tipos de Señales de TV en Ecuador

2.5.1. Televisión Analógica

Para las señales de video analógicas hay 3 tipos que se utilizan:

1. National Television System Committee (NTSC), creado en Estados Unidos.
2. Séquentiel Couleur à Mémoire (SECAM), creado en Francia.
3. Phase Alternation Line (PAL), creado en Alemania.

En el Ecuador se implementó la televisión analógica mediante NTSC [11] con un mínimo ancho de banda de 6MHz para generar su señal la cual se muestra en la Figura. 2.2, misma que está conformada por elementos como la cromancia, luminancia y sincronismo para componer la señal de video. El ancho de banda de la señal de audio es de 20KHz para poder modular en FM y no interfiera en la componente de video [14].

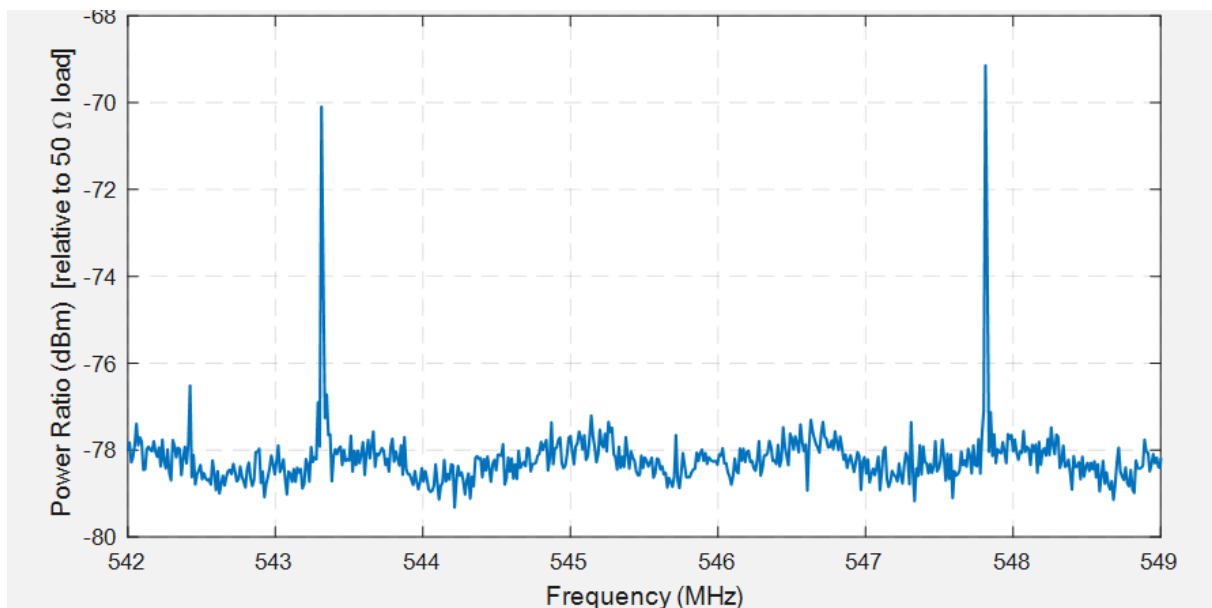


Figura. 2.2. Espectro capturado con el RTL en la ciudad de Guayaquil.

2.5.2. Televisión Digital Terrestre TDT.

Con el uso de las tecnologías de comunicación digital es posible la transmisión de contenidos a través de las antenas usadas para la transmisión de televisión Analógica [15].

La red de transmisión de televisión está compuesta por uno o más transmisores primarios y una cierta cantidad de repetidores con el fin de dar cobertura a las zonas de sombras, no cubiertas por los transmisores primarios, o para ampliar la zona de cobertura, en especial poblados de interés. En los centros de producción audiovisual se genera una señal, la cual es enviada a los transmisores primarios mediante red de transporte, compuesta de redes terrestres microondas, enlaces satelitales o redes

cableadas de fibras o de cobre. La señal transmitida en VHF o UHF es recibida por las repetidoras y reenviada en un canal diferente al recibido [14], esta topología se aprecia en la Figura. 2.3

Los estándares para televisión digital se han desarrollado en diferentes países algunos de los cuales son [14]:

- Digital Video Broadcasting - Terrestrial (DVB-T), desarrollado en Europa
- Advanced Television Systems Committee (ATSC), desarrollado en Estados Unidos.
- Integrated Services Digital Broadcasting –Terrestrial (ISDB-T), desarrollado en Japón.

El estándar utilizado en Ecuador es ISDB-T utilizando una modulación OFDM para la transmisión, una codificación para audio y video MPEG-2 manteniendo su ancho de banda en 6 MHz como en televisión analógica [16], el espectro de esta señal se aprecia en la Figura. 2.4

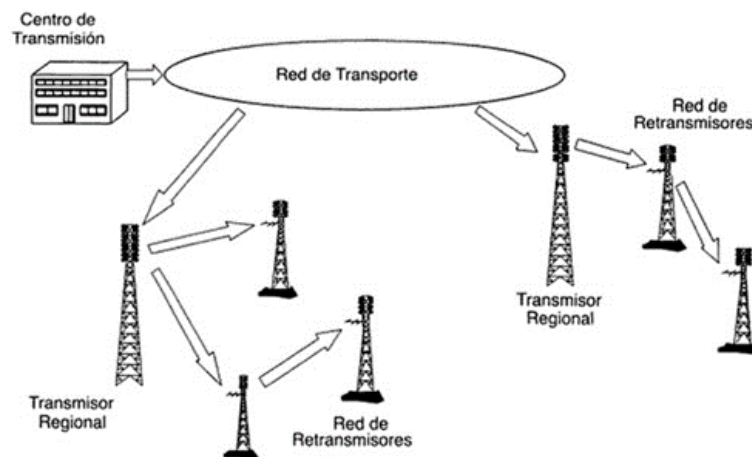


Figura. 2.3. Topología de red de transmisión de TV digital terrestre, grafico obtenido de [14].

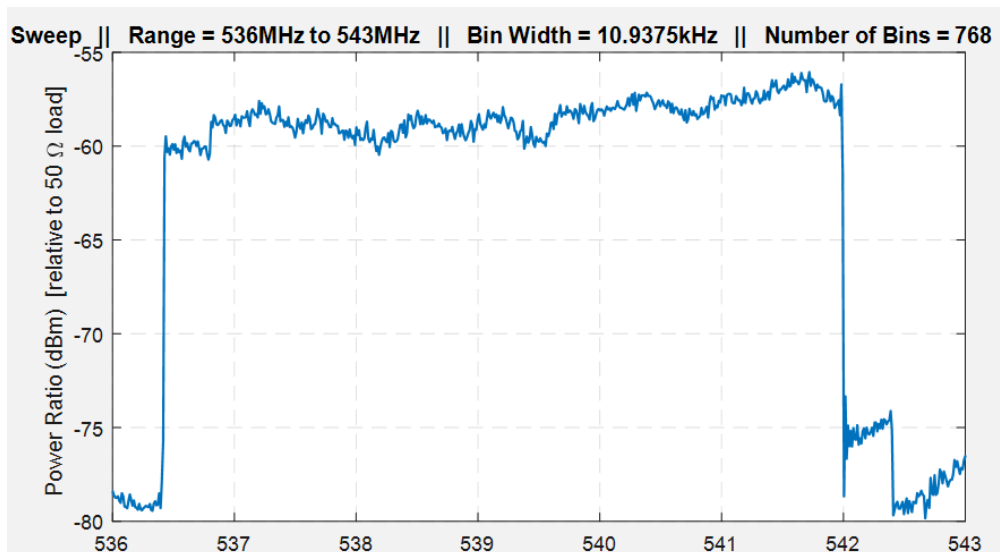


Figura. 2.4. Espectro de Televisión Digital Terrestre obtenido usando el RTL-SDR.

2.6. Espacios en blancos (TV White spaces (TVWS))

También conocido como IEEE 802.22, es una tecnología que utiliza los espacios libres entre las canales de televisión. Estos espacios están libres debido a que no han sido asignados o el concesionario no logra dar cobertura en esa área. Este es un estándar de área regional (WRAN), con el cual se busca dar diferentes servicios de comunicación usando los TVWS disponibles sin interferir a los propietarios de la concesión [17].

En 2010 la Federal Communication Commission (FCC) definió las reglas para permitir que los transmisores de radio sin licencia puedan operar en los espacios en blanco entre el espectro de TV. Con esta acción una gran cantidad de espectro se puso disponible para brindar productos y servicios [18].

Par la implementación de esta tecnología se requiere una base de datos con un registro de uso del espectro y los dispositivos, por esto empresas como Microsoft, Google y otras entidades, tienen disponibles bases de datos con los dispositivos y disponibilidad para TVWS [19], en Figura. 2.5 se aprecia la topología.



Figura. 2.5. Topología de un sistema TVWS basado en [19].

2.7. Línea de vista

Se considera este término en radiofrecuencia cuando se refiere a la transmisión y recepción. Esta es representada al trazar una línea recta desde las antenas transmisora y receptora, con la condición de que no exista ningún obstáculo o desviación entre dichas antenas. La reflexión y refracción de la señal se generan cuando existen obstrucciones entre una antena transmisora y receptora, provocando una reducción en la cobertura, calidad de la señal e interferencia en un sistema inalámbrico. Para una mejor eficiencia en la recepción de la señal en las comunicaciones inalámbricas, esta línea de vista debe tener la menor cantidad de obstrucciones, siendo esta una casi nula; además, se puede considerar el aumento de la altura de las antenas para evitar obstáculos como vegetación o edificios y con esto se puede aumentar la calidad de la señal que se quiere receptor. [20] como se muestra en la Figura 2.6 que fue obtenida del software Radio Mobile

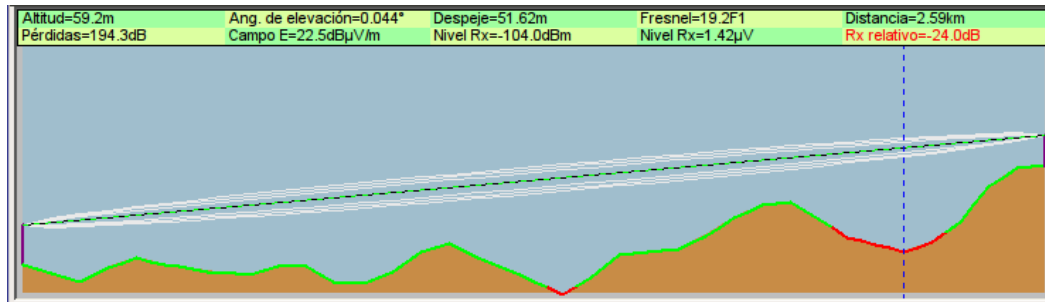


Figura. 2.6. Ejemplo de línea de vista

2.8. Modelo de propagación

La toma de mediciones reales puede ser costosas además de tomar mucho tiempo para cubrir una gran área de cobertura y poder obtener la precisión requerida. Con el propósito de realizar un diseño eficiente y en un tiempo menor, se utilizan los modelos predictivos de propagación para determinar de manera teórica las pérdidas de señales transmitidas que se puede tener en un trayecto definido, pero presentando una diferencia aceptable en la exactitud comparado con datos reales medidos dependiendo del sector en el que se encuentra [21].

Estos modelos de propagación se clasifican en: Deterministas, los cuales describen la onda en un punto determinado del espacio aplicando las leyes del electromagnetismo; estocásticos, que requieren poca información para modelar el fenómeno provocando resultados muy cambiantes debidos a las series de variables aleatorias utilizadas; y empíricos, que mediante modelos matemáticos pueden caracterizar el comportamiento de una señal [22].

Los principales mecanismos de propagación del espectro radioeléctrico que se tienen que tomar en cuenta al realizar un modelo de propagación tanto para interiores y exteriores son: reflexión, difracción, absorción y dispersión. Para las predicciones de propagación se utilizan la información de la altura de los edificios, la topografía, las alturas de la antena transmisora y la antena receptora [21].

2.9. Modelo de propagación de Espacio Libre

Este modelo determina la potencia recibida en cierta ubicación mientras exista línea de vista entre la antena receptora y el transmisor, predice que la potencia recibida disminuye en función de una distancia (d) de separación entre el transmisor y receptor; además, la frecuencia en la que se está transmitiendo (f), el modelo es representado por la ecuación (2.1) [21].

$$L_o (dB) = 32.4 + 20 \cdot \log(d/km) + 20 \cdot \log(f/MHz) \quad (2.1)$$

2.10. Modelo de propagación EGLI

Este modelo se realizó en ciudades grandes con los datos de medición de potencias de recepción para las bandas de VHF y UHF, siendo utilizado para determinar la pérdida en un enlace de exteriores con línea de vista punto a punto tomando como parámetros la distancia del enlace(d), la frecuencia(fc) y las alturas de las antenas transmisoras(ht) y receptoras(hr), acorde a la ecuación (2.2) [21].

$$L = 40 \cdot \log(d/km) + 20 \cdot \log(fc/40MHz) - 20 \cdot \log(hr \cdot ht) \quad (2.2)$$

2.11. Modelo de propagación COST-Walfisch-Ikegami

El modelo COST W-I estima mejor la pérdida de trayecto, porque toma en consideración situaciones del entorno urbano como la altura y separación de los edificios, ancho de la carretera con su orientación [21].

Este modelo no toma en consideración una base de datos con información topológica del entorno así que continúa siendo un modelo estadístico con la ecuación (2.3) [21].

$$L_{10s} = 42.6 + 26 \log R + 20 \log f \text{ for } R \geq 20m \quad (2.3)$$

2.12. Radio Cognitiva

La radio cognitiva consiste en que un transceptor inteligente detecte diferentes frecuencias del espectro radioeléctrico que se estén o no usando con el fin de utilizar los canales que se encuentren disponibles para realizar una comunicación inalámbrica y optimizar el uso del espectro de radio frecuencia cambiando parámetros de recepción o transmisión de una manera eficiente reduciendo la interferencia y sin afectar a los usuarios autorizados. El cambio de parámetros se basa en el estado de la red y el comportamiento del usuario autorizado siendo factores de la radio cognitiva [23].

2.13. Ganancia

La ganancia es un término que se usa para las antenas cuando se quiere representar la relación de la potencia de salida que irradia la antena y la potencia de entrada siendo esta ganancia expresada en decibelio (dB) [24].

2.14. Patrón de radiación

El patrón de radiación corresponde a una gráfica tridimensional de la energía radiada por la antena tomando en cuenta 2 componentes: el patrón de elevación que es la gráfica de la energía que irradia la antena tomando una vista de perfil y el patrón del azimut siendo esta la gráfica de la energía radiada desde una vista superior [24].

2.15. Directividad

La directividad de una antena representa que tanto puede recibir o transmitir energía irradiada en relación a una dirección en particular. Esta es una propiedad que contiene todas las antenas y mientras más directiva es una antena son efectivas para realizar un enlace de radio [24].

2.16. Polarización

La polarización de una antena se refiere a la orientación de irradiación de las ondas electromagnéticas que emite la antena. Esta puede ser lineal o circular [24].

2.17. Tipos de antenas

2.17.1. Paneles Planos para TV – UHF

Estos paneles se caracterizan por ser muy robustos y estar protegidos con radones hechos por lo general de poliéster UV para que sean resistentes a fenómenos naturales como la lluvia y la radiación solar.

Son de polarización horizontal acorde con el estándar de transmisión TV en canales UHF y con una alta directividad, lo que permite tener sistemas de buena ganancia. Al unir paneles es posible obtener diferentes diagramas de irradiación, para dar cobertura en las regiones deseadas [25].

2.17.2. Antenas diédrico.

Una antena diedro está conformada por un dipolo posicionado a una distancia "X" del reflector. El reflector está constituido por dos láminas conductoras o estructuras equivalentes como se aprecia en Figura. 2.7 [26].

El efecto conseguido sobre el campo eléctrico es la concentración de la radiación en la mitad del ángulo [26].

Los reflectores consisten en varillas metálicas espaciadas entre $\frac{6}{100}$ y $\frac{1}{10}$ de la longitud de onda y con longitud de 0.6 veces la longitud de onda de la señal, estas deben ser mantenidas paralelas [26].

Cada lado del dietro debe tener como mínimo una longitud de 2 veces la longitud de onda de la señal para garantizar su máxima ganancia [26].

Los diedros vienen típicamente en configuraciones de 90°, 60°, 45°, 30° [26].



Figura. 2.7. Antenas dietro [27].

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA Y MODELAMIENTO

En capítulos anteriores se describió la problemática, objetivos, estudios anteriores acerca de la disponibilidad del espectro y de modelos de propagación realizados en otras partes del mundo. En este capítulo se detallan los procedimientos para elaborar los algoritmos de medición y comparación con respecto a las potencias de recepción de un canal de televisión.

3.1. Generalidades

Las mediciones se realizaron en todos los pisos en el lapso de 1 hora sin interrupciones y en las mismas horas del día, durante 25 días, con la ayuda del dispositivo de medición de bajo costo RTL-SDR 820T2. El canal de televisión a medir fue el 25 UHF que corresponde al rango de frecuencias de 536 MHz a 542MHz. El canal fue escogido debido al comportamiento estable de su señal en el lugar más alto del edificio y así verificar como varia el comportamiento de la señal mientras se descendía los pisos del edificio. Estas mediciones se guardaron en un archivo de Excel para el análisis y procesamiento de datos.

3.2. Escenario de mediciones.

El edificio en el cual se realizaron las mediciones de potencia de recepción tiene como nombre “Torres de la Merced” y está ubicado en las calles General Córdova y Víctor Manuel Rendón, como se observa en la Figura. 3.1. Esta edificación cuenta con una torre de 25 pisos siendo este último piso un penthouse y no se tuvo acceso al mismo, adicional tiene terraza y hay otra torre que solo tiene 16 pisos con terraza adicional y se puede ver en la marca (♦) de la Figura. 3.3 donde empieza la terraza de dicha torre. Las torres están

juntas en toda la extensión del edificio desde planta baja hasta el piso 16. Este escenario fue seleccionado porque está ubicado en una zona con alta densidad de edificaciones a su alrededor, provocando atenuaciones, refracciones o reflexiones debido a la zona en donde se encuentra y así poder apreciar la variación de la potencia de recepción a distintas alturas correspondientes a los pisos del edificio.

La distancia de línea de vista entre la antena transmisora ubicada en el Cerro del Carmen y el edificio es aproximadamente 1.16 kilómetros como muestra la Figura. 3.2, la altura de la antena tomando en consideración el cerro es aproximadamente de 80 metros y en la Figura. 3.3. se puede observar el edificio desde una vista exterior y diagonal al edificio.

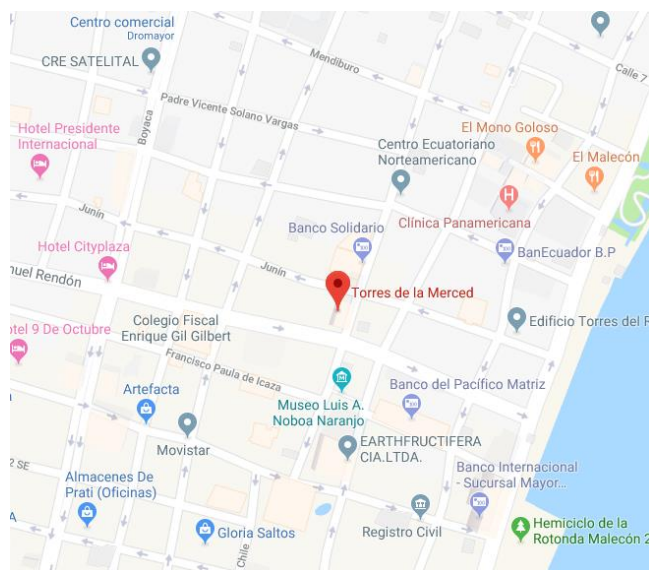


Figura. 3.1. Ubicación del edificio “Torres de la Merced”. [obtenido de Google Maps]



Figura. 3.2. Distancia entre antena transmisora y edificio [obtenido de Google Maps].



Figura. 3.3. Vista exterior del edificio. ♦ Piso 16

3.3. Sistema para realizar la medición

Para poder receptar y guardar los datos de la potencia de recepción se instaló la versión 2017b del software MATLAB con su librería determinada para el uso del dispositivo de medición denominada “Communications Toolbox Support Package for RTL-SDR radio” y el controlador que consiga la comunicación en cada una de las 3 laptop para cada uno de los dispositivos receptor RTL-SDR 2832U, se requirió un dispositivo con su antena y laptop para cada punto a medir. La antena de los receptores estuvo ubicada a 1 metro de altura con respecto al suelo de cada piso y separadas a una distancia de 6 metros entre ellas, a lo largo del pasillo tomando como punto central las escaleras con las que cuenta el edificio que están ubicadas en la misma posición a lo largo de todos los pisos del edificio. Las posiciones de las antenas se denominan L1 para la posición más cercana a la antena transmisora, L2 para la posición correspondiente a las escaleras del edificio y L3 la posición más lejana a la antena transmisora. Para la medición fue la misma en todos los pisos que tiene el edificio. Las mediciones se realizaron en horarios de la tarde entre los días lunes a sábado, esto para que no influya el flujo de personas que circulan en el edificio para la toma de datos.

3.4. Verificación del correcto funcionamiento de los controladores

Como el dispositivo de medición tiene un puerto USB que puede ser conectado a una computadora se debe instalar drivers controladores para que no exista problema de comunicación, para esto existen programas que detectan automáticamente que tipo de RTL se está usando y una vez que procede a instalarlos.

Para verificar la comunicación entre el dispositivo y el software, se debe escribir en la ventana de comandos la instrucción “sdrinfo” el cual debe devolver los datos del dispositivo como se puede visualizar en la Figura. 3.4 y en caso de que no exista comunicación debido a un controlador mal instalado o una librería faltante, este devolvería una celda vacía.

```
>> sdrinfo

ans =

    RadioName: 'Generic RTL2832U OEM'
  RadioAddress: '0'
  RadioIsOpen: 0
    TunerName: 'R820T'
  Manufacturer: 'Realtek'
    Product: 'RTL2838UHIDIR'
    GainValues: [29x1 double]
  RTLCrystalFrequency: 28800000
  TunerCrystalFrequency: 28800000
    SamplingMode: 'Quadrature'
    OffsetTuning: 'Disabled'
```

Figura. 3.4. Resultado del comando sdrinfo.

3.5. Configuración del dispositivo de medición.

3.5.1. Diagramas del proceso completo.



Figura. 3.5. Diagrama de flujo para la verificación de conectividad del RTL-SDR.

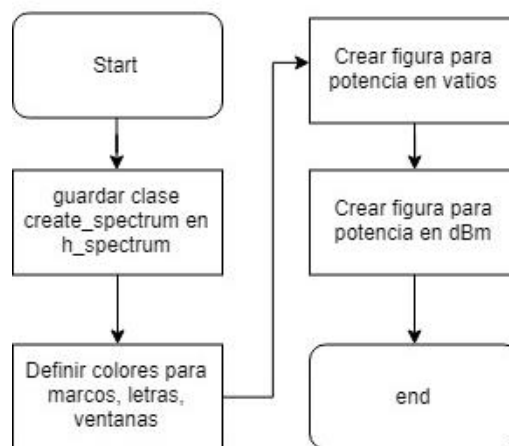


Figura. 3.6. Diagrama de flujo para crear gráfica.

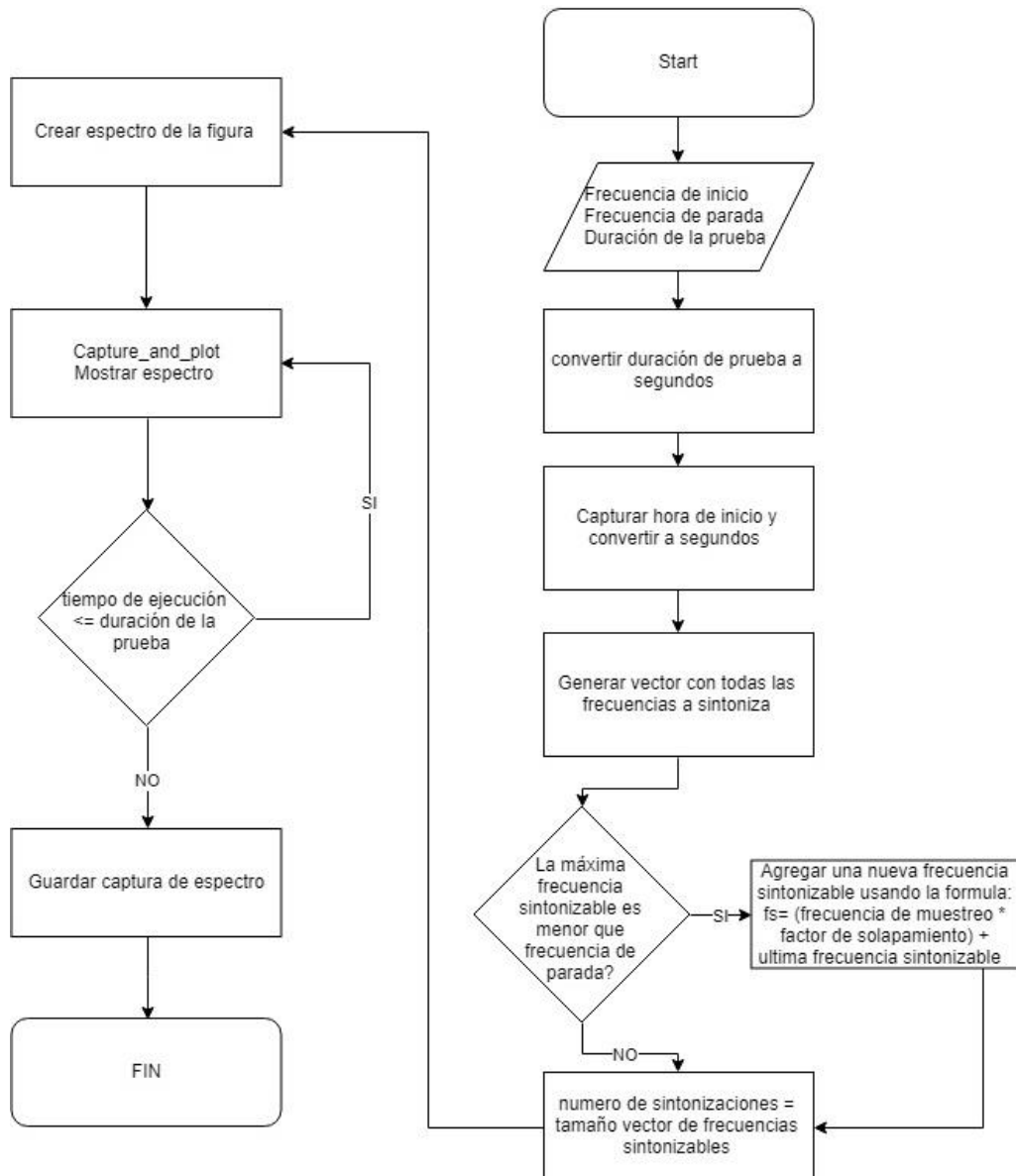


Figura. 3.7. Algoritmo para adquisición de datos.

Los diagramas de flujo utilizados en cada uno de los dispositivos de medición corresponden a las Figura. 3.5, Figura. 3.6 y Figura. 3.7 los cuales son la verificación de conectividad del RTL-SDR con la laptop, los pasos para crear una gráfica y algoritmo para adquisición de datos respectivamente. A continuación, se detalla los parámetros que se requiere para el algoritmo de adquisición de datos.

3.5.2. Pseudocódigo para adquisición de datos

```
Proceso de adquisición de datos
Encender Laptop
Iniciar Matlab
Para piso = 24: -1: 0 {
Conectar RTL
    Si sdrinfo= null {
        Verificar estado del controlador
        Si estado del controlador = negativo {
            Reinstalar controlador
        }
    }
    Ejecutar rtl_sdr_rx_proyecto_UHF_V5
    Si rtl_sdr_rx_proyecto_UHF_V5 = error {
        Regresar a Ejecutar rtl_sdr_rx_proyecto_UHF_V5
    }
    Ir a la ubicación del archivo Excel
        Cambiar nombre por uno correspondiente al piso y posición
    }
Fin
```

3.5.3. Parámetros iniciales

El programa requiere frecuencia de inicio “start_freq”, frecuencia de parada “stop_freq”, tasa de muestreo “rtl_sdr_fs”, factor de solapamiento y tiempo de ejecución el cual está dividido en tres variables: “tiempoHora”, “tiempoMinutos” y “tiempoSegundo”.

Se comienza estableciendo las frecuencias requeridas por el RTL-SDR para realizar la adquisición de datos, dichas frecuencias son necesarias pues el RTL-SDR no posee la capacidad de adquirir todo el espectro solicitado con una resolución aceptable. Dado el caso en que la última frecuencia requerida

sea menor a la frecuencia de parada se agrega una nueva frecuencia, la cual se obtiene al tomar la última frecuencia sintonizable y sumarle la tasa de muestreo por el factor de solapamiento. Seguido se calcula la longitud del arreglo de frecuencias sintonizables “nretunes” y los parámetros requeridos al momento de realizar las gráficas.

Para la presentación gráfica de los datos obtenidos se procede a crear una clase “create_spectrum” en la cual se configura las características de la ventana, en dicha ventana se muestra las gráficas de potencia en “vatios vs frecuencia” y “dBm vs frecuencia”.

La adquisición de datos requiere un lazo repetitivo, el cual se libera cuando se supere el tiempo de ejecución establecido al inicio del programa, dentro de este lazo se ejecuta los comandos para limpiar los ejes del gráfico, para dibujar sobre la ventana en la que se presentó el grafico. La función “capture_and_plot”, esta función contiene todo el proceso de adquisición y guardado de los datos y finalmente la instrucción que permite visualizar la gráfica generada.

3.5.4. Función “capture_and_plot”.

La función comienza iniciando el reloj de ejecución, seguido se crea una entidad “comm.SDRRTLReceiver” en la cual se establece los parámetros iniciales para el SDR-RTL, se define la entidad “obj_decmtr” el cual es un filtro FIR, luego crea las variables “rtlsdr_data_fft”, “fft_recorder” y “fft_dec” las cuales son matrices inicializadas en cero.

Prosiguiendo con la ejecución de la función, se valida si el RTL-SDR es detectado, de no detectarlo se genera un error y se recomienda ejecutar el comando “sdrinfo”.

De no saltar el error se inicializa con cero las variables que indican el porcentaje de avance y se captura la fecha de ejecución de la función.

Se inicia un lazo, el cual tiene el mismo número de repeticiones que la longitud del vector de frecuencias sintonizables “ntunes”, dentro del lazo, se inicia sintonizando el RTL-SD en la frecuencia a analizar, la cual se obtiene usando la variable de control del lazo como índice del vector donde se almacenas todas las frecuencias a sintonizar.

Continuando en el interior del lazo, se limpia el buffer del software, lo cual se realiza con la ayuda de un nuevo lazo el cual se repite el número de veces definido con la variable “nfrmdump”, esta variable representa el número de datos desechados, pues al cambiar la frecuencia sintonizada por el RTL-SDR los datos adquiridos no logran posicionarse al principio del buffer, por esto es necesario extraer y descartar las capturas de datos no correspondientes a la frecuencia analizada, una vez terminado el proceso de limpieza del buffer.

Habiendo concluido la limpieza del buffer se procede a obtener un bloque de información del RTL-SDR, para esto se ejecuta un lazo, dicho lazo se repite el número de veces establecidas por la variable “nfrmhold”, la cual representa el número de paquetes a recibir del RTL-SDR, en el interior del lazo se le remueve el nivel DC a la señal recibida del RTL-SDR, esto se realiza restando la media de la señal recibida la cual se obtiene con la función mean. Una vez eliminado el nivel DC se procede a calcular el valor absoluto de la transformada de Fourier de la señal, ajustando el tamaño del vector resultado de la transformada con la variable “nfft”. Se reorganiza la trasformada de Fourier guardando únicamente los datos de solapamiento en una nueva fila en la matriz “fft_reorder”, finalmente se cierra el lazo.

Seguido se decide si analizar el promedio o el máximo de la matriz “fft_reorder”, para este caso se toma el valor promedio. Se suaviza los datos obtenidos usando el filtro FIR previamente definido y se los guarda en la variable “fft_dec”. Luego se calcula y muestra el porcentaje de avance del escaneo del espectro, solo múltiplos de 10, finalmente se cierra el lazo controlado por la variable “ntune”.

Continuando con el procesamiento de los datos primero se reordena la matriz “fft_dec”, luego se transforma a dBm y se calibra las mediciones con un factor de ajuste relacionado con un equipo de control, esta información se carga en la entidad “create_spectrum” para ser presentado mediante un gráfico y se almacena usando la función “guardar_datos”.

3.6. Comparación de datos medidos con otro dispositivo de medición

El dispositivo RTL-SDR cuenta con un chip sintonizador de radio para poder adquirir los datos de potencias de recepción siendo este de bajo costo al compararlo con un analizador de espectro del laboratorio de telecomunicaciones de la FIEC con un precio mucho mayor al RTL-SDR. Para verificar el correcto funcionamiento de los dispositivos de medición se procedió al grupo de investigación en comunicaciones móviles (GICOM) ubicado en la ESPOL para hacer uso del analizador de espectro ANRITSU MS2713E, siendo un equipo que cuenta con gran precisión al momento de medir potencias de recepción con el fin de realizar una comparación entre los datos del ANRITSU y los dispositivos de medición utilizados en el edificio.

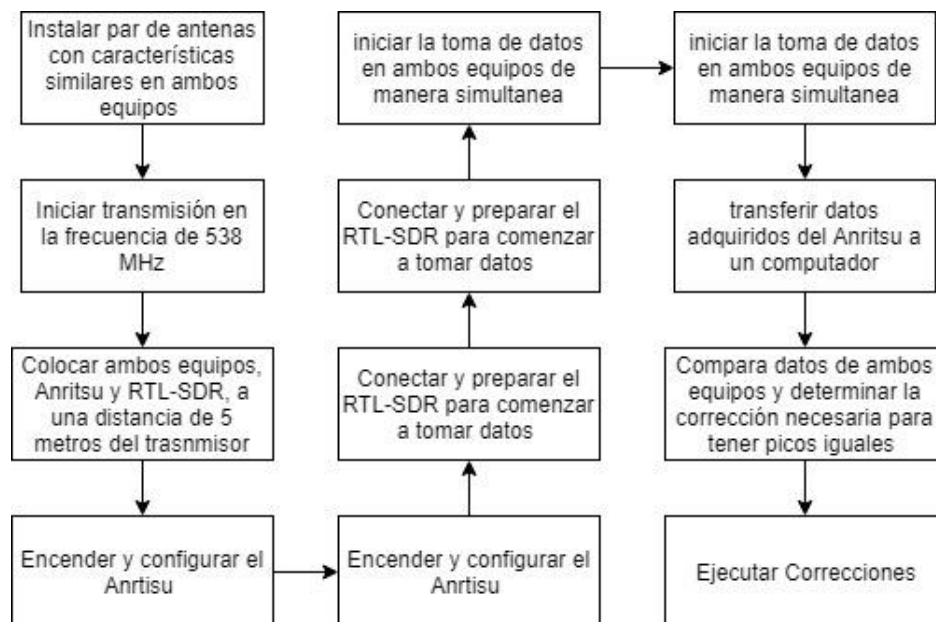


Figura. 3.8. Comparación Anritsu RTL-SDR.

Procediendo igual que el diagrama en Figura. 3.8. Primero se instalan 2 antenas omnidireccionales y ganancia unitaria, una en el ANRITSU y otra en un RTL para colocarlos en casi en el mismo punto los dos equipos, para luego transmitir en un canal de la banda UHF siendo escogida la frecuencia 538 MHz. Este transmisor y receptores se colocaron a una distancia aproximada de 5 metros porque podría haber averías en las mediciones si se encuentran muy cerca.

Se midió las potencias que captaban el ANRITSU y el RTL-SDR en un mismo instante de tiempo. Se Verificó el pico de las potencias de recepción y se cambió los parámetros del código hasta que los picos de potencia recibida entre los dos dispositivos sean los mismos en magnitud. Una diferencia notable entre los equipos es la sensibilidad, siendo el ANRITSU quien posee mayor sensibilidad debido a que su piso de ruido esta aproximadamente en -110 dBm mientras que la sensibilidad del RTL-SDR para este caso fue en -80 dBm, esto no influyendo a futuras mediciones debido a que se tomó como referencia a -75 dBm para determinar las frecuencias disponibles por esta ser la sensibilidad estándar para receptores ISDB-T usado en Ecuador [28].



Figura. 3.9. Comparando dispositivos RTL-SDR y ANRITSU.

Una vez que se realizó la comparación con los dispositivos de medición como se puede ver en la Figura. 3.9, se procedió al edificio Torres de la Merced, donde se hizo otro proceso para verificar el funcionamiento de las 3 laptops

con sus respectivos dispositivos para receptar señal. En cada punto escogido para la medición se realizó una medición con los 3 equipos para determinar el funcionamiento de estos, estos arrojaron resultados semejantes y así se pudo seguir con la colocación de cada equipo en cada posición. Se asignó que durante una hora cada computadora recepte y guarde datos de las potencias de recepción del rango de frecuencias asignadas para el canal 25 UHF. Los 3 equipos guardaban los datos al mismo tiempo y siempre se verificó que no existan interrupciones en el programa además de que fluyan personas por los lugares de medición mientras estos estén funcionando.

3.7. Control del tiempo de ejecución.

Usando las tres variables de tiempo de ejecución: “tiempoHora”, “tiempoMinutos” y “tiempoSegundo” se genera “tmax”, el cual es el tiempo de ejecución en segundos obtenido de la formula ecuación 3.1.

$$\text{Tiempo en Segundos} = (\text{Horas} * 3600) + (\text{Minutos} * 60) + \text{Segundo} \quad (3.1)$$

Para controlar el tiempo de ejecución se usa un lazo que se repite mientras no haya superado el tiempo establecido en “tmax”, para controlar el tiempo que tiene el programa en ejecución se toma fecha al iniciar el programa, para capturar la fecha se usa la función “clock” de Matlab, de esta fecha se toma las horas, minutos y segundos estos se los convierte en segundos usando la ecuación 3.1, y almacena en “tstart”, al finalizar cada ciclo del lazo se toma la hora esta se transforma en segundos se le resta “tstart” y se compara con “tmax”, si supera a “tmax”, entonces se termina el lazo, caso contrario se repite.

3.8. Generación del archivo Excel con los datos medidos.

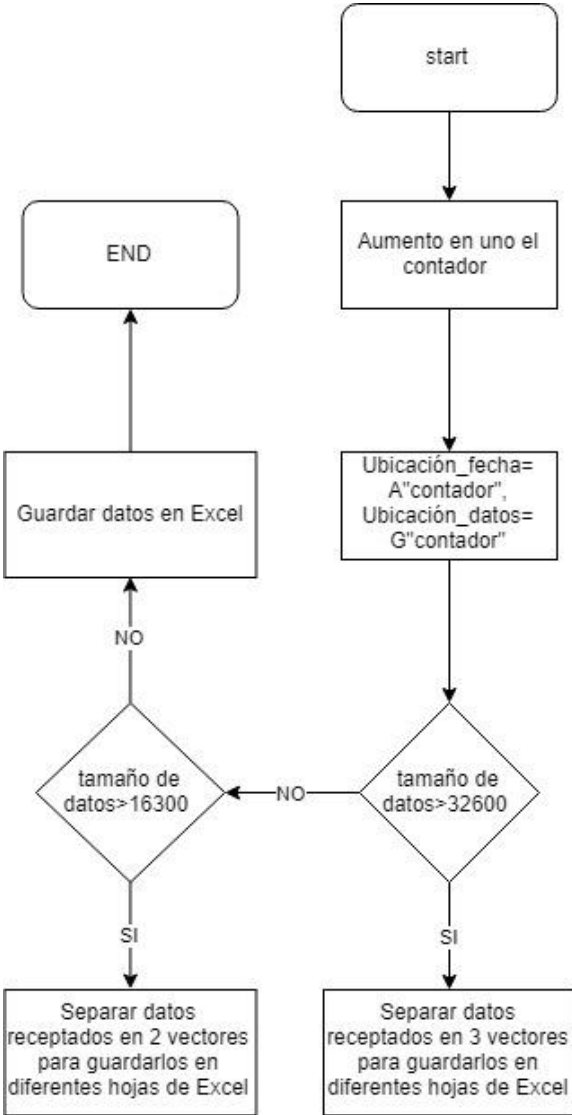


Figura. 3.10. Diagrama de flujo proceso de guardado de datos.

Primero, se incrementa el contador de filas en 1, con el fin de no reescribir los datos captados en el ciclo anterior. Se define e inicializan las variables que establecen las direcciones donde se localizara la información en la hoja de Excel, “rango1” para la fecha en la que se genera los datos y “rango2” para lo receptado del RTL-SDR.

A continuación, se verifica la cantidad de datos que se requiere almacenar en la hoja de Excel, de superar las capacidades de una hoja se usarán dos o tres hojas como se muestra en la Figura. 3.10, de necesitarse tres hojas de cálculo

en el libro de Excel donde se almacena la información, se procede a seccionar los datos en tres vectores con dimensiones iguales, los cuales se ubican en hojas diferentes, de requerirse 2 se seccionan es dos vectores caso contrario no se secciona la información.

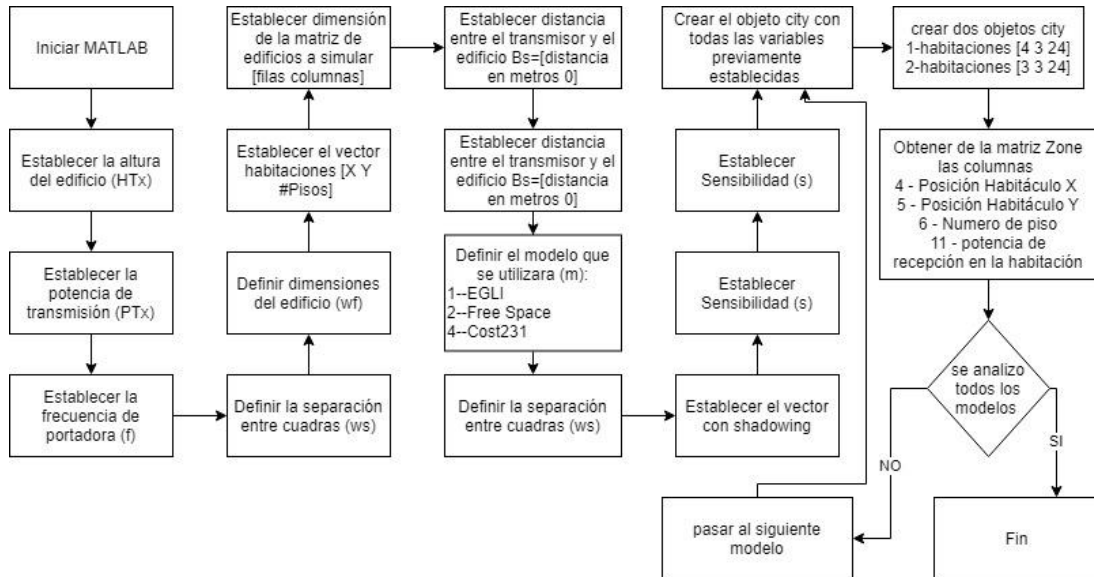


Figura. 3.11. Proceso de simulación de edificio.

Para proceder con la simulación del entorno se elaboró el diagrama de flujo de la Figura. 3.11, el mismo que requiere establecer las condiciones del medio, pues las capacidades del simulador utilizado no permiten recrear las condiciones exactas del lugar donde se realizó las mediciones, por esto se realizan adaptaciones y simplificaciones acordes a estimaciones realizadas luego del análisis de la estructura del edificio y distribución de la ciudad donde se encuentra dicho edificio.

Primera representación. El simulador está diseñado únicamente para representar estructuras rectangulares uniformes, por lo que se procede a seccionar el edificio analizado en dos partes, pues la edificación analizada cuenta con dos secciones, la primera sección concerniente a los pisos 1 al 17 consta de una torre de 50 metros de ancho por 20 metros de profundidad, mientras la segunda sección concerniente a los pisos 18 al 24 está conformado por una torre de 32 metros de ancho por 20 metros de profundidad, colocada directamente sobre el lado más alejado de la estación

base. Por este motivo es necesario realizar dos simulaciones las cuales representan por separado la primera y segunda sección del edificio. Para la primera sección se procede a simular un edificio de 24 pisos con una distribución interior de 4 x 3 habitaciones, pues luego de analizar los planos de dicho edificio se determinó que, esta es una representación adecuada, teniendo en cuenta la cantidad de paredes que debe atravesar un rayo dirigido desde la estación base al punto de medición en el interior del edificio. El primer punto de medición se lo colocó en el interior de la segunda habitación que atravesaría el rayo antes mencionado, continuando con la tercera y cuarta habitación para el punto número 2 y 3 respectivamente.

En la segunda sección se optó por representarla con un edificio de 24 pisos con una distribución interior de 3 x 3 habitaciones, pues esta sección posee una distribución más uniforme de habitaciones debido a su forma más cuadrada, las mediciones de los puntos 1, 2, 3 se obtiene de las habitaciones 1, 2, 3 respectivamente, contándolas en la forma en que las atraviesa el rayo trazado entre la estación base y el centro del edificio simulado.

La potencia de transmisión es necesaria en la simulación y se la estableció con el PIRE obtenido de la institución encargada del mantenimiento y funcionamiento de la estación base, para la simulación se procede a utilizar el PIRE, pues el simulador asume antenas de ganancia unitaria, por lo que el PIRE y la potencia del transmisor son iguales para el simulador.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

4.1. Comportamiento de los datos medidos

Luego del procesamiento de los datos medidos y fijando un promedio la potencia en cada piso se obtuvo el comportamiento que detalla la Figura. 4.1 donde el eje Y representa la potencia de recepción y el eje X los pisos del edificio, se puede apreciar que en el piso más alto del edificio existe una potencia de recepción alta y esta disminuye conforme los pisos van disminuyendo, esto debido a que al descender a los pisos inferiores van aumentando las obstrucciones tales como edificios, vegetación además de las obstrucciones provocadas por los pisos superiores del mismo edificio.

Las obstrucciones provocadas por los pisos superiores son más notables a medida que se aleja del punto de incidencia de la línea de vista, pues al trazar una trayectoria directa entre la estación base y el punto de medición, esta trayectoria atraviesa un mayor número de paredes mientras más se adentra en el edificio.

En el piso 16 se observó un cambio muy pronunciado en la potencia de recepción en comparación a otros pisos debido a que en ese piso la estructura del edificio cambia, estando ubicada una torre perteneciente al mismo edificio aumentando el número de paredes que se vieron involucradas en las mediciones.

El comportamiento de los datos en la posición 3 varía respecto a las otras 2 posiciones porque la distribución de las paredes y ventanas del edificio cambia de tal forma que se ve afectado la posición 3.

En las mediciones del punto tres se aprecian una mayor afectación en la potencia de recepción debido al mayor número de obstáculos, paredes, ventanas y pisos que debe atravesar la señal para llegar al punto en comparación a los otros 2 puntos.

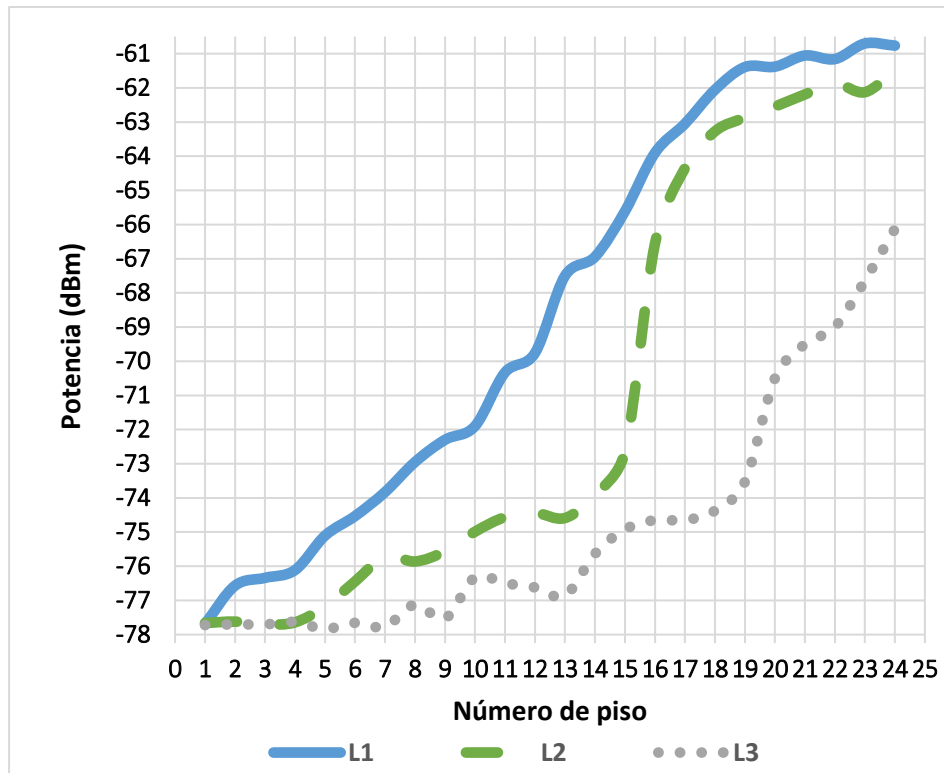


Figura. 4.1. Promedio de potencia receptadas por pisos.

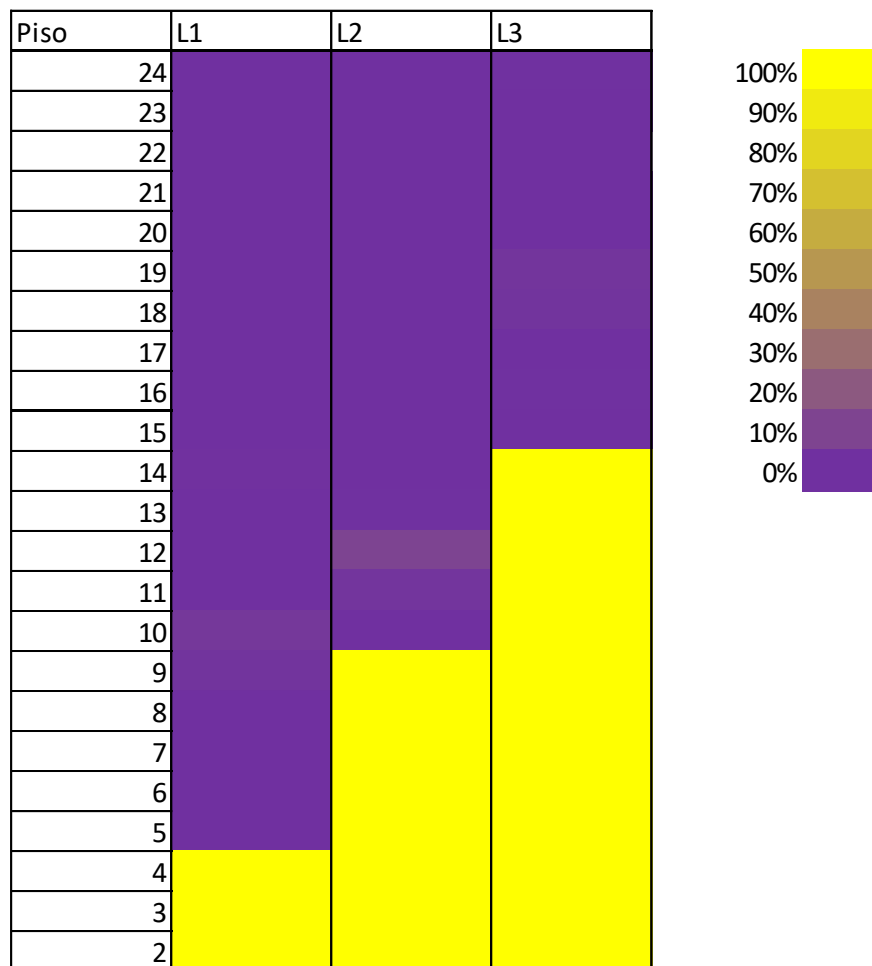
4.2. Disponibilidad del canal de televisión.

La disponibilidad de las frecuencias que pertenecen al canal de televisión se puede apreciar en la Tabla 4.1, la cual describe la ocupación del canal en cualquiera de las 3 posiciones medidas y en todos los pisos en los cuales se realizó las mediciones de las potencias de recepción. El color azul corresponde a que el canal está ocupado en su totalidad y mientras el color amarillo será plena disponibilidad. El color azul corresponde al 100% de probabilidad de que la recepción sea superior a -75 dBm mientras que el color amarillo corresponde a 0 % de probabilidad de que los valores de potencia estén por debajo de -75 dBm siendo este valor el umbral de decisión para disponibilidad. Se puede observar que para cada posición existe un piso límite

el cual ya se encuentra disponible las frecuencias del canal porque en cada punto de medición existen diferentes números de obstáculos como paredes y pisos siendo el más afectado para recibir la señal del canal de televisión la posición 3 mientras que en la posición 1 al estar más cerca de la antena tiene menos paredes que se vean involucradas en la potencia de recepción.

El piso 12 en la posición L2 vemos un caso particular donde la probabilidad de canal es del 10% indicando que en el lapso de 1 hora se puede usar este canal durante 6 minutos para radio cognitiva.

Tabla 4.1. Disponibilidad de canal de televisión.



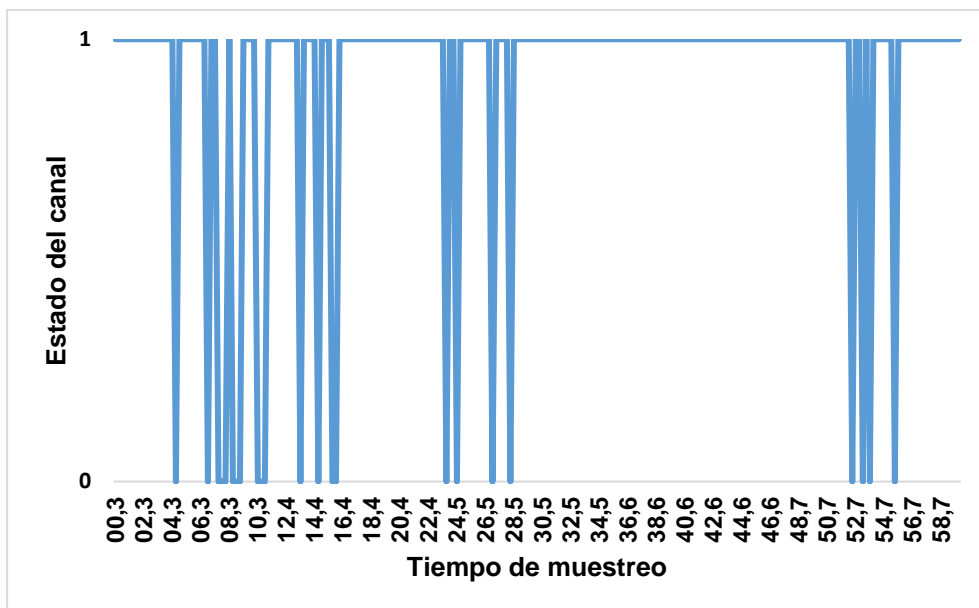


Figura. 4.2. Ciclo de trabajo del piso 12 en posición L2.

En la Figura. 4.2. se aprecia como estaría disponible el canal en el lapso de una hora, un sistema de radio cognitiva sería capaz de trabajar en todos los momentos donde la señal cae por debajo de -75dBm como se muestra en la Figura. 4.2. representado con 0.

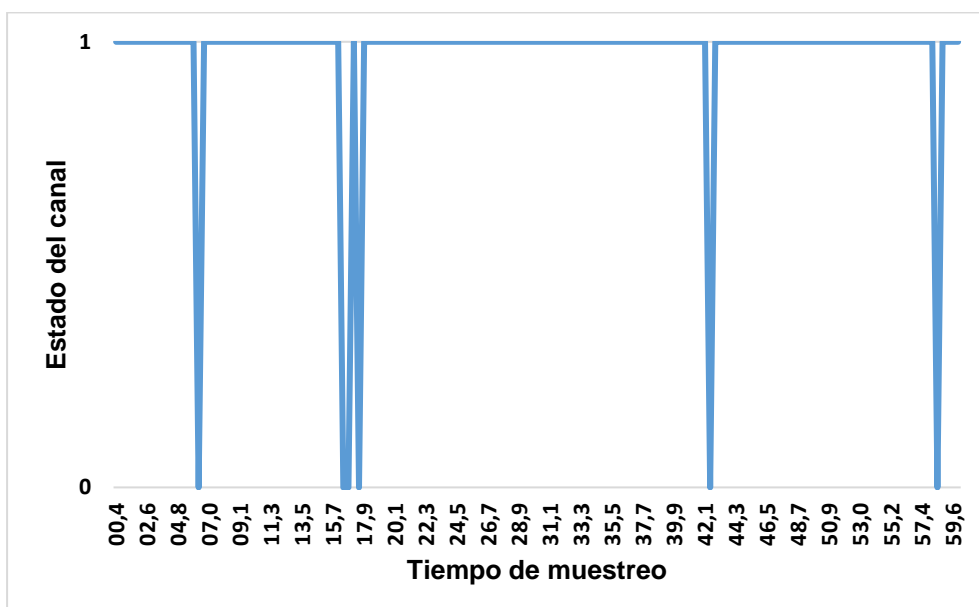


Figura. 4.3. Ciclo de trabajo del piso 16 en posición L3.

Para un caso donde el canal esta mayormente desocupado debe tomarse en cuenta los momentos en donde el canal se ocupa por su propietario, en estos

momentos los sistemas de radio cognitivos deben cesar sus funcionamientos momentáneamente. En la Figura. 4.3. se muestra el ciclo de trabajo del canal de televisión en el interior del edificio en el piso 16 en la posición L3, donde se aprecia que en el minuto 20.1 el sistema tendría que detenerse pues el propietario logra hacer uso del espectro, de igual forma en los minutos posteriores representados con el valor de 1 en la Figura. 4.3.

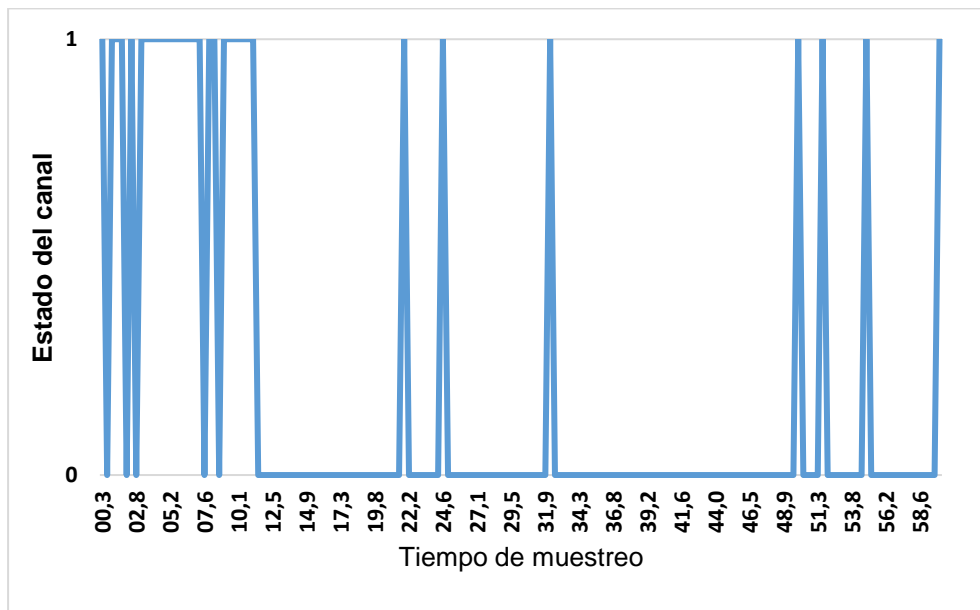


Figura. 4.4. Ciclo de trabajo del piso 5 en posición L1.

En la Figura. 4.4. donde se observa como en el lapso de 1 hora que se realizó el muestreo, el tiempo que se logró recibir una señal superior al umbral no supera los 6 minutos, por esto es notable que se considera disponible el canal en esta ubicación en el interior del edificio, teniendo la consideración que el sistema de radio cognitiva debe dejar de funcionar a partir del minuto 54 como se aprecia en la Figura. 4.3. pues en este momento el canal vuelve a ser ocupado por el dueño de la concesión.

4.3. Función de distribución acumulada

Es necesario realizar un proceso estocástico ya que los valores medidos varían respecto al tiempo y la función de distribución acumulada ayuda con la probabilidad de la variable a analizar. En diferentes pisos se determinó que el

100% de los datos estaban debajo del umbral de referencia dando como resultado que el canal estaba totalmente disponible y en otros pisos lo superaban en un 100% de datos en los casos que el canal estaba totalmente ocupado.

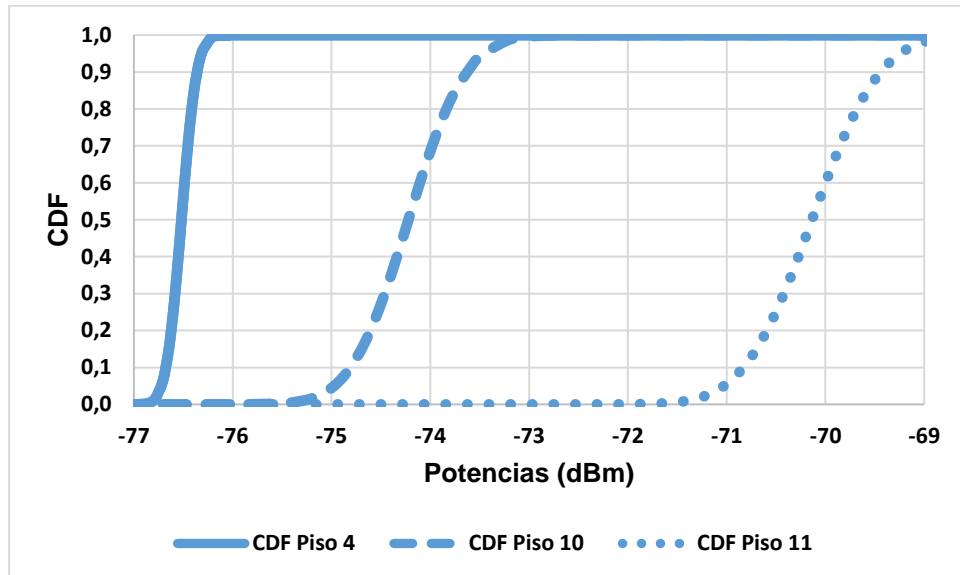


Figura. 4.5. Distribución acumulada en 3 diferentes pisos para la Posición L1.

En la Figura. 4.5. se tiene como resultado la función de distribución acumulada (CDF) de los datos receptados en 3 diferentes pisos. En los cuales se observa que en pisos inferiores se presenta mayor disponibilidad ya que la CDF del piso 4 no cruza por valores de la referencia de -75dBm; además, se puede apreciar que para el piso 10 existe casi 8% de los datos se encuentran debajo del umbral, por ende, el canal se encuentra parcialmente disponible en ese piso y en esa posición.

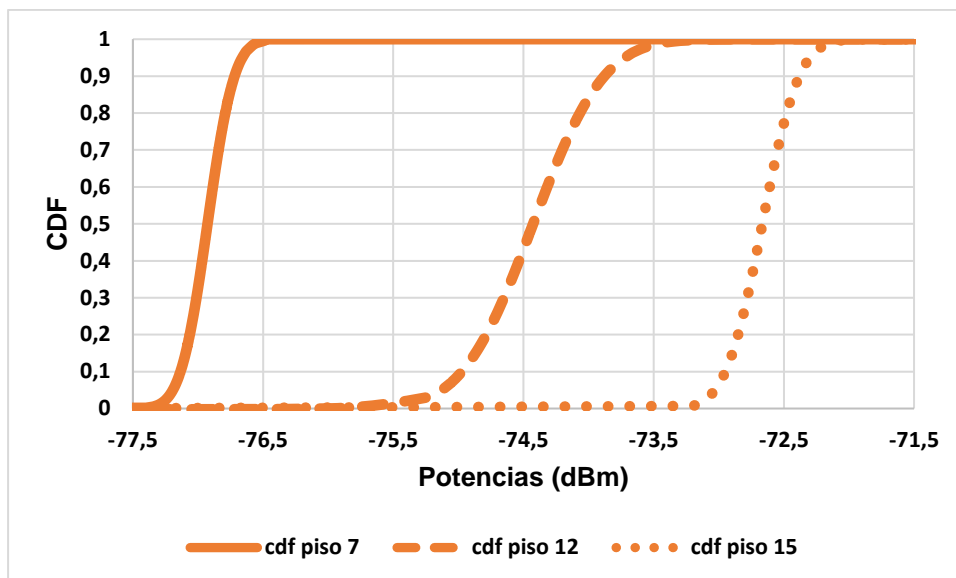


Figura. 4.6. Distribución acumulada en 3 diferentes pisos para la Posición L2.

La Figura. 4.6. muestra el resultado de la CDF para 3 mediciones realizadas en la posición L2 en diferentes pisos de los cuales se puede apreciar que en el piso 12 el canal se encuentra parcialmente ocupado ya que para el umbral de referencia se encuentra en un 10% de los datos receptados. Para pisos superiores los niveles de potencias son superior, provocando que el canal este totalmente ocupado ya que la CDF no se encuentra en ningún punto con la referencia de -75dBm o menor y para pisos inferiores la función de distribución acumulada siempre es inferior a la referencia por tal razón está siempre disponible el canal para ese piso.

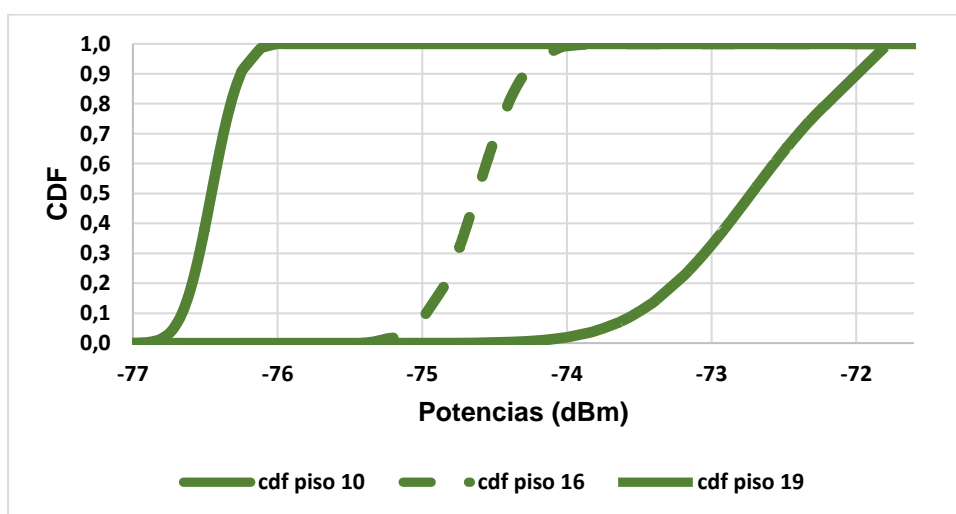


Figura. 4.7. Distribución acumulada en 3 diferentes pisos para la posición L3.

El resultado de las CDF para la posición L3 en 3 diferentes pisos se aprecian en la Figura. 4.7. donde se obtuvo que en el piso 16 para la posición 3 se encuentra el canal parcialmente ocupado ya que cerca del 5% de los valores se encuentra debajo del umbral. Para pisos superiores se aprecia que los valores son superiores al umbral de 75dBm y para pisos inferiores como el piso 10 los valores de potencia receptadas se encuentran todos debajo del umbral de referencia provocando que esté disponible el canal para su uso en nuevas tecnologías.

4.4. Función de distribución de probabilidad.

La función de distribución de probabilidad (PDF) es utilizada para determinar el intervalo de confianza de los datos medidos en cada piso y posición. Se determinó que para pisos superiores la campana correspondiente a la PDF es más abierta por el rango de datos medidos y esto debido a que en pisos superiores se presenta mayor dispersión.

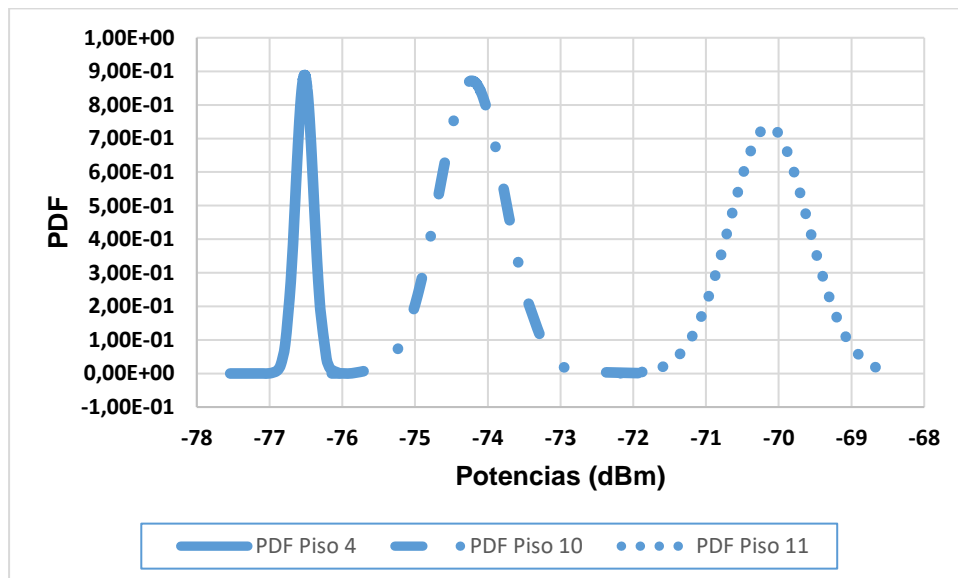


Figura. 4.8. Probabilidad PDF en 3 diferentes pisos.

Por ejemplo, en la Figura. 4.8. se puede apreciar el resultado la probabilidad para que los niveles de potencia estén dentro de un intervalo de confianza para la posición L1. Como se puede observar para el piso 10 la mayoría de los datos están entre valores de -74 Y -75.5dBm mientras que para el piso 11

existe una alta probabilidad que las potencias recibidas estén alrededor de -70dBm y para el piso 4 hay más probabilidad que los datos medidos estén cerca de -77.5dm.

4.5. Gráficos de la simulación de los modelos de propagación.

Luego de situar los parámetros en el simulador de los modelos de propagación se obtuvieron los siguientes gráficos que detallan el comportamiento de la señal recibida aplicando los diferentes modelos de propagación.

4.5.1. Modelo EGLI.

En el comportamiento del modelo EGLI de la Figura. 4.9. se aprecia el cambio significativo en el piso 15 debido al número de paredes colocadas en los parámetros haciendo que la señal se atenué aún más a diferencia con los otros pisos.

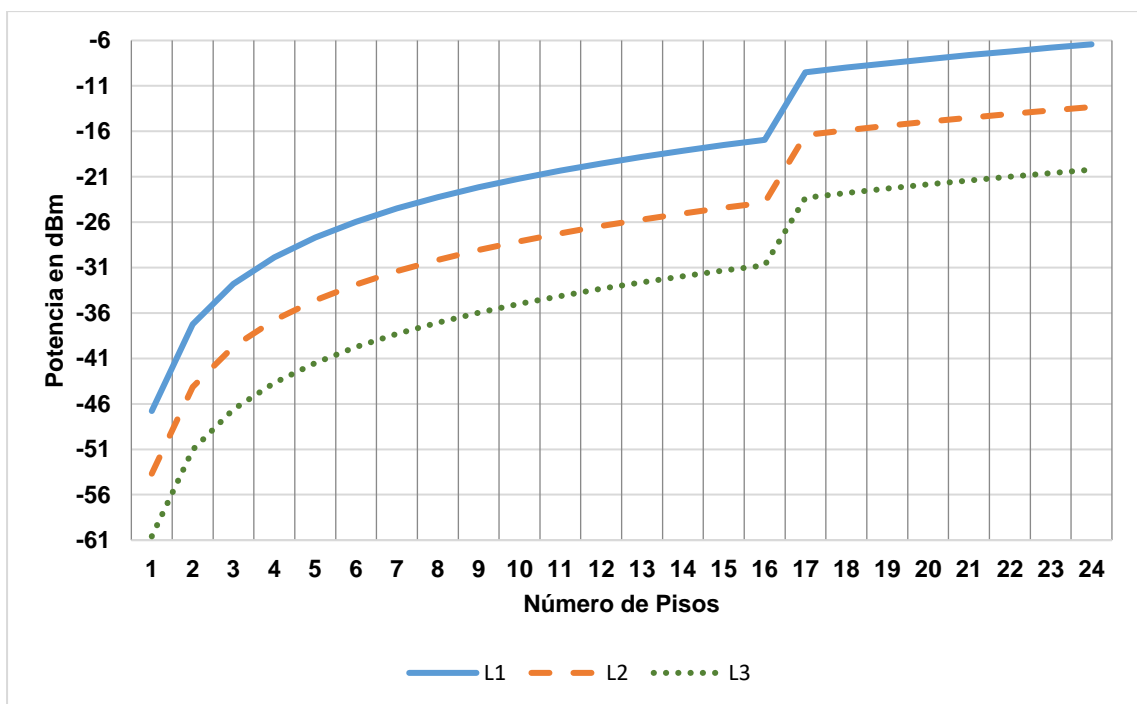


Figura. 4.9. Modelo de propagación EGLI.

4.5.2. Modelo Espacio Libre.

El comportamiento del modelo de espacio libre se puede apreciar en la Figura. 4.10. Como este modelo no toma en consideración el número de paredes o pisos se nota que es constante en muchos puntos, el cambio que tiene en el piso 16 es debido a que desde ese piso se encuentran obstáculos que provocan reflexiones y desvanecimiento.

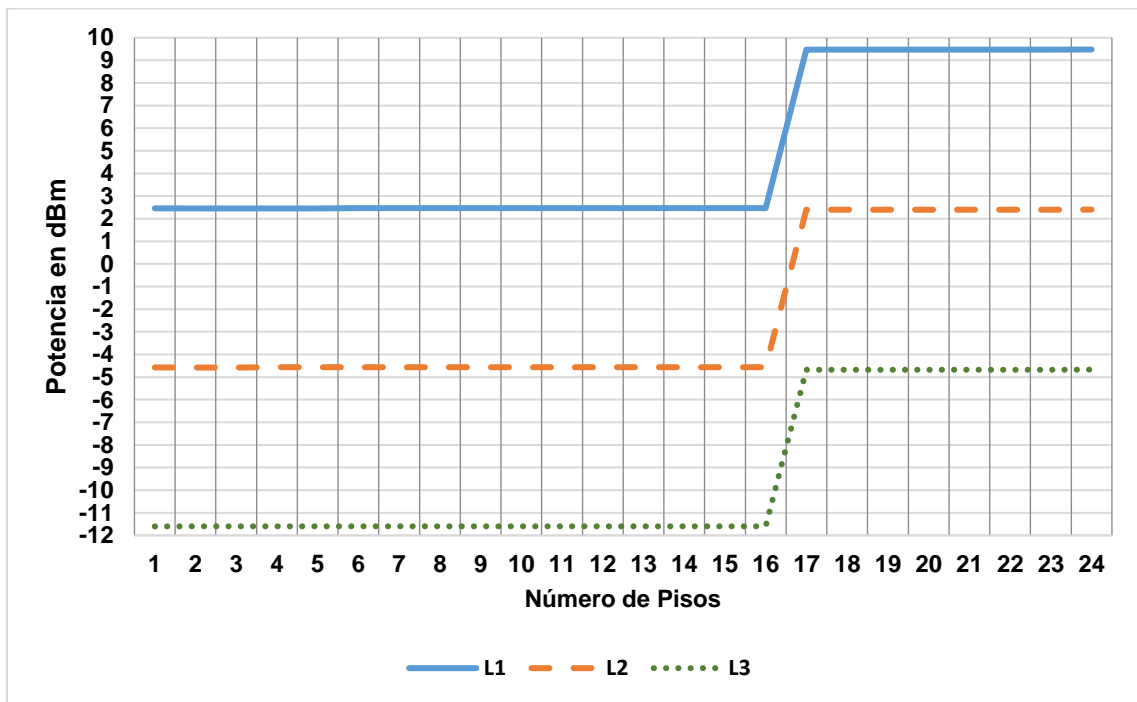


Figura. 4.10. Modelo de propagación Espacio Libre.

4.5.3. Modelo COST 231.

Para este modelo notamos en la Figura. 4.11. que la potencia de la señal decrece conforme se desciende los pisos, pero en los pisos 16 hay un cambio considerable, esto debido a la presencia de la otra torre que cuenta el edificio que empieza en dicho piso. Además del piso 5 se presenta otro cambio considerable, esto haciendo referencia a la gran cantidad de edificaciones que se encuentran alrededor del edificio que son de tamaño de 5 pisos, provocando fenómenos como reflexión influyendo en la calidad de la señal receptada.

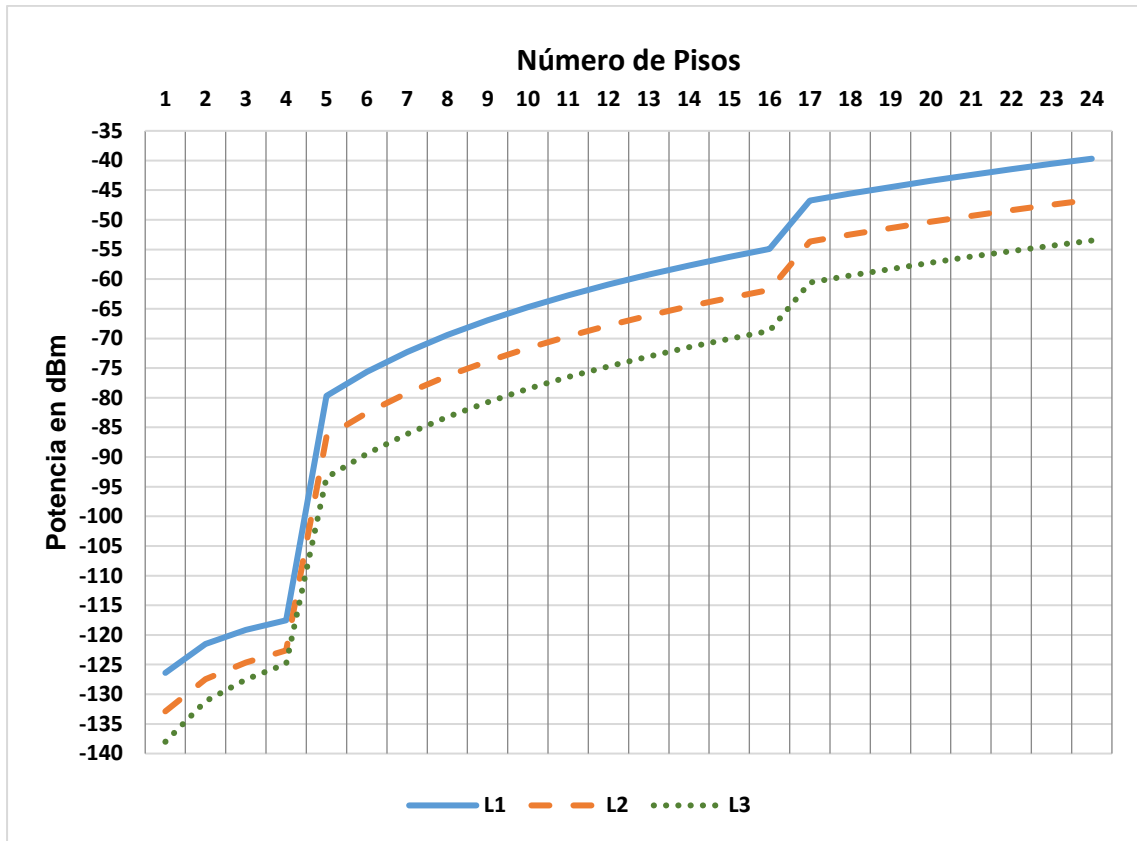


Figura. 4.11. Modelo de propagación COST 231.

4.6. Comparación de modelos de propagación.

En los gráficos a continuación se puede comparar y visualizar que modelo de propagación se asemeja más al comportamiento de los datos medidos. Se comparó cada posición con cada modelo y se realizó un gráfico por cada posición.

Para la posición L1 se tiene la Figura. 4.12. la cual detalla los 3 diferentes modelos que se utilizó para su comparación con los datos reales.

En la Figura. 4.12. las curvas de los datos obtenidos del RTL SRD y los resultados del simulador presentan un comportamiento uniforme, con poco cambio en el desplazamiento dentro de los diferentes pisos, los datos estudiados presentan un ligero incremento conforme el dispositivo receptor se desplaza hacia los pisos superiores.

Los datos obtenidos con el RTL-SDR no presentan un cambio realmente abrupto en el piso 16 como se obtuvo de la simulación, esto es debido a que, en un entorno real, la señal se ve afectada mucho antes de que cambie la forma del edificio dando como resultado una curva suave, la cual escala de igual forma que la simulada, pero sin el salto mostrado por el cambio de escenario.

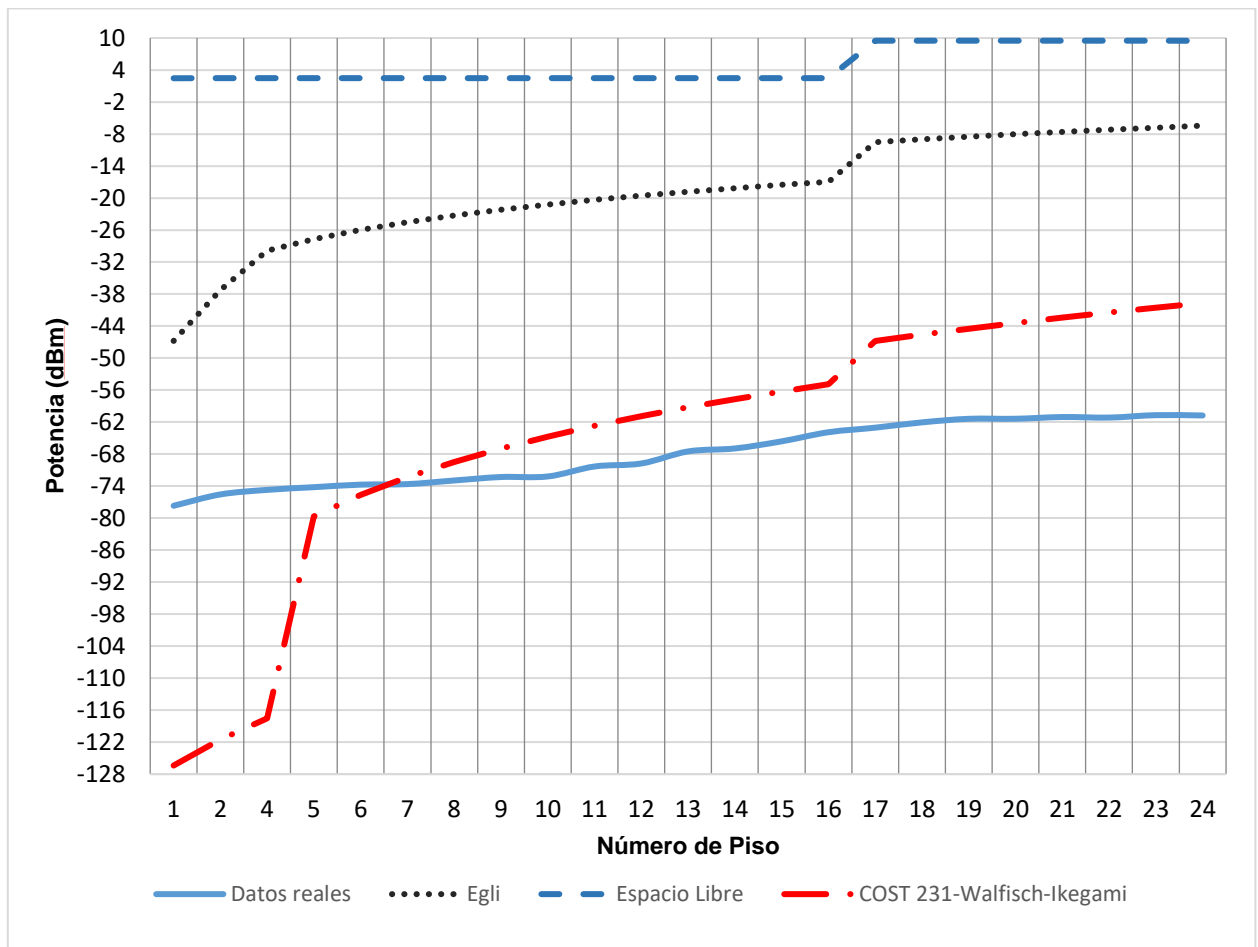


Figura. 4.12. Comparación de modelo de propagación para Posición L1.

Para la posición L2 se obtuvo la Figura. 4.13. la cual igual que la anterior contiene los diferentes modelos de propagación con los datos medidos en la posición 2.

En esta posición el cambio de escenario presenta una afectación más notable que en el caso anterior pues al encontrarse a una mayor distancia del punto de incidencia de la señal, esta señal se ve afectada en mayor medida por

todos los objetos que pueden representar obstrucciones tanto en el interior del edificio como por las reflexiones que ingresan por ventanas, puertas y paredes.

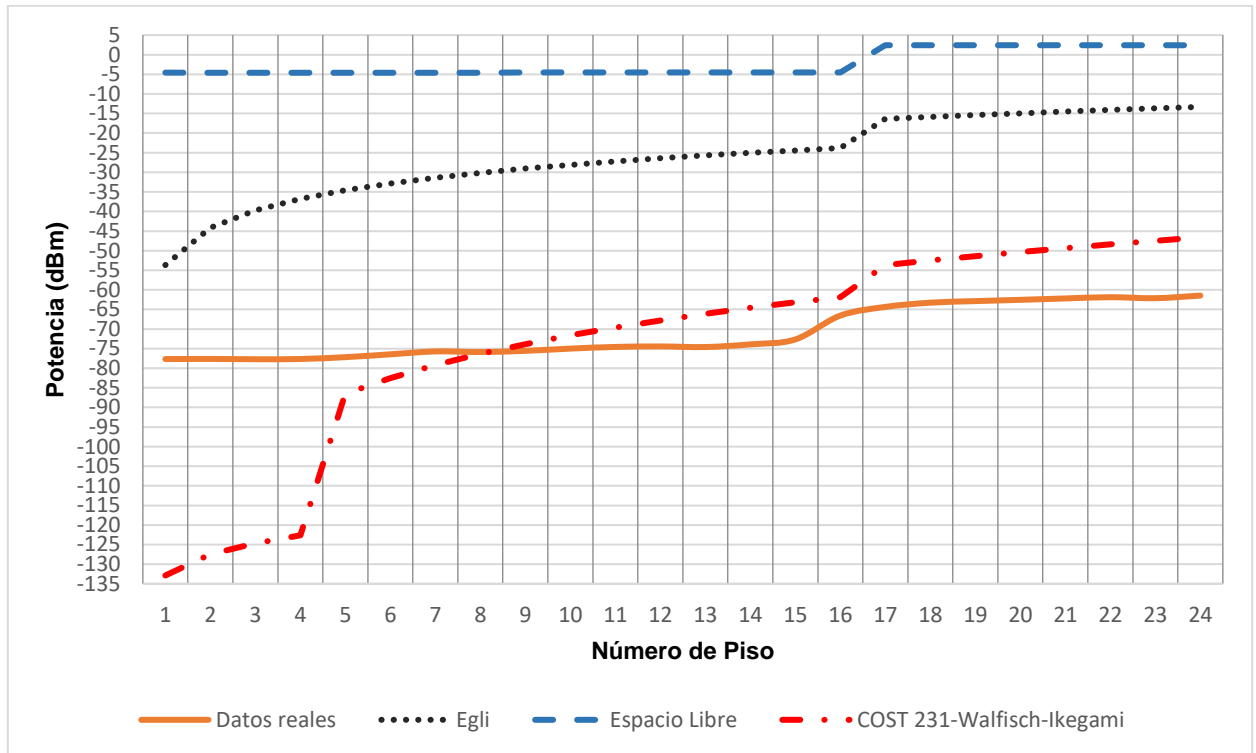


Figura. 4.13. Comparación de modelo de propagación para Posición L2.

Para la comparación en la posición 3 se tiene la Figura. 4.14. la cual se aprecia los diferentes modelos de propagación con los datos reales medidos en la posición L3. Al ser la posición con más obstáculos para llegar a la antena receptora, sus datos medidos son inferiores a los otros 2 puntos y sus características de propagación diferentes a los otros puntos de medición.

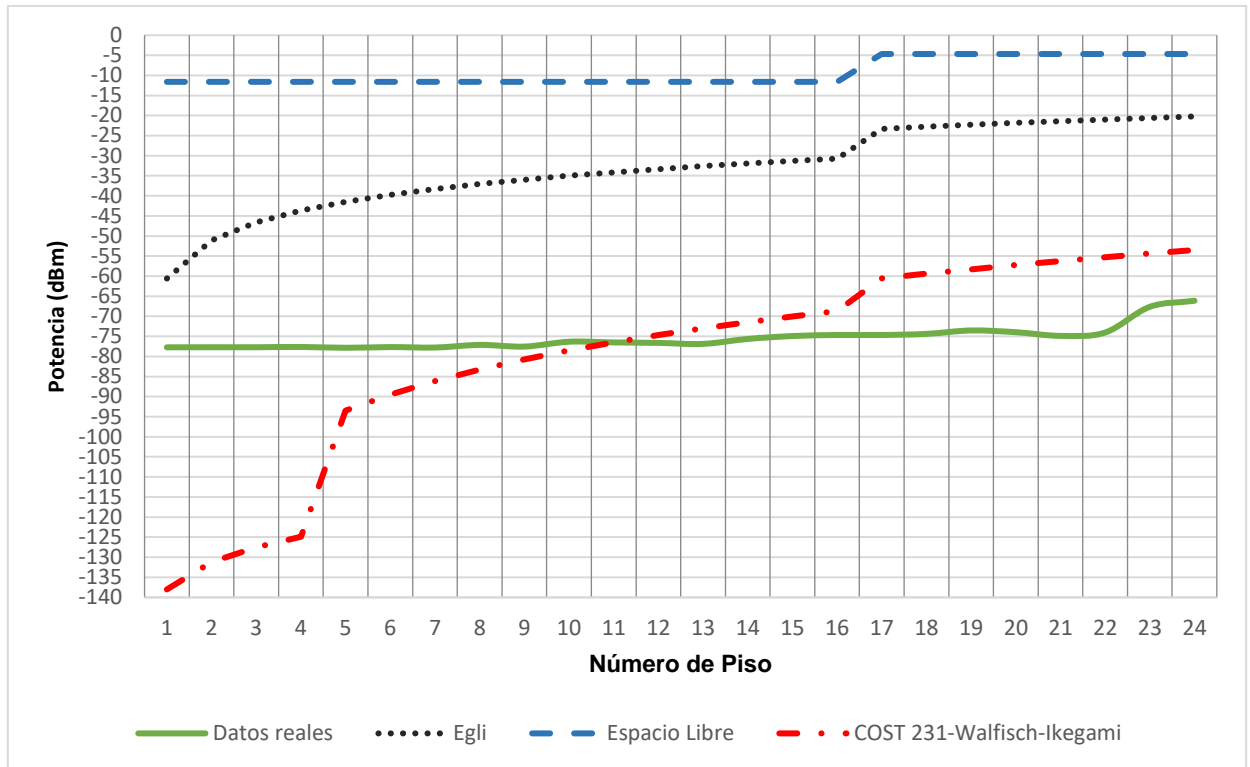


Figura. 4.14. Comparación de modelo de propagación para Posición L3.

Tabla 4.2. Correlación entre los modelos de propagación.

	L1	L2	L3	Correlación Global
EGLI	0,94133417	0,880080775	0,706499321	0,91
Espacio Libre	0,83869140	0,935965628	0,720547377	0,78
COST 231	0,86581616	0,780736295	0,633389238	0,90

En la Tabla 4.2. se observa la correlación de los resultados de la simulación con los datos obtenidos de las mediciones. Para el primer punto de medición se observa que el modelo con el que se obtiene una mayor correlación es el modelo de propagación EGLI, esto es debido a que el modelo EGLI se obtuvo de estudios hechos en ciudades para frecuencias UHF, lo cual se ajusta al entorno donde se realizó la toma de datos. A pesar de tener una alta correlación con los datos medidos en la Figura. 4.12, se aprecia que este modelo requiere un ajuste para representar correctamente los datos, este ajuste se debe a las pérdidas que el simulador no toma en consideración, siendo una de estas pérdidas las producidas por las sombras (shadowing).

La correlación de los datos en el punto 2 es mayor para el modelo de propagación de espacio libre seguido del modelo de propagación EGLI como se observa en la Tabla 2.1, esto es debido a que los datos obtenidos en el punto dos muestran un salto entre los pisos 16 mientras en el resto de los pisos tiene un comportamiento bastante estable como se observa en la Figura. 4.13, lo cual coincide más con el modelo de propagación de espacio libre el cual muestra el salto en el piso 17 y manteniendo valores constantes en el resto de los pisos. Como se aprecia en la Figura. 4.13, el modelo EGLI muestra un crecimiento en los pisos inferiores, un salto de nivel de potencia en el piso 17 y luego un ligero crecimiento en los pisos superiores, lo cual no se ajusta tanto al comportamiento observado en las mediciones.

Por esto se observa que el modelo de propagación con una mayor correlación global es el modelo EGLI, siendo éste el que representa mejor el comportamiento de la señal en el entorno analizado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

- En el piso superior del edificio está la mayor recepción de la señal correspondiente al canal de TV debido a que los niveles de potencia de recepción son altos en comparación a los pisos inferiores, donde la potencia está por debajo del umbral de referencia de -75dBm .
- La disponibilidad del espectro del canal de TV al interior del edificio depende de la posición y el piso en el que se realice la medición, siendo los pisos inferiores donde se encontró mayor disponibilidad para uso de nuevas tecnologías.
- Hay una diferencia de casi 10 dB entre el piso 16 y 15, a diferencia que en los otros pisos del edificio en los que hay máximo 5 dB de diferencia en la posición L2 y esto es porque las paredes que aporta la torre que empieza desde el piso 17 provoca pérdidas adicionales como por ejemplo reflexiones y son considerables al momento de recibir la señal.
- Los edificios que se encuentran entre la estación base y el punto de muestreo presentan sus efectos en los pisos inferiores al 17, donde los efectos de pérdidas producen un descenso rápido en la recepción de la señal en la posición 1.
- La potencia recibida en la posición 3 es muy inferior a las otras 2 debido a las pérdidas producidas por la estructura interna del edificio, confirmando nuevamente que las paredes y estructuras producen grandes pérdidas en la transmisión de señales inalámbrica.
- Comparando las mediciones con los diferentes modelos de propagación se concluye en este caso, que el comportamiento de la señal al interior del edificio es explicado mediante el modelo de propagación EGLI.
- Del estudio realizado se logró determinar que existe disponibilidad del espectro radioeléctrico dentro de los edificios de ciudades con alta densidad de edificios que superan los 8 pisos.
- Debido a la alta correlación con el modelo de propagación Egli se concluye que dicho modelo es el adecuado para determinar la disponibilidad espectral al interior de edificios, tomando en cuenta que requiere de ajustes.

- El canal analizado está siendo desaprovechado en los pisos inferiores de edificios localizados en zonas urbanas, debido a las pérdidas provocadas por la estructura de la ciudad.
- No es necesario la migración a otras frecuencias ya que en la actualidad existe disponibilidad espectral en el interior de edificios, esta es adecuada para la implementación de nuevas tecnologías como radio cognitiva.

Recomendaciones.

1. Para la realización de mediciones es favorable que no fluyan personas cerca de los dispositivos de medición ya que estos podrían afectar con la adquisición de datos y variar con los resultados.
2. Se recomienda que las laptops en las que se conecta los dispositivos de medición tengan las mismas características, caso contrario puede ser que un equipo adquiera más datos en el mismo lapso de tiempo.
3. Antes de analizar la potencia de recepción de un canal de televisión se recomienda verificar desde donde se está transmitiendo y si es posible adquirir los parámetros con los que se transmite esa señal para poder utilizar modelos de propagación para la posterior comparación.
4. Si se utiliza un dispositivo para medición de potencias de recepción de bajo costo, es recomendable comparar sus mediciones con otro equipo que sea de alta confiabilidad para evitar tomar datos erróneos que puedan perjudicar en la investigación.
5. Se recomienda realizar la toma de datos de las potencias de recepción en un ambiente fresco y que circule el aire, ya que el dispositivo RTL se calienta conforme pasa mucho tiempo receptando datos y esto puede dañar los componentes electrónicos.
6. Las pérdidas provocadas por las paredes, ventanas, puertas y demás estructuras son aportaciones grandes que deben tomarse en cuenta al momento de planear redes de comunicaciones, ya que de no planificar las pérdidas de transmisión se podría caer en el sub dimensionamiento o en el sobre dimensionamiento de la red.

Bibliografía

- [1] Arcotel, «Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones,» Ecuador, [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [2] «El WiFi al límite de su capacidad por la saturación de redes,» [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/article8853-el-wifi-al-limite-de-su-capacidad-por-la-saturacion-de-redes.html>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [3] Federal Communications Commission, «ET Docket No. 02- 135,» Spectrum policy task force report, 2002.
- [4] A. F. Vega León, «EVALUACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO VHF/ UHF EN,» Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Redes de Información y Conectividad, Sangolquí, 2013.
- [5] I. B. Ruiz Quinde y R. R. Malta Bautista, *MEDICIÓN, CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DEL RANGO DE FRECUENCIAS ASIGNADO A RADIOFUSIÓN POR TV (512 – 698 MHz) DE LA BANDA UHF DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN LA FIEC, CAMPUS PROSPERINA*, Guayaquil: ESPOL, 2017.
- [6] J. M. MARTÍNEZ BUCHELI y J. L. MORÁN LAVAYEN, *MEDICIÓN Y MODELAMIENTO DEL RANGO DE FRECUENCIAS ASIGNADO A RADIODIFUSIÓN FM DE LA BANDA VHF (88-108 MHz) DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN ESCENARIO INTERIOR DE UN EDIFICIO EN EL CENTRO DE GUAYAQUIL*, Guayaquil: ESPOL, 2016.
- [7] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, «La Sociedad es la beneficiaria del recurso natural del Espectro Radioelétrico,» [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/la-sociedad-es-la-beneficiaria-del-recurso-natural-del-espectro-radioelectrico/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [8] Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, «Boletín electrónico N° 52,» Octubre 2008. [En línea]. Available: http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro_e.asp. [Último acceso: Octubre 2018].

- [9] Comision Internacional de Telecomunicaciones, [En línea]. Available: http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro_e.asp. [Último acceso: 20 Noviembre 2018].
- [10] Arcotel, «PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS ECUADOR,» Quito, 2017.
- [11] ARCOTEL, «NORMA TÉCNICA PARA EL SERVICIO DE TELEVISIÓN ANALÓGICA Y PLAN DE DISTRIBUCIÓN DE CANALES,» [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>. [Último acceso: 11 Noviembre 2018].
- [12] «Real Academia de Ingeniería,» [En línea]. Available: <http://diccionario.raing.es>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [13] R. Stewart, B. Kenneth, A. Dale y C. Louise, Software-Defined Radio Using MATLAB, Simulink, and the RTL-SDR, Scotland: University of Strathclyde.
- [14] R. C. Pérez Vega y J. M. Zamanillo Sainz de la Maza, Fundamentos de televisión analógica y digital, Editorial de la Universidad de Cantabria, 2003.
- [15] M. I. Hernández Agirre , «GENERACIÓN Y USO DEL CONOCIMIENTO SOBRE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT) EN COLOMBIA.,» [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/html/1995/199520478031/>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [16] CONATEL, «resolución No. 084-05-CONATEL2010,» 2010. [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/02/Resoluci%C3%B3n-No.-CITDT-2014-01-032.pdf>. [Último acceso: 25 Noviembre 2018].
- [17] IEEE, «IEEE 802.22 Working Group,» [En línea]. Available: <http://www.ieee802.org/22/>.
- [18] Federal Communications Commission, «White Space,» [En línea]. Available: <https://www.fcc.gov/general/white-space>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [19] C. Daza Tache, «Espacios en Blanco en Colombia,» ITU, [En línea]. Available: https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/RRS-17-Americas/Documents/Forum/4_ANE%20Carolina%20Daza%20TVWS.pdf. [Último acceso: Octubre 2018].

- [20] Techopedia, «Techopedia,» [En línea]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/5069/line-of-sight-los>. [Último acceso: 20 12 2018].
- [21] N. Zahera , N. Iram y M. Zahwa , «PROPAGATION MODELS FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM,» [En línea]. Available: <https://www.irjet.net/archives/V5/i1/IRJET-V5I149.pdf>.
- [22] R. Quintana Alonso, R. Bordón López y S. Montejo Sánchez, «Estudio comparativo de los modelos de propagación de canal inalámbrico,» Universidad Central de Las Villas, [En línea]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282013000100002. [Último acceso: Octubre 2018].
- [23] H. R. Márquez Ramos, «Arquitecturas de radio cognitiva: una revisión actual,» [En línea]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2014000100014. [Último acceso: 22 12 2018].
- [24] Ranga Rodrigo, «Fundamental Parameters of Antennas,» [En línea]. Available: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Mzq-v3wVbZ0J:www.aast.edu/pheed/staffadminview/pdf_retreive.php%3Furl%3D66_10285_EC442_2015_1__1_1_antenna%2520parameters.pdf%26stafftype%3Dstaffcourses+%&cd=6&hl=es&ct=clnk&gl=ec&client=firefox-b-ab. [Último acceso: 25 11 2018].
- [25] Novus, *Novus.com.ar*, Buenos Aires.
- [26] «ANTENA DIEDRO,» Clubensayos, Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.clubensayos.com/Ciencia/ANTENA-DIEDRO/2511260.html>. [Último acceso: Octubre 2018].
- [27] Novus, [En línea]. Available: http://www.novus.com.ar/pdf/tv_3.pdf. [Último acceso: Octubre 2018].
- [28] F. Novillo, J. Gómez y W. Medina, «Channel Availability Characterization in TV bands for OSA Devices Inside Buildings,» *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, vol. 14, nº 6, 2016.