

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electrónica y Computación

Estudio Espectral sobre la congestión en los canales de las bandas ISM
2.4 y 5GHz en Cerro Azul y centro de la ciudad de Guayaquil con un
alcance máximo de 1Km.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Telecomunicaciones

Presentado por:

Daniel Jeremías Fajardo Salcedo

Yvy Krystel Quezada Bone

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedicamos principalmente a Dios, ya que gracias a él hemos logrado culminar una etapa más de nuestra vida profesional y contamos con su apoyo en todas las metas propuestas.

También a nuestros padres que han sido nuestra mano derecha en todas las adversidades durante la carrera universitaria y con su tenacidad, hemos logrado convertirnos en futuros ingenieros de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) por abrirnos las puertas y permitirnos ser parte de su prestigiosa institución.

A nuestras familias que con su apoyo incondicional ha permitido lograr lo que hemos anhelado. Por ello, les rendimos este homenaje esperando seguir brindándoles más victorias a lo largo de nuestra vida profesional y personal.

Finalmente, agradecemos a los profesores por realizar una gran labor y guiarnos en nuestra formación durante la carrera universitaria.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, que corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Daniel Jeremías Fajardo Salcedo e Yvy Krystel Quezada Bone, 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"



Daniel Jeremias
Fajardo Salcedo



Yvy Krystel
Quezada Bone

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:

**VERONICA
ALEXANDRASOTO
VERA**

Francisco Vicente Novillo Parales

PROFESOR DE LA MATERIA

Verónica Alexandra Soto Vera

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Ecuador posee 2'015.159 cuentas de internet fijo y 9'484.772 de internet móvil, con un total de 11'499.931, ocupando Pichincha la primera ciudad con mayor demanda de internet en el país y Guayaquil la segunda. El incremento del uso de comunicaciones inalámbricas, sobre todo WIFI, ha provocado saturación en las bandas ISM de 2.4 GHz y 5 GHz, dando como resultado conexiones lentas e inseguras y estimulando la calidad de servicio del proveedor al cliente.

En el presente proyecto se consideran dos escenarios: indoor (interno) y outdoor (externo), donde se hace uso de una antena Discono, una laptop y una base de los datos recolectados, la cual posee la potencia existente en las zonas indoor y outdoor, el rate entre transmisor (Tx) y receptor (Rx). En el ambiente indoor el espectro se muestra con mayor congestión al presentar altos niveles de interferencias, por eso la banda de 2.4GHz es más relevante en esta zona. Y, en el ambiente outdoor las señales se atenúan rápidamente al trabajar en frecuencias altas, como lo es 5GHz.

Por esto, se genera un estudio espectral de las bandas 2.4 y 5 GHz en zonas interiores y exteriores de Guayaquil, para analizar los protocolos en la capa física, los datos estadísticos acerca del comportamiento del espectro, la potencia, la latencia, el rate del enlace y la capacidad del canal en la banda espectral.

Palabras Claves: Comunicaciones Inalámbricas, Indoor, Outdoor, Interferencias, Saturación y Bandas ISM.

ABSTRACT

Ecuador has 2,015,159 fixed internet accounts and 9,484,772 mobile internet users, with a total of 11,499,931, Pichincha occupying the first city with the highest internet demand in the country and Guayaquil the second. The increase in the use of wireless communications, especially WIFI, has caused saturation in the 2.4 GHz and 5 GHz ISM bands, resulting in slow and insecure connections, and stimulating the quality of service from the provider to the customer.

In the present project, two scenarios are considered: indoor (internal) and outdoor (external), where use is made of a Discono antenna, a laptop, and a database of the collected data, which has the existing power in the indoor and outdoor areas, the rate between transmitter (Tx) and receiver (Rx). In the indoor environment, the spectrum is more congested as it presents high levels of interference, which is why the 2.4GHz band is more relevant in this area. And, in the outdoor environment, the signals attenuate quickly when working at high frequencies, such as 5GHz.

For this reason, a spectral study of the 2.4 and 5 GHz bands in interior and exterior areas of Guayaquil is generated, to analyze the protocols in the physical layer, the statistical data about the behavior of the spectrum, the power, the latency, the rate of link and channel capacity in the spectral band.

Keywords: Wireless Communications, Indoor, Outdoor, Saturation and ISM Bands.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE GENERAL.....	8
ABREVIATURAS.....	10
SIMBOLOGÍA.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE TABLAS.....	13
ÍNDICE DE APÉNDICE.....	14
CAPÍTULO 1.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.4. METODOLOGÍA	18
CAPÍTULO 2.....	19
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. REDES INALÁMBRICAS.....	19
2.2. TECNOLOGÍAS DE REDES INALÁMBRICAS.....	19
2.2.1. WIFI.....	19
2.2.1.1. Estándares WIFI.....	20
2.2.2. BLUETOOTH.....	20
2.2.3. ZIGBEE.....	21
2.3. BANDAS DE FRECUENCIAS.....	21
2.4. INTERFERENCIA RADIOELECTRICA	23
2.5. SINR.....	23
2.6. VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	24
2.7. ANALIZADOR ESPECTRAL.....	24
2.8. ANTENA DISCONO	25
CAPÍTULO 3.....	26

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	26
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO	26
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	26
3.3. RESULTADOS DEL CENTRO DE LA CIUDAD	28
3.3.1. BANDA DE FRECUENCIA 2.4 GHZ	28
3.3.1.1. ANÁLISIS ESPECTRAL.....	28
3.3.1.1.1. CAPACIDAD DEL CANAL.....	29
3.3.1.2. ANÁLISIS DE DESMPÑO DE UNA RED.....	30
3.3.2. BANDA DE FRECUENCIA 5 GHZ.....	31
3.3.2.1. ANÁLISIS ESPECTRAL.....	31
3.3.2.1.1. CAPACIDAD DEL CANAL.....	32
3.3.2.2. ANÁLISIS DE DESMPÑO DE UNA RED.....	33
3.4. RESULTADOS DE CERRO AZUL	34
3.4.1. BANDA DE FRECUENCIA 2.4 GHZ	34
3.4.1.1. ANÁLISIS ESPECTRAL.....	34
3.4.1.1.1. CAPACIDAD DEL CANAL.....	35
3.4.1.2. ANÁLISIS DE DESMPÑO DE UNA RED.....	36
3.4.2. BANDA DE FRECUENCIA 5 GHZ.....	37
3.4.2.1. ANÁLISIS ESPECTRAL.....	37
3.4.2.1.1. CAPACIDAD DEL CANAL.....	38
3.4.2.2. ANÁLISIS DE DESMPÑO DE UNA RED.....	38
CAPÍTULO 4	40
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
4.1. CONCLUSIONES	40
4.2. RECOMENDACIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA	42
APÉNDICE	44

ABREVIATURAS

AM Amplitude Modulation

AP Access Point

ARCOTEL Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones

BER Measure the Bit Error Rate

DFS Dynamic Frequency Selection

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

FM Frequency Modulation

IEEE The Institute of Electrical and Electronics Engineers

INTEL Integrated Electronics Corporation

ISM band Industrial, Scientific and Medical radioband

ITU Unión internacional de telecomunicaciones

PtM Point to Multi Point

PtP Point to Point

RF Radio Frequency

RFID Radio Frequency Identification

RSSI Received Signal Strength Indicator

SNRI Signal to interference and Noise Ratio

U-NII Unlicensed National Information Infrastructure

UWB Ultra-wideband

WIFI Wireless Fidelity

WIMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN Wireless Local Area Network

WMAN Wireless Metropolitan Area Network

WPAN Wireless Personal Area Network

WWAN Wireless Wide Area Network

SIMBOLOGÍA

dBm Decibel-milliwatts

G Giga

Gbps Gigabits por segundo

GHz Gigahercio

Kbps Kilobits por segundo

Mpbs Megabits por segundo

MHz Megahercio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Topología de red inalámbrica.....	19
Figura 2. 2 Canales de frecuencia 2.4 GHz.	22
Figura 2.3 Canales de frecuencia 5 Ghz.	23
Figura 2. 4 Analizador Espectral TTI.....	24
Figura 2. 5 Antena Discono.....	25
Figura 3. 1 Localizaciones de los sitios donde se toman las muestras (a) Centro de la ciudad y (b) Cerro azul en Google Earth.....	26
Figura 3. 2 Topología de la primera fase.....	27
Figura 3. 3 Topología de la segunda fase.....	27
Figura 3. 4 Gráfica de a) Máximo, b) Promedio y c) Mínimo del Espectro.....	28
Figura 3. 5 Gráfica del canal saturado en Centro.....	29
Figura 3. 6 Gráfica a) CDF y b) Link Speed vs RSSI en 2.4GHz.....	30
Figura 3. 7 Gráfica de a) Máximo, b) Promedio y c) Mínimo del Espectro.....	31
Figura 3. 8 Gráfica del canal usado.....	32
Figura 3. 9 Gráfica a) CDF y b) Link Speed vs RSSI en 5GHz.....	33
Figura 3. 10 Gráfica de a) Máximo, b) Promedio y c) Mínimo del Espectro.....	34
Figura 3. 11 Gráfica del canal saturado.....	35
Figura 3. 12 Gráfica a) CDF y b) Link Speed vs RSSI en 2.4GHz.....	36
Figura 3. 13 Gráfica de a) Máximo, b) Promedio y c) Mínimo del Espectro.....	37
Figura 3. 14 Gráfica del canal usado.....	38
Figura 3. 15 Gráfica a) CDF y b) Link Speed vs RSSI en 5GHz.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal	28
Tabla 3. 2 Matriz de correlación entre Link Speed vs RSSI	30
Tabla 3. 3 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal	31
Tabla 3. 4 Matriz de correlación entre Link Speed vs RSSI	33
Tabla 3. 5 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal	34
Tabla 3. 6 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal	36
Tabla 3. 7 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal	37
Tabla 3. 8 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal	39

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice 1 Montaje de fase 1 en Centro de Guayaquil	44
Apéndice 2 Montaje de fase 2 en Centro de Guayaquil	44
Apéndice 3 Recolección de datos de fase 2	45
Apéndice 4 Montaje de fase 1 en Cerro Azul	45
Apéndice 5 Recolección de datos a través de WIFI SPEED TEST	46
Apéndice 6 Logs de los datos recolectados	46
Apéndice 7 Gráfica de Máximos con Intervalo de Confianza 2.4GHz en Centro	46
Apéndice 8 Gráfica de Promedios con Intervalo de Confianza 2.4Ghz en Centro	47
Apéndice 10 Gráfica de Máximo con Intervalo de Confianza 5GHz en Centro	47
Apéndice 9 Gráfica de Promedios con Intervalo de Confianza 5GHz en Centro	47
Apéndice 11 Gráfica de Máximos con Intervalo de Confianza 2.4GHz en Cerro Azul ..	47
Apéndice 12 Gráfica de Promedios con Intervalo de Confianza 2.4Ghz en Cerro Azul	48
Apéndice 13 Gráfica de Máximos con Intervalo de Confianza 5GHz en Cerro Azul	48
Apéndice 14 Gráfica de Promedio con Intervalo de Confianza 5GHz en Cerro Azul	48

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La evolución de las telecomunicaciones se ha evidenciado al pasar el tiempo debido a que desde un inicio se ha tratado de proporcionar una comunicación eficiente o transferir alguna información [1]. Dentro de esta evolución se ha desarrollado 2 tipos de conexiones que son: alámbrica e inalámbrica, donde las conexiones alámbricas son sistemas que se conectan a través de un conductor que transporta electricidad o luz, mientras que en las conexiones inalámbricas su información es dirigida por medio de impulsos eléctricos u ondas electromagnéticas.

Las redes inalámbricas se encuentran conformadas por dispositivos que son capaces de enviar su información por medio del aire. Este detalle ha caracterizado a este tipo de red que sea de fácil uso e instalación, debido a que es sencillo observar a un usuario hoy en día conectarse desde cualquier lugar como: edificios, casas, aeropuertos, centros comerciales, autos, entre otros sitios hacia cualquier servicio en la red, que por lo general es el Internet [2].

Por otra parte, el aumento constante de las comunicaciones inalámbricas conlleva a ser regularizadas por estándares implementados por diversos organismos internacionales ITU (La unión internacional de telecomunicaciones) o nacionales ARCOTEL (Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones) para el correcto uso del espectro radioeléctrico [3]. Dentro de las frecuencias regularizadas se encuentran las bandas ISM, las cuales también son conocidas como bandas no licenciadas o libres por parte de las agencias regulatorias, y está conformada por varias posibilidades que son: banda 2,4 GHz, 5 GHz, 868 MHz, 434 MHz y frecuencias RFID, por esta razón es utilizada por parte de diferentes tecnologías, por ejemplo: WIFI, LoraWan, Zigbee, Bluetooth o Sigfox [4].

Si bien es cierto que las tecnologías mencionadas trabajan dentro del rango de frecuencias de 2,4 GHz han causado una saturación, es decir, existe una gran demanda de su uso por parte de algún usuario. Esto se observa más en WIFI, el

cual usa canales que se solapan entre si causando interferencia, y solo los canales 1, 6 y 11 no permite esa sobreposición.

Por lo tanto, para este presente proyecto se realizará un estudio para comprobar el desempeño, disponibilidad y funcionamiento de las redes inalámbricas que trabajan en las bandas 2.4 y 5 GHz, por medio de la recopilación de mediciones a realizarse en una zona urbana céntrica y rural en la ciudad de Guayaquil [5].

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en el espectro de frecuencias existen dos bandas que se encuentran disponibles para uso no licenciado, por ejemplo: 2.4 y 5GHz, que fueron asignadas a través de la ITU como bandas libres no comerciales de radiofrecuencia electromagnética en áreas industriales, científicas y médicas (ISM) [6]. Estas poseen diversos canales como: 2.4GHz que tiene tres canales sin solaparse que son: 1, 6 y 11, los cuales son usados en los dispositivos Bluetooth, microondas de cocina, redes Wi-Fi y entre otros. Por otro lado, 5GHz tiene 21 canales de 20MHz asignados a rangos de frecuencia sin fusión para evitar interferencia, tales como: 34-48(U-NII-1), 52-64(U-NII-2A), 100-144(U-NII-2C), 149-165(U-NII-3) y 169-185(U-NII-4); aplicados en Industria 4.0, cámaras IP, streaming y otros usos de internet [7].

Como resultado del incremento de sistemas inalámbricos, el espectro en las zonas indoor, se encuentra significativamente congestionado con altos niveles de interferencia al trabajar con frecuencias 2.4GHz, dando como resultado una baja relación SNRI (señal-ruido/interferencia), un alto BER [8] y que el tráfico de datos en la red sea lenta e inestable. En cuanto a las zonas outdoor al usar frecuencias de 5 GHz, los enlaces inalámbricos suelen ser sensibles a mayores distancias y obstáculos o muros, debido a que la señal pierde potencia causando inestabilidad, cortes e incluso la imposibilidad de levantar los enlaces, es decir, las señales se atenúan más rápido [9].

Para este trabajo, en la ciudad de Guayaquil se definen dos tipos de escenarios. Primero, un punto estratégico es el centro de la ciudad que sirve para el análisis

de la problemática descrita anteriormente en frecuencias de 2.4 GHz. Como segundo sector, el Cerro Azul que permite el estudio en frecuencias de 5 GHz y cuenta con la presencia de enlaces PtP o PtM [10].

1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

El uso de las redes inalámbricas en la ciudad de Guayaquil se ha incrementado. Según ARCOTEL esta ciudad contiene el 28% de cuentas de internet fijo e inalámbrico a nivel nacional, provocando que existan niveles altos de interferencia entre estas redes [11].

Este problema ha causado que los niveles de saturación en los canales aumenten, como es el caso en la banda de frecuencia 2,4 GHz; afectando la calidad de servicio que ofrece cada proveedor hacia sus clientes finales, es decir, la latencia de la red es alta o el rate (velocidad de transmisión) es muy baja comparado a la que el usuario desea adquirir [12].

En consecuencia, se estima el uso de bandas de mayor frecuencia para mejorar el exceso de tráfico, y así poder disminuir la congestión que existe en las bandas de menor frecuencia. Por lo que, en el presente se observa la comercialización de dispositivos que operan en la banda 2,4 GHz y 5 GHz a la vez o también conocidos como dispositivos de doble banda, y así tener diferentes alternativas a los distintos escenarios en donde un usuario puede conectarse hacia Internet o cualquier servicio [13].

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la disponibilidad espectral de la banda ISM de 2.4GHz y 5GHz en zonas interiores y exteriores de la ciudad de Guayaquil.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los protocolos en la capa física para las versiones de 802.11 n, ac, ax.
- Analizar estadísticamente el comportamiento del espectro en 2.4 Ghz y 5GHz.

- Analizar la capacidad del canal en la banda espectral en 2.4GHz y 5GHz.

1.4. METODOLOGÍA

El estudio espectral tiene un enfoque en ambientes interiores y exteriores de Guayaquil, para obtener una mejor visión del espectro en los canales de las bandas ISM. Por lo tanto, se selecciona las bandas y los canales configurados en los dispositivos con acceso a las comunicaciones inalámbricas en las bandas 2.4 y 5 GHz.

Por otra parte, para conocer el estado de la saturación se realizan mediciones dentro del rango de 1 Km en diferentes zonas de la ciudad como Centro para 2.4 GHz por la gran demanda de redes y Cerro Azul para 5GHz debido a los diferentes tipos de enlaces en zonas outdoor. Luego, se promedian los datos recolectados durante las pruebas que son colocados en una base de datos para ser tabulados y analizados estadísticamente.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. REDES INALÁMBRICAS

Las redes inalámbricas son aquellas que usan ondas de radio para poder conectar dispositivos a cortas y largas distancias. Una de las grandes ventajas de este tipo de red es que no se usan cables para levantar el enlace de comunicación, como se observa en la Figura 2.1, que se encuentran varios equipos con tecnología WIFI como: laptop, PC, Tablet, smartphone e impresora conectados a internet de manera inalámbrica a través de un Acces Point, comunicándose entre ellos.

Las redes inalámbricas se clasifican en cuatro grupos según el área y alcance de cualquier señal como los son las redes: WLAN (Wireless Local Area Network), WPAN (Wireless Personal Area Network), WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) y WWAN (Wireless Wide Area Network [14].

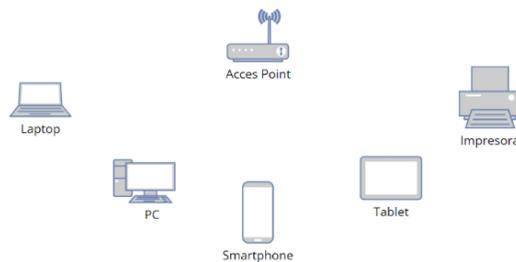


Figura 2. 1 Topología de red inalámbrica

2.2. TECNOLOGÍAS DE REDES INALÁMBRICAS

2.2.1. WIFI

Es una tecnología que permite la interconexión de dispositivos electrónicos e informáticos de forma inalámbrica, permitiéndoles compartir datos o solo conectarse a un punto de acceso (AP), y así tener habilitado el servicio de internet. Esta tecnología es capaz de realizar enlaces con distancias de 100 metros en, especialmente en espacios con mucha interferencia o ruido en la señal.

Esta tecnología cumple estándares 802.11, que es una familia de normas para redes inalámbricas, además de ser la forma más apropiada de llamar a WIFI. Los estándares más usados son: 802.11n (WIFI4), 802.11ac (WIFI5) y 802.11ax (WIFI6) [15].

2.2.1.1. Estándares WIFI

IEEE 802.11

Estándar que es útil para las redes inalámbricas, el cual fue el primero en ser usado en el año 1997, siendo capaz de poder enviar datos a una velocidad de 1 Mbps [16].

IEEE 802.11a

Estándar desarrollado respecto a su antecesor IEEE 802.11 llegando a ser usado por la banda de frecuencia de 5 GHz con la velocidad de datos alrededor de 54 Mbps [16].

IEEE 802.11n

Fue usado principalmente en el año 2009 funcionando en dos bandas de frecuencias como lo son 2,4 y 5 GHz con velocidades hasta 600 Mbps [16].

IEEE 802.11ac

Estándar usado principalmente por la banda de 5 GHz desde los finales del año 2013 alcanzando 1300 Mbps en las transmisiones [16].

IEEE 802.11ax

Es un estándar con un avance para la tecnología 5G, debido a que es capaz de alcanzar velocidades de 10 Gbps característica principal para dicha tecnología [16].

2.2.2. BLUETOOTH

Es una tecnología de comunicación capaz de realizar transmisiones de datos de forma inalámbrica, ya sean: fotos, músicas, llamadas, entre otros datos hacia otros dispositivos que se encuentran en un radio de alcance alrededor

de 100 metros y una tasa de transmisión de hasta 3 Mbps. Por esta razón hoy en día es normal observar que este protocolo se encuentre presente en smartphones, tablets, portátiles, teclados, mouse, auriculares y otros dispositivos.

Por otra parte, este protocolo es capaz de transmitir a través de ondas de radio que trabajan en las bandas libres o también denominadas bandas no licenciadas o no comercial de los 2,4 GHz [17].

2.2.3. ZIGBEE

ZigBee es una tecnología que se caracteriza por el bajo consumo de energía y tasa de transmisión, que permite la creación de redes de área personal o PAN por sus siglas en inglés “Personal Area Network”. Con esta tecnología es capaz de implementarse de manera sencilla y rápida desarrollándose como un sistema robusto y duradero fácil de integrarse a una red inalámbrica con el fin de ser supervisada o controlada.

ZigBee posee una baja capacidad de transmisión, que puede llegar a 250 Kbps permitiendo desarrollar sistemas de bajo coste y sin ningún tipo de limitación en sistemas de 8 bit en microcontroladores. Esta tecnología tiene un alcance limitado si no hay muchos dispositivos involucrados alcanzando distancias de 10 a 20 metros en todo momento [18].

2.3. BANDAS DE FRECUENCIAS

Las bandas de frecuencias son definidas como rangos de frecuencias que se encuentran dentro del espectro electromagnético siendo usados y asignados a diferentes radiocomunicaciones como:

2.4 GHZ

La banda de frecuencia de 2.4 GHz es una de las más antiguas en ser usadas en el mercado de las frecuencias libres sin licencias. Esta banda está formada por 13 canales que van desde 2.412 MHz hasta 2.472 MHz, siendo los canales 1, 6 y 11 cuyo ancho de canal no se solapan, como se muestra en la Figura 2.2.

La banda se encuentra saturada, debido a que muchos dispositivos se conectan por medio de WIFI o Bluetooth, estos compartirán el mismo medio de transmisión y se superpondrán entre ellas, provocando dicha congestión de tráfico de datos. Entonces la banda 2.4 GHz posee una cobertura muy extensa, alto poder de penetración a obstáculos físicos y compatibilidad con cualquier dispositivo presente en el mercado [19].

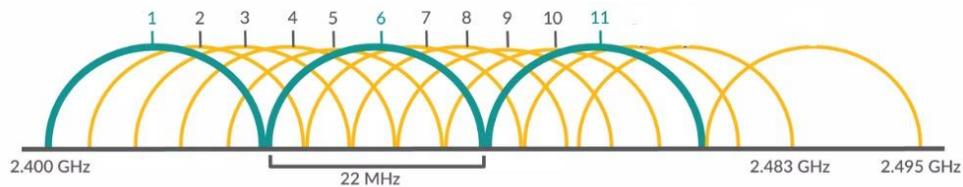


Figura 2. 2 Canales de frecuencia 2.4 GHz.

5 GHZ

La banda de 5 GHz es de gran utilidad para estándares de WIFI 5 y WIFI 6 para frecuencias entre los 5180 MHz hasta 5825 MHz del espectro. Esta banda puede llegar a estar conformado por 4 tipos de canales con diferentes anchuras de canal, tales como: 25 canales de 20 MHz, 12 canales de 40 MHz, 6 canales de 80 MHz y 2 canales de 160 MHz como se observa en la Figura 2.3.

Esta banda posee una gran ventaja que es su alta velocidad. Los dispositivos que son capaces de conectarse a una red que usa esta banda poseerá un canal con un ancho de banda, que permitirá a un usuario en un determinado tiempo no se solape con otro ocasionando interferencia y una latencia alta. Por otro lado, este presenta unas desventajas que deben ser tomadas en cuenta al momento de aplicar o usar esta banda, y es que presenta una cobertura baja y un poder de penetración bajo [9].

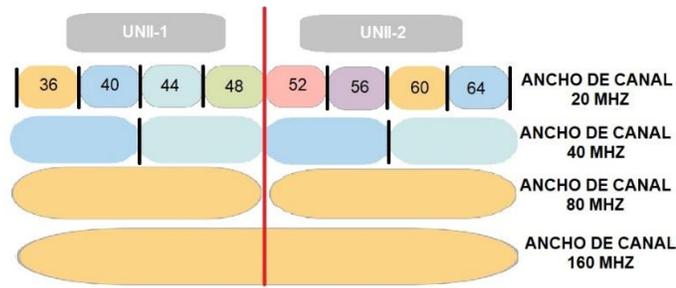


Figura 2.3 Canales de frecuencia 5 Ghz.

2.4. INTERFERENCIA RADIOELECTRICA

La interferencia está dada por cualquier señal emitida capaz de disminuir, alterar o interrumpir la correcta recepción de una señal deseada; presentándose como ruidos fuertes o distintas emisiones, como: radio, televisión, estéreos o hablar por teléfono. Este fenómeno puede llegar a causar bloqueos prolongados de la recepción en un equipo, distorsionando imágenes y/o sonidos [20].

2.5. SINR

Signal to interference and Noise Ratio es el significado que tienen las siglas SINR, que permite medir la calidad de la señal. Este factor de calidad está dado por la relación entre la potencia de la señal sobre la suma del ruido y las potencias de las señales que producen interferencias, siendo importantes en términos de RF [21].

Para las telecomunicaciones el ancho de banda máximo en un canal está dado por el límite de Shannon, y a su vez es una función de la SINR. Entonces, para la optimización de este factor producido por la interferencia es fundamental maximizar la capacidad y rendimiento de los datos, así los suscriptores pueden usar la misma cantidad de espectro, es decir, el mismo número de subportadoras. Para un usuario que ocupa cierta subportadora su calidad de señal o SINR determina su rendimiento, entonces a mayor SINR significa que su tasa de datos será aún mayor. Además, en sitios con celulares ocupados con bajas frecuencias la SINR baja tiene un impacto negativo, puesto que en

estos lugares se debe optimizar este factor dado por las interferencias ocasionado por la presencia de muchos usuarios [22] .

2.6. VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

La velocidad de transmisión viene dada en bits por segundo, es decir, es el número de bits que son capaces de transmitirse por un canal en una unidad de tiempo (bps). En una conexión o tráfico de datos este depende de varios factores como las conexiones físicas, caches, negociación entre dispositivos, pero para enlaces hacia internet varían otros factores como el AP, servidor que brinda acceso a páginas web, el número de dispositivos conectados a la misma red [23].

Para este factor conocido como velocidad de transmisión no se debe confundir con el ancho de banda, debido a que el ancho de banda representa la capacidad de un canal; cuanto más grande sea, más información se podrá filtrar a través de ella, mientras que la velocidad de transmisión solo representa cuanto tarda un dato o bit en ser enviado por medio del canal [24].

2.7. ANALIZADOR ESPECTRAL

El analizador espectral es un equipo capaz de realizar mediciones eléctricas con el objetivo de observar la potencia de cualquier señal en un determinado rango de frecuencia. Este equipo tiene una semejanza con un osciloscopio, pero se diferencian en el eje de las abscisas, es decir, su gráfica resultante esta respecto al tiempo [25].



Figura 2. 4 Analizador Espectral TTI

2.8. ANTENA DISCONO

La antena discono o también conocida como antena disco es usado para aplicaciones de comunicación por radio, y así realizar escaneo y monitoreo para enlaces de uso comercial o militar o domésticos. Todo el trabajo que puede realizar esta antena es normalmente usado para frecuencias superiores a 30 MHz, aunque para espacios grandes se puede diseñar un análisis para frecuencias más bajas. Por lo general, la antena discono es usada en VHF por encima donde se necesita de una antena de banda ancha. Por otro lado, esta antena no es una del tipo direccional como lo es una antena YAGI, pero proporciona un ángulo bajo la radiación ideal para aplicaciones comerciales [26].



Figura 2. 5 Antena Discono

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

Para esta parte del diseño de la solución se eligió dos sitios en donde se desarrollará el estudio radioeléctrico de las bandas 2.4 y 5 GHz, los cuales se encuentra situados en el centro de la ciudad; rodeado de edificios y lugares comerciales, mientras que el otro lugar está ubicado en las afueras como es el caso del Cerro Azul, donde se encuentran instaladas las antenas de radioenlaces como de radio, televisión e internet como se muestran en la Figura 3.1.



Figura 3. 1 Localizaciones de los sitios donde se toman las muestras (a) Centro de la ciudad y (b) Cerro azul en Google Earth

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

El estudio espectral de las bandas 2.4 y 5 GHz consta de dos fases para la recolección de datos en los diferentes escenarios indoor y outdoor. Como primera fase se encuentra las mediciones del espectro realizadas con una antena Discono conectada a través de un cable coaxial hacia el analizador espectral Aim-TTI PSA3605, el cual almacenará los datos en modo de FULL TRACER con un timer 1 minuto como se observa en la Figura 3.2



Figura 3. 2 Topología de la primera fase

La segunda fase consta de un router y un smartphone ubicado a 1m de manera inalámbrica, para realizar las mediciones de la relación señal ruido (SNR), received signal strength indicator (RSSI) y link speed (velocidad de enlace), tal como se muestra en la Figura 3.3

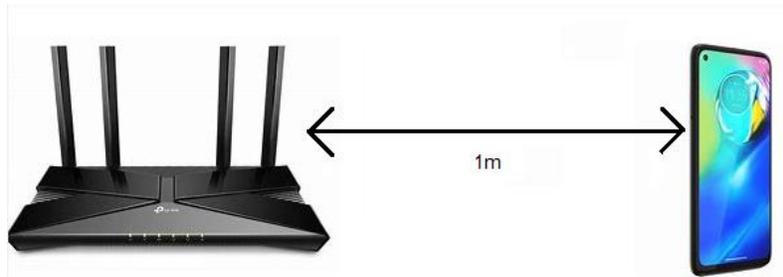


Figura 3. 3 Topología de la segunda fase

3.3. RESULTADOS DEL CENTRO DE LA CIUDAD

3.3.1. BANDA DE FRECUENCIA 2.4 GHZ

3.3.1.1. ANÁLISIS ESPECTRAL

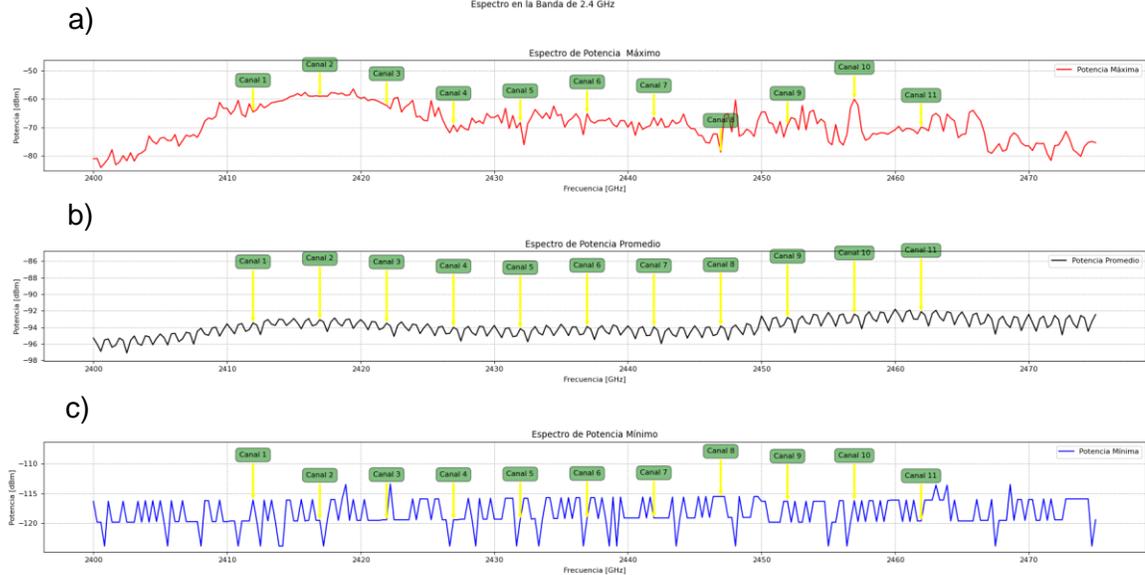


Figura 3. 4 Gráfica de a) Máximo, b) Promedio y c) Mínimo del Espectro

En la Figura 3.4 se muestra la gráfica del espectro de la banda 2.4 GHz, la parte a) se analizan las muestras máximas representada por color rojo, tomando en cuenta la frecuencia central de los canales, siendo el canal 2 uno de los picos más altos con potencia aproximadamente -59 dBm, el 10 con pico aproximadamente de valor - 60.04 dBm y el canal 11 que posee uno de los picos más bajos con un valor aproximado de -69.90 dBm. Por otro lado, en la gráfica 3.4 b) de color negro los promedios donde se observa que el canal que presenta mayor potencia es el 11 con un valor aproximadamente de -91.15 dBm y los demás valores promedios se aprecia en la Tabla 3.1. Mientras que en la gráfica 3.4 c) de color azul se representa los mínimos que tienen una tendencia de valores por debajo de -113 dBm.

CANAL	FRECUENCIA CENTRAL [GHz]	POTENCIA PROMEDIO MAX. [dBm]
1	2.412	-92.31
6	2.437	-92.85
11	2.462	-91.15

Tabla 3. 1 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal

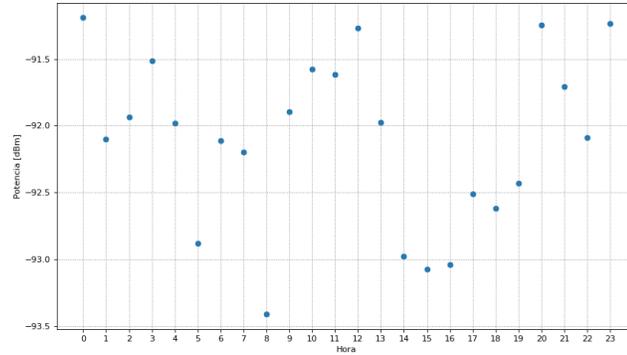


Figura 3. 5 Gráfica del canal saturado en Centro

En la Figura 3.5 se muestra la gráfica del canal 11 donde se analiza la potencia promedio por cada hora del día y se observa que a las 8:00 a.m. la potencia es muy baja con un valor aproximado de -93.40 dBm, mientras que los puntos con mayor potencia se encuentran a las 12 a.m. con un valor de -91.19 dBm, 12 p.m. aproximadamente de -91.25 dBm y a las 8 p.m. aproximadamente el valor de -91.22 dBm.

3.3.1.1.1. CAPACIDAD DEL CANAL

La ecuación (1) es la fórmula de la capacidad del canal, la (2) representa la relación señal ruido.

$$C = B \log(1 + SNRI) \quad (1)$$

$$SNRI = \frac{P_{canal}}{N_o + I} \quad (2)$$

La ecuación (3) representa las interferencias y la (4) el ruido térmico

$$I = P_{CH7} + P_{CH8} + P_{CH9} + P_{CH10} \quad (3)$$

$$I = -93.08\text{dBm} - 92.70\text{dBm} - 91.89\text{dBm} - 91.24\text{dBm}$$

$$I = -368.91 [dBm] = 1.285 \times 10^{-37} [W]$$

$$N_o = kTB \text{ donde } k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ W} \cdot \text{s}/^\circ\text{K}, \text{ y } T = 290^\circ\text{K} (\text{Temperatura ambiente}) \quad (4)$$

$$N_o = \left(1.38 \times 10^{-23} \text{ W} \cdot \frac{\text{s}}{^\circ\text{K}}\right) (290^\circ\text{K}) (22 \times 10^6 \text{ Hz}) = 8.8044 \times 10^{-14} [W]$$

$$S = -91.15 [dBm] = 7.673 \times 10^{-10} [W]$$

$$SNRI = \frac{7.673 \times 10^{-10}}{8.8044 \times 10^{-14} + 1.285 \times 10^{-37}}$$

$$SNRI = 8714,96 \text{ W}$$

$$C = (22 \times 10^6 \text{ Hz}) \log(1 + 8714.96)$$

$$C = 86.68 \text{ [Mbps]}$$

3.3.1.2. ANÁLISIS DE DESMPEÑO DE UNA RED

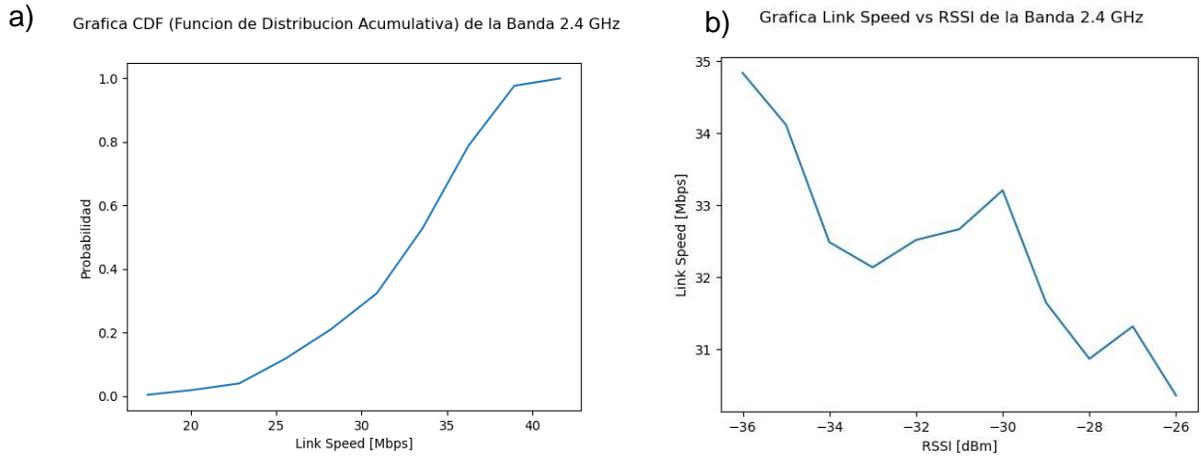


Figura 3. 6 Gráfica a) CDF y b) Link Speed vs RSSI en 2.4GHz

En la Figura 3.6 se observa en la parte a) la gráfica CDF (Función de Distribución Acumulativa) del análisis de la probabilidad que un usuario tenga cierto valor de velocidad de transmisión durante un enlace WIFI. Se muestra que un usuario máximo puede tener un enlace de 40Mbps y mínimo 20Mbps durante un día en la banda de 2.4Ghz, y en la parte b) se observa la gráfica Link Speed vs RSSI donde el link speed decae cada vez que aumenta su RSSI, teniendo un pico alto en -36 dBm igual a 34.9 Mbps y uno bajo en -26 dBm, que equivale a 30 Mbps.

	Link Speed	RSSI
Link Speed	1	0.8718
RSSI	0.8718	1

Tabla 3. 2 Matriz de correlación entre Link Speed vs RSSI

En la Tabla 3.2 se observa la matriz de correlación entre las dos mediciones realizadas en esta segunda etapa del análisis de desempeño, que son: Link Speed (Velocidad de transmisión) y RSSI. La correlación 00 y 11 pertenecen a la relación que existe entre la misma variable, mientras que la correlación 01 y 10 corresponde al LINK SPEED – RSSI y RSSI-LINK SPEED respectivamente, siendo $p=0.8718$ el valor de su coeficiente estadístico para el canal 11 de la banda 2.4 GHz.

3.3.2. BANDA DE FRECUENCIA 5 GHz

3.3.2.1. ANÁLISIS ESPECTRAL



Figura 3. 7 Gráfica de a) Máximo, b) Promedio y c) Mínimo del Espectro

En la Figura 3.7 a) se observa el espectro de potencia máxima en el canal 36 con potencia aproximadamente de -83.09 dBm, otro pico que sobresale es en el canal 64 con potencia de -83.91 dBm y el canal 52 con valor aproximado de -83.60 dBm. Por otro parte en la figura 3.7 b) se muestra la gráfica de promedio en color negro, siendo el canal 40 el que posee mayor potencia con valor aproximado de -94.76 dBm y los demás valores de potencia promedio se encuentran en la Tabla 3.3 con su respectivo canal. En la Figura 3.7 c) de color azul esta la gráfica de los mínimos, siendo el canal 40 uno de los picos más bajos con potencia de -119.2 dBm.

CANAL	FRECUENCIA CENTRAL [GHz]	POTENCIA PROMEDIO MAX [dBm]
36	5.180	-95.04
40	5.200	-94.76
44	5.220	-94.82
48	5.240	-95.17
52	5.260	-95.08
56	5.280	-95.13
60	5.300	-95.11
64	5.320	-94.98

Tabla 3. 3 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal

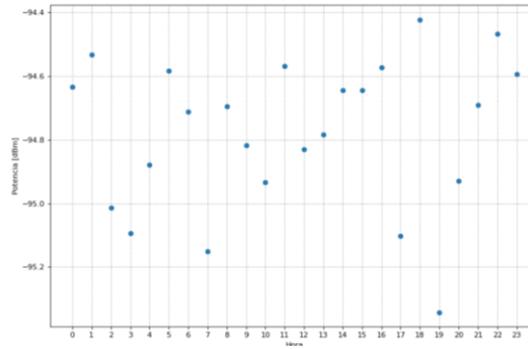


Figura 3. 8 Gráfica del canal usado

En la gráfica del canal 40 de la Figura 3.8, se observa que a la 1:00 a.m. la potencia tiene un valor aproximado de -94.53 dBm, sin embargo, a las 18:00 la potencia es mayor con un valor aproximado de -94.42 dBm, una hora después la potencia se convierte en el valor más bajo, aproximadamente es de -95.94dBm y a las 22:00 la potencia aumenta a -94.46 dBm.

3.3.2.1.1. CAPACIDAD DEL CANAL

$$SNR = \frac{P_{canal}}{N_o}$$

$$N_o = \left(1.38 \times 10^{-23} \text{ W} \cdot \frac{\text{S}}{\text{°K}}\right) (290 \text{°K}) (20 \times 10^6 \text{ Hz}) = 8.004 \times 10^{-14} \text{ [W]}$$

$$S = -94.76 \text{ dBm} = 3.342 \times 10^{-10} \text{ [W]}$$

$$SNR = \frac{3.342 \times 10^{-10}}{8.004 \times 10^{-14}}$$

$$SNR = 4175.35 \text{ [W]}$$

$$C = (20 \times 10^6 \text{ Hz}) \log (1 + 4175.35)$$

$$C = 72.42 \text{ [Mbps]}$$

3.3.2.2. ANÁLISIS DE DESMPEÑO DE UNA RED

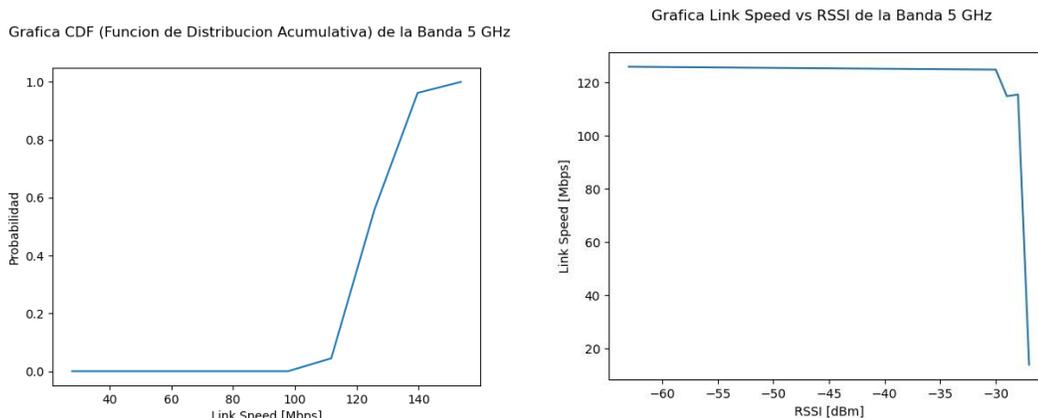


Figura 3. 9 Gráfica a) CDF y b) Link Speed vs RSSI en 5GHz

En la Figura 3.9 se observa en la parte a) la gráfica CDF (Función de Distribución Acumulativa) del análisis de la probabilidad que un usuario tenga cierto valor de velocidad de transmisión durante un enlace WIFI. Se muestra que un usuario máximo puede tener un enlace de 145.5Mbps y mínimo 20Mbps durante un día en la banda de 5Ghz, y en la parte b) se observa la gráfica Link Speed vs RSSI donde el link speed decae cada vez que aumenta su RSSI, teniendo un pico alto en -63 dBm igual a 126 Mbps y uno bajo en -26.8 dBm, que equivale a 14.1 Mbps.

	Link Speed	RSSI
Link Speed	1	0.9986
RSSI	0.9986	1

Tabla 3. 4 Matriz de correlación entre Link Speed vs RSSI

En la Tabla 3.4 se observa la matriz de correlación entre las dos mediciones realizadas en esta segunda etapa del análisis de desempeño, que son: Link Speed (Velocidad de transmisión) y RSSI. La correlación 00 y 11 pertenecen a la relación que existe entre la misma variable, mientras que la correlación 01 y 10 corresponde al LINK SPEED – RSSI y RSSI-LINK SPEED respectivamente, siendo $p=0.998618$ el valor de su coeficiente estadístico para el canal 40 de la banda 5 GHz.

3.4. RESULTADOS DE CERRO AZUL

3.4.1. BANDA DE FRECUENCIA 2.4 GHZ

3.4.1.1. ANÁLISIS ESPECTRAL

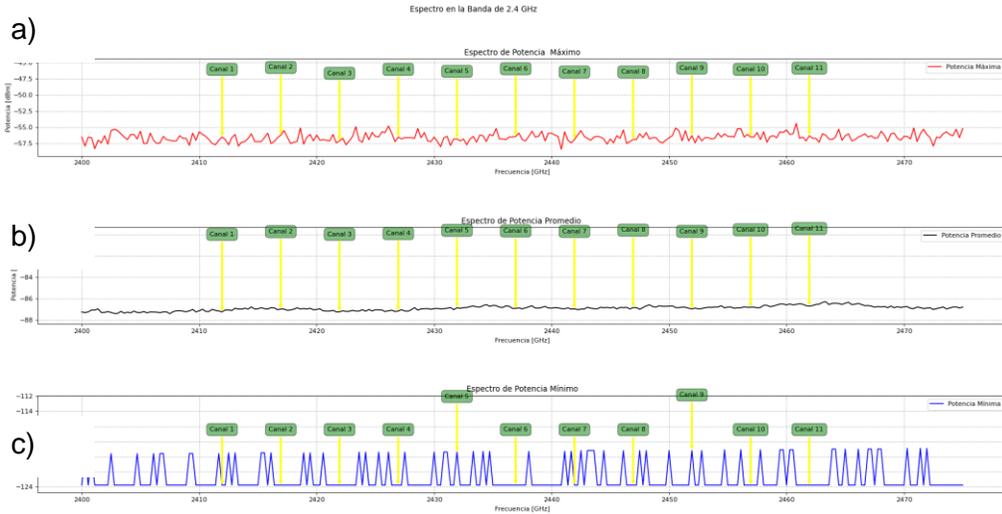


Figura 3. 10 Gráfica de a) Máximo, b) Promedio y c) Mínimo del Espectro

En la gráfica del espectro en 2.4GHz de la Figura 3.10, se observan tres gráficas: la parte a) representada con el color rojo analiza el espectro de potencia máxima donde se observa que el canal 2 posee la potencia mayor con un valor aproximado de -53.13 dBm. La siguiente gráfica que es la parte b) con color negro, representa el espectro de potencia promedio y el pico con mayor potencia se encuentra en el canal 11, tal como se muestra en la Tabla 3.5, donde se detalla los valores de las potencias con la frecuencia central en el respectivo canal. Finalmente, la tercera gráfica de color azul analiza el espectro de potencia mínima, siendo el canal 9 y 5 con igual potencia de -119.17 siendo los picos más altos y los demás canales tienen la misma potencia que es de -123.80 dBm.

CANAL	FRECUENCIA CENTRAL [GHz]	POTENCIA PROMEDIO MAX. [dBm]
1	2.412	-87.21
6	2.437	-86.93
11	2.462	-86.67

Tabla 3. 5 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal

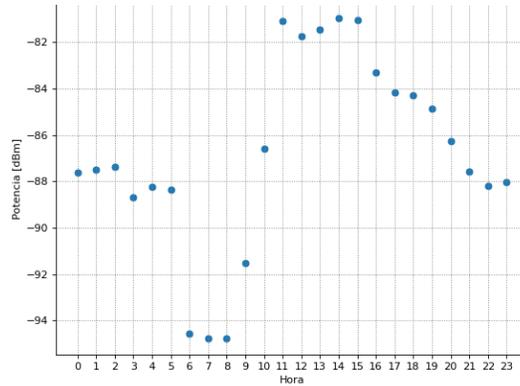


Figura 3. 11 Gráfica del canal saturado

En la gráfica de la Figura 3.11 se analiza la potencia promedio por cada hora del día en el canal 11 saturado donde se muestra que desde las 11:00 a.m. la potencia tiene un valor aproximado de -81.07 dBm hasta las 14:00 con -80.97 dBm, que representa la mayor potencia. Mientras que, desde las 6:00 a.m. hasta las 8:00 a.m. los valores de potencia disminuyen, por debajo de -94dBm.

3.4.1.1.1. CAPACIDAD DEL CANAL

$$I = -86.98\text{dBm} - 86.89\text{dBm} - 86.93\text{dBm} - 86.92\text{dBm}$$

$$I = -347.72 [\text{dBm}] = 1.690 \times 10^{-35} [\text{W}]$$

$$N_o = \left(1.38 \times 10^{-23} \text{ W} \cdot \frac{\text{S}}{\text{K}}\right) (290^\circ\text{K})(22 \times 10^6 \text{ Hz}) = 8.8044 \times 10^{-14} [\text{W}]$$

$$S = -86.67 \text{ dBm} = 2.152 \times 10^{-9} [\text{W}]$$

$$SNRI = \frac{2.152 \times 10^{-9}}{8.8044 \times 10^{-14} + 1.690 \times 10^{-35}}$$

$$SNRI = 24442.324 [\text{W}]$$

$$C = (22 \times 10^6 \text{ Hz}) \log(1 + 24442.324)$$

$$C = 96.54 [\text{Mbps}]$$

3.4.1.2. ANÁLISIS DE DESMPEÑO DE UNA RED

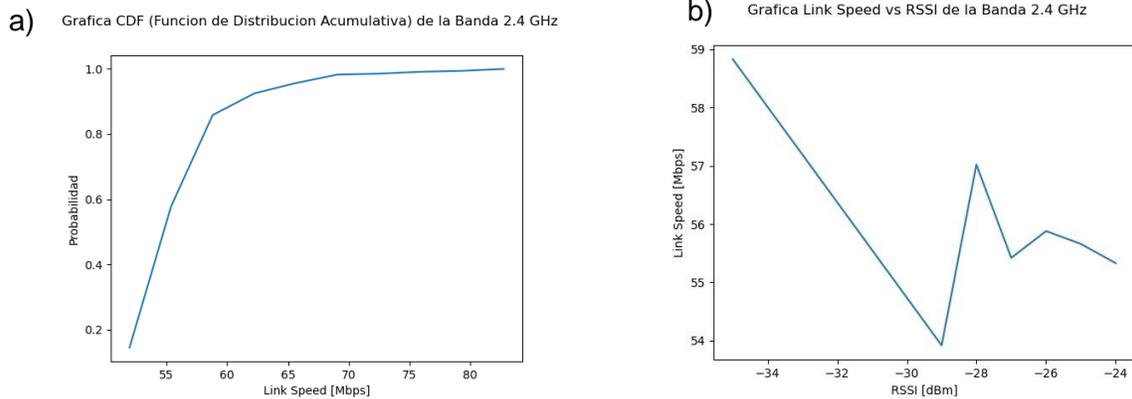


Figura 3. 12 Gráfica a) CDF y b) Link Speed vs RSSI en 2.4GHz

En la Figura 3.12 se observa en la parte a) la gráfica CDF (Función de Distribución Acumulativa) del análisis de la probabilidad que un usuario tenga cierto valor de velocidad de transmisión durante un enlace WIFI. Se muestra que un usuario máximo puede tener un enlace de 60Mbps y mínimo 52Mbps durante un día en la banda de 2.4Ghz, y en la parte b) se observa la gráfica Link Speed vs RSSI donde el link speed decae cada vez que aumenta su RSSI, teniendo un pico alto en -35 dBm igual a 58.85 Mbps y uno bajo en -25 dBm, que equivale a 53.93 Mbps.

	Link Speed	RSSI
Link Speed	1	0.343
RSSI	0.343	1

Tabla 3. 6 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal

En la Tabla 3.6 se observa la matriz de correlación entre las dos mediciones realizadas en esta segunda etapa del análisis de desempeño, que son: Link Speed (Velocidad de transmisión) y RSSI. La correlación 00 y 11 pertenecen a la relación que existe entre la misma variable, mientras que la correlación 01 y 10 corresponde al LINK SPEED – RSSI y RSSI-LINK SPEED respectivamente, siendo $\rho=0.343$ el valor de su coeficiente estadístico para el canal 11 de la banda 2.4 GHz en el Cerro Azul.

3.4.2. BANDA DE FRECUENCIA 5 GHZ.

3.4.2.1. ANÁLISIS ESPECTRAL

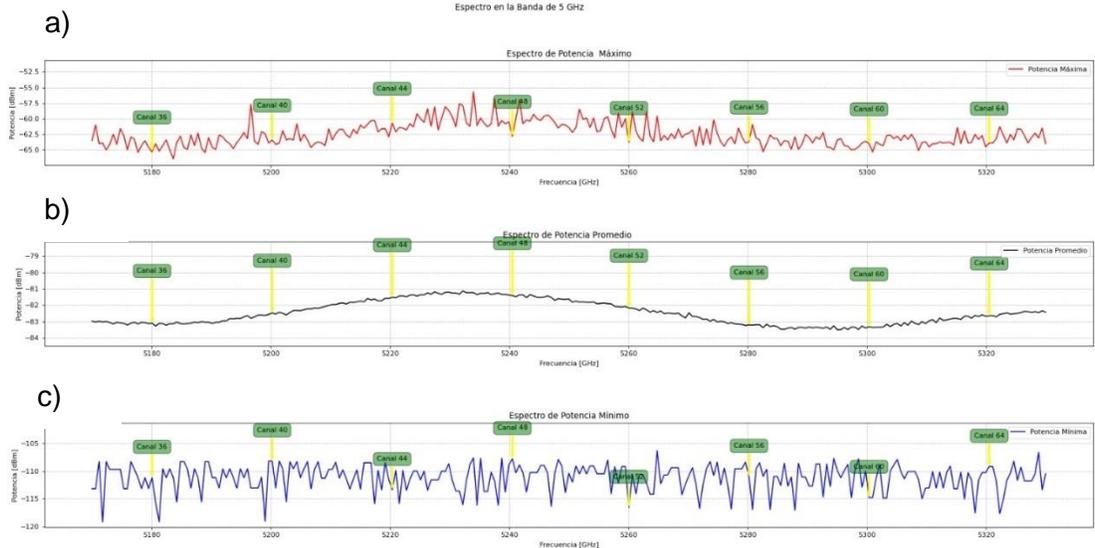


Figura 3. 13 Gráfica de a) Máximo, b) Promedio y c) Mínimo del Espectro

En la Figura 3.13 a) se observa el espectro de potencia máxima en el canal 44 con potencia aproximadamente de -62.08 dBm, otro pico que sobresale es en el canal 48 con potencia de -62.78 dBm y el canal 52 con valor aproximado de -63.2 dBm. Por otro parte en la figura 3.13 b) se muestra la gráfica de promedio en color negro, siendo el canal 48 el que posee mayor potencia con valor aproximado de -81.38 dBm y los demás valores de potencia promedio se encuentran en la Tabla 3.7 con su respectivo canal. En la Figura 3.13 c) de color azul esta la gráfica de los mínimos, siendo el canal 56 con frecuencia central igual a 5.28 GHz, siendo uno de los picos más bajos con potencia de -114 dBm.

CANAL	FRECUENCIA CENTRAL [GHz]	POTENCIA PROMEDIO MAX [dBm]
36	5.180	-83.104
40	5.200	-82.52
44	5.220	-81.56
48	5.240	-81.38
52	5.260	-82.16
56	5.280	-83.21
60	5.300	-83.36
64	5.320	-82.67

Tabla 3. 7 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal

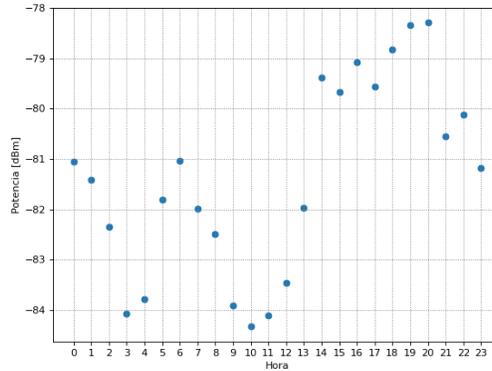


Figura 3. 14 Gráfica del canal usado

En la gráfica del canal 48 con frecuencia central igual a 5.240 GHz usado de la Figura 3.14, se observa que a la 6:00 a.m. la potencia tiene un valor aproximado de -81.04 dBm, sin embargo, a las 18:00 la potencia es aproximado a -78.83 dBm, una hora después la potencia es aproximadamente - 78.3 dBm y a las 20:00 la potencia es mayor con un valor de -78.2 dBm.

3.4.2.1.1. CAPACIDAD DEL CANAL

$$N_o = \left(1.38 \times 10^{-23} \text{ W} \cdot \frac{\text{S}}{\text{°K}}\right) (290^\circ\text{K})(20 \times 10^6 \text{ Hz}) = 8.004 \times 10^{-14} \text{ [W]}$$

$$S = -81.38 \text{ dBm} = 7.2778 \times 10^{-9} \text{ [W]}$$

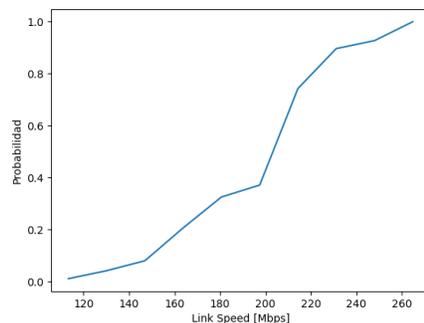
$$SNR = 90927.01206 \text{ [W]}$$

$$C = (20 \times 10^6 \text{ Hz}) \log(1 + 90927.01206)$$

$$C = 99.174 \text{ [Mbps]}$$

3.4.2.2. ANÁLISIS DE DESMPEÑO DE UNA RED

a) Grafica CDF (Funcion de Distribucion Acumulativa) de la Banda 5 GHz



b) Grafica Link Speed vs RSSI de la Banda 5 GHz

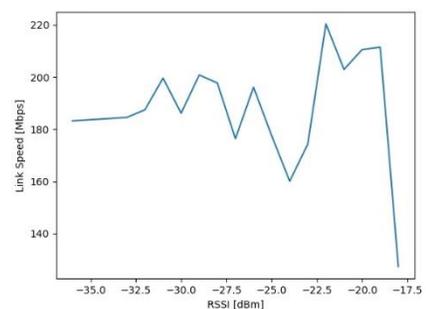


Figura 3. 15 Gráfica a) CDF y b) Link Speed vs RSSI en 5GHz

En la Figura 3.15 se observa en la parte a) la gráfica CDF (Función de Distribución Acumulativa) del análisis de la probabilidad que un usuario tenga cierto valor de

velocidad de transmisión durante un enlace WIFI. Se muestra que un usuario máximo puede tener un enlace entre 200 a 260Mbps y mínimo 100Mbps durante un día en la banda de 5Ghz, y en la parte b) se observa la gráfica Link Speed vs RSSI donde el link speed decae cada vez que aumenta su RSSI, teniendo un pico alto en -22.5 dBm igual a 220 Mbps y uno bajo en -17.5 dBm, que equivale a 120 Mbps.

	Link Speed	RSSI
Link Speed	1	0.130
RSSI	0.130	1

Tabla 3. 8 Tabla de datos de frecuencia y potencia en su respectivo canal

En la Tabla 3.8 se observa la matriz de correlación entre las dos mediciones realizadas en esta segunda etapa del análisis de desempeño, que son: Link Speed (Velocidad de transmisión) y RSSI. La correlación 00 y 11 pertenecen a la relación que existe entre la misma variable, mientras que la correlación 01 y 10 corresponde al LINK SPEED – RSSI y RSSI-LINK SPEED respectivamente, siendo $\rho=0.130$ el valor de su coeficiente estadístico para el canal 48 de la banda 5 GHz en el Cerro Azul.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- De acuerdo el estudio realizado en el Centro de la ciudad de Guayaquil, en la frecuencia 2.4 y 5 GHz, se evidenció que en ambientes Indoor el canal 11 presenta más interferencia en 2.4 GHz durante las 12:00 p.m. con promedio de -91.25 dBm y en el resto del día los promedios se encuentran por debajo de -91.5 dBm.
- El estudio realizado en Centro en la frecuencia de 5GHz, se muestra que el canal usado es el 40 que posee mayor potencia con valor aproximado de -94.76 dBm, en el cual la hora donde existe mayor tráfico es a las 18:00 que se encuentra con potencia de -94.42 dBm, mientras que a las 19:00 la potencia se convierte en el valor más bajo con valor de -95.94dBm.
- De acuerdo con el estudio realizado en Cerro Azul en la frecuencia de 2.4 GHz, se demuestra que el canal saturado es el 11 con potencia de -86.67 dBm, siendo -80.97 dBm la mayor potencia a las 14:00, en cambio desde las 6:00 a.m. hasta las 8:00 a.m. los valores de potencia disminuyen y se encuentran por debajo de -94 dBm.
- De acuerdo con el estudio realizado en Cerro Azul en la frecuencia de 5 GHz, se observa que el canal usado es el 48 con un valor de potencia aproximadamente -81.38 dBm y posee mayor potencia a las 20:00 con un valor de -78.2 dBm, sin embargo, a las 10:00 a.m. el valor decae por debajo de -84 dBm convirtiéndose en la menor potencia.
- Con la toma de datos realizada en el Centro se evidenció que el coeficiente de correlación está directamente relacionado entre la velocidad de transmisión y el RSSI, ya que su rango de relación es cercano a 1, siendo 0.8718 para 2.4 GHz y 0.998 en 5 GHz, mientras que en Cerro Azul los valores son 0.343 en 2.4 GHz y 0.130 para 5 GHz.
- De acuerdo con los resultados obtenidos en los dos escenarios se puede evidenciar que en los ambientes Outdoor por la existencia baja de interferencias

en la banda de 2.4 GHz y la existencia de línea de vista directa para 5 GHz en comparación en el centro de la ciudad, se observa un mejor rendimiento en el análisis de desempeño, debido a que las gráficas CDF muestran que un usuario puede aprovechar la velocidad de transmisión del equipo alcanzando 82.79 Mbps para el canal 11 y 260 Mbps del canal 48 para las bandas anteriormente mencionadas.

- De acuerdo con las mediciones realizadas con respecto al análisis espectral se puede observar que los canales de las bandas 2.4 y 5 GHz seleccionados en el centro de la ciudad son menores, debido a que este sitio seleccionado tiene una alta presencia de ruido e interferencia limitando las transferencias de datos o información con respecto al Cerro Azul.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para la configuración del Analizador Espectral TTI, es recomendable conocer los anchos de banda y las frecuencias centrales en las cuales trabajan las diferentes tecnologías presentes en Ecuador, evitando que la base de datos muestre valores fuera del rango de las frecuencias a ser analizadas.
- Para el análisis en zonas outdoor, tener en cuenta que no hay buena calidad de señal de internet para la toma de datos de forma remota, por lo que es necesario contratar un servicio de algún proveedor de internet que tenga cobertura cerca del área en la que se va a realizar las mediciones.
- Es importante que la toma de datos en la primera fase se encuentre correctamente realizada, para conocer el canal más ocupado con su respectiva potencia, y de esta manera en la segunda fase se pueda realizar el análisis del desempeño de una red WIFI para conocer la velocidad de transmisión por cada usuario y la recepción de la señal.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Sites,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/monografiadelastic/nacimiento-y-evolucion-de-las-telecomunicaciones>. [Último acceso: 17 Noviembre 2022].
- [2] V. Huamán, «Slideshare,» 14 Junio 2011. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/akilesperu/clase-1-introduccion-redes-inalmbricas>. [Último acceso: 17 Noviembre 2022].
- [3] O. Espinosa, «Redeszone.net,» 2 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/reportajes/tecnologias/que-es-espectro-radioelectrico/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2022].
- [4] R. Adeva, «Adslzone,» 14 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/estandares-conexion-inalambrica/>. [Último acceso: 17 Noviembre 2022].
- [5] «Aselcom,» 7 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://aselcom.com/blog/actualidad/evolucion-de-las-telecomunicaciones>. [Último acceso: 17 Noviembre 2022].
- [6] J. Alonso-Zárate, «Openaccess,» [En línea]. Available: https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/141046/21/PLA4_Sistemas%20de%20comunicaci%C3%B3n%20en%20la%20banda%20ISM.pdf. [Último acceso: 18 Noviembre 2022].
- [7] A. Garcia, «Adslzone,» 30 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/wifi/2-4-5-ghz>. [Último acceso: 18 Noviembre 2022].
- [8] F. Juan Carlos Vesga, H. Martha Fabiola Contreras and W. Harold Esneider Perez, «Optimization of the Spectral Efficiency in WLAN Networks in the 2.4GHz Band Under the Use of,» Bucaramanga, 2018.
- [9] J. A. Lorenzo, «RedesZone,» 05 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-wifi/dispositivos-conectar-wifi-24-ghz-5ghz/>. [Último acceso: 20 Noviembre 2022].
- [10] «1library,» [En línea]. Available: <https://1library.co/article/canales-de-televisi%C3%B3n-actual-contexto-hist%C3%B3rico.y95xmkvz#:~:text=Ecuavisa%20sali%C3%B3al%20aire%20desde%20el%201%20de,que%20se%20ha%20caracterizado%20por%20transmitir%20producci%C3%B3n%20nacional..> [Último acceso: 20 Noviembre 2022].
- [11] «Guayaquil Gob,» 20 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.guayaquil.gob.ec/plan-municipal-de-internet-gratuito-avanza-en-los-alrededores-de-instituciones-educativas-373-sectores-de-un-total-de-750-puntos-ya-cuentan-con-el-servicio/>. [Último acceso: 22 Noviembre 2022].
- [12] «Wifisafe,» [En línea]. Available: <https://www.wifisafe.com/blog/factores-afectan-al-funcionamiento-de-las-redes-wireless/>. [Último acceso: 22 Noviembre 2022].
- [13] I. Linares, «Xatakamovil,» 2 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.xatakamovil.com/wifi/que-wifi-doble-banda-que-te-interesa-tenerlo-tu-movil>. [Último acceso: 22 Noviembre 2022].

- [14] J. Salazar, «Upcommons,» de *Redes Inalambricas*, Czech Republic, České vysoké učení technické v Praze.
- [15] J. , G. A. Perez Porto, «Definicon,» 17 Mayo 2010. [En línea]. Available: <https://definicion.de/wifi/>. [Último acceso: 24 Noviembre 2022].
- [16] B. Mitchell, «Lifewire,» 2021 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.lifewire.com/wireless-standards-802-11a-802-11b-g-n-and-802-11ac-816553#:~:text=The%20following%20IEEE%20802.11%20standards%20exist%20or%20are,use%20of%20wireless%20signal%20spectrum%20%282001%29%20M%C3%A1s%20elementos.> [Último acceso: 24 Noviembre 2022].
- [17] «SoftwareLab.org,» [En línea]. Available: <https://softwarelab.org/es/bluetooth/> .
- [18] «Vencoel.com,» 03 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.vencoel.com/que-es-zigbee-como-funciona-y-caracteristicas-principales/>. [Último acceso: 26 Noviembre 2022].
- [19] S. Canó, «Voipdo,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.voipdo.com/wp-content/uploads/2018/08/Bandas-frecuencias-y-canales.pdf>. [Último acceso: 27 Noviembre 2022].
- [20] «Itu,» Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/es/mediacentre/backgrounders/Pages/radio-interference.aspx>. [Último acceso: 28 Noviembre 2022].
- [21] «Techplayon.com,» 27 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://www.techplayon.com/signal-to-interference-and-noise-ratio-snr/>. [Último acceso: 29 Noviembre 2022].
- [22] «Iscointl,» [En línea]. Available: [https://iscointl.com/sinr-optimization/#:~:text=SINR%20\(Signal%20to%20Interference%20%26%20Noise%20Ratio\)%20measures%20signal%20quality,the%20unwanted%20interference%20and%20noise..](https://iscointl.com/sinr-optimization/#:~:text=SINR%20(Signal%20to%20Interference%20%26%20Noise%20Ratio)%20measures%20signal%20quality,the%20unwanted%20interference%20and%20noise..) [Último acceso: 29 Noviembre 2022].
- [23] DISETE, «disete.com,» 09 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://disete.com/que-es-la-velocidad-de-transmission-de-datos/>. [Último acceso: 02 Diciembre 2022].
- [24] DISETE, «disete.com,» 17 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://disete.com/diferencias-entre-ancho-de-banda-y-velocidad-de-transmission/>. [Último acceso: 02 Diciembre 2022].
- [25] N. Davis, «Digikey,» 03 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.digikey.com.mx/es/blog/spectrum-analyzers-what-are-they-and-what-are-the-different-types.> [Último acceso: 09 Diciembre 2022].
- [26] «Riojanosporlaradio,» [En línea]. Available: <https://riojanosporlaradio.com/antena-de-discono/>. [Último acceso: 09 Diciembre 2022].

APÉNDICE



Apéndice 1 Montaje de fase 1 en Centro de Guayaquil



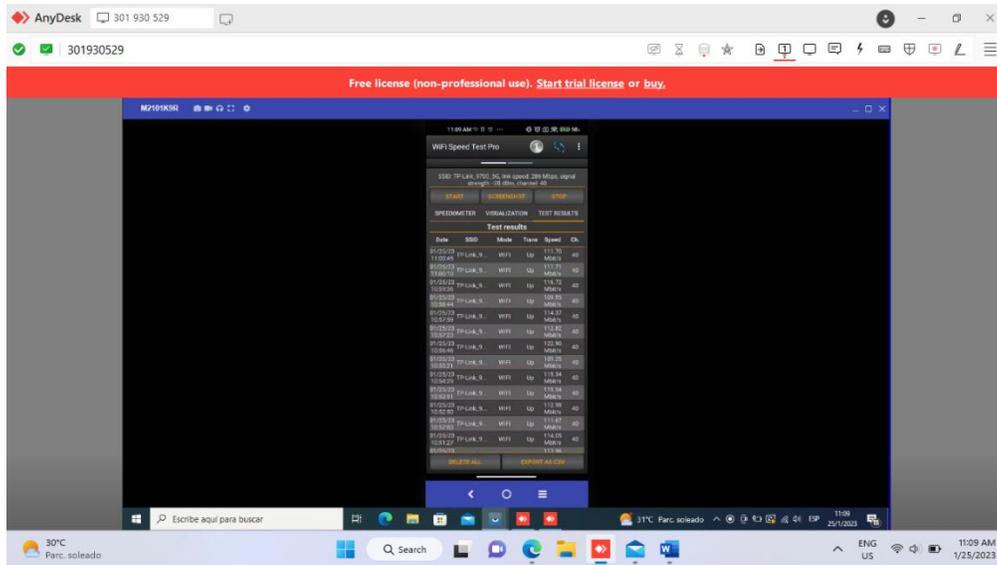
Apéndice 2 Montaje de fase 2 en Centro de Guayaquil



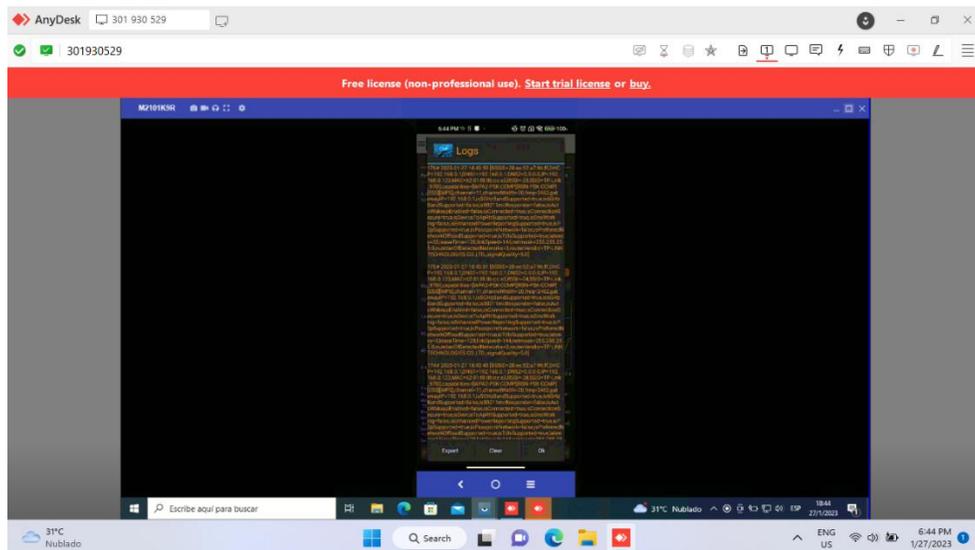
Apéndice 3 Recolección de datos de fase 2



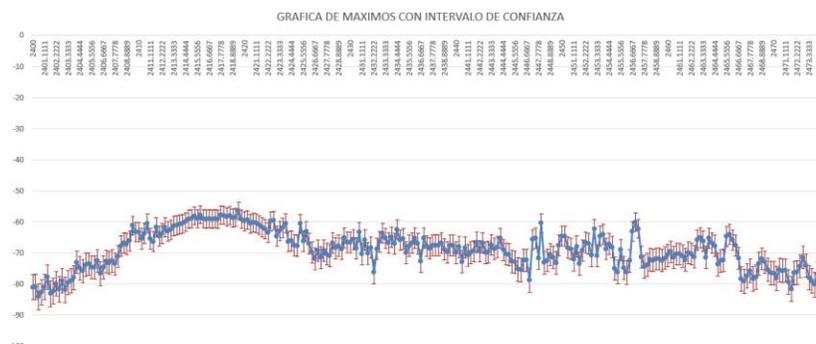
Apéndice 4 Montaje de fase 1 en Cerro Azul



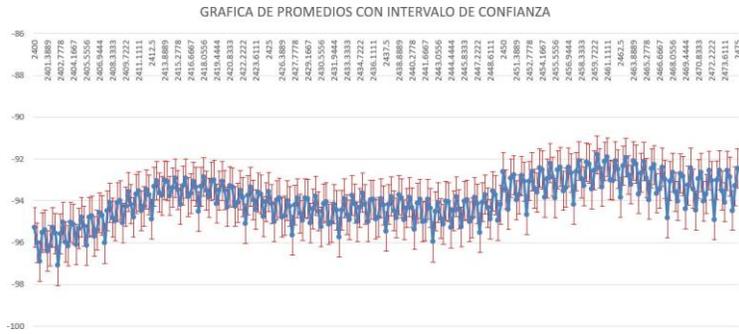
Apéndice 5 Recolección de datos a través de WIFI SPEED TEST



Apéndice 6 Logs de los datos recolectados



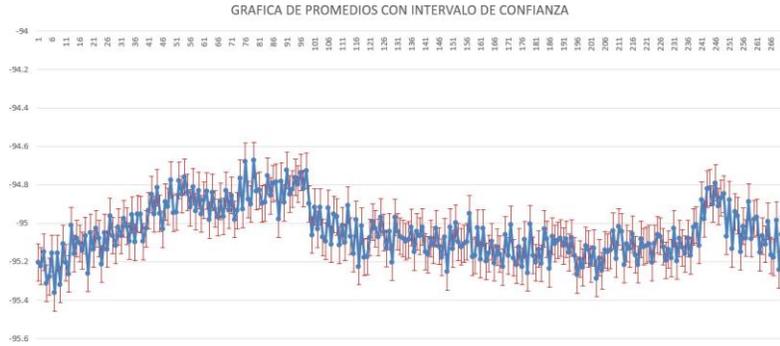
Apéndice 7 Gráfica de Máximos con Intervalo de Confianza 2.4GHz en Centro



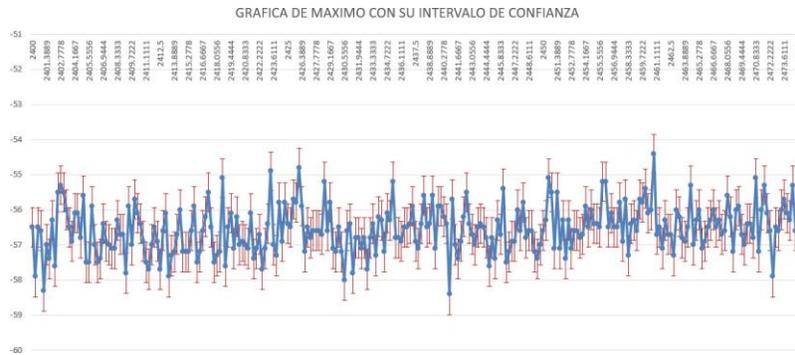
Apéndice 8 Gráfica de Promedios con Intervalo de Confianza 2.4Ghz en Centro



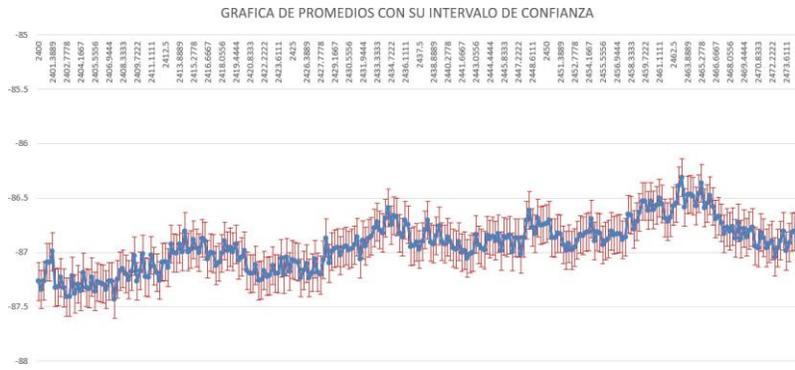
Apéndice 10 Gráfica de Máximo con Intervalo de Confianza 5GHz en Centro



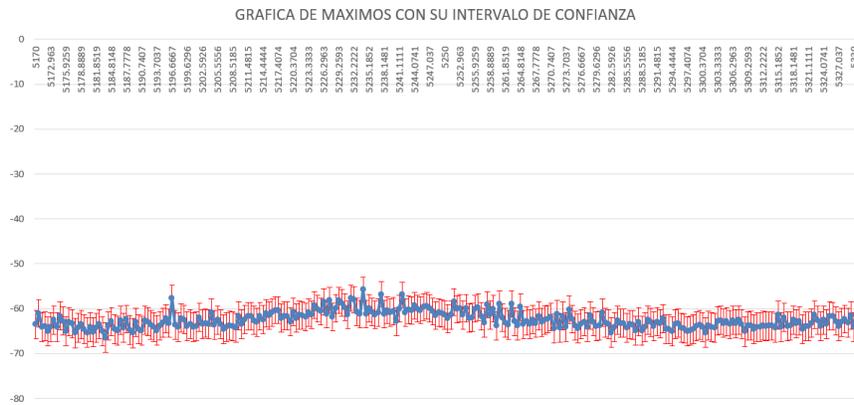
Apéndice 9 Gráfica de Promedios con Intervalo de Confianza 5GHz en Centro



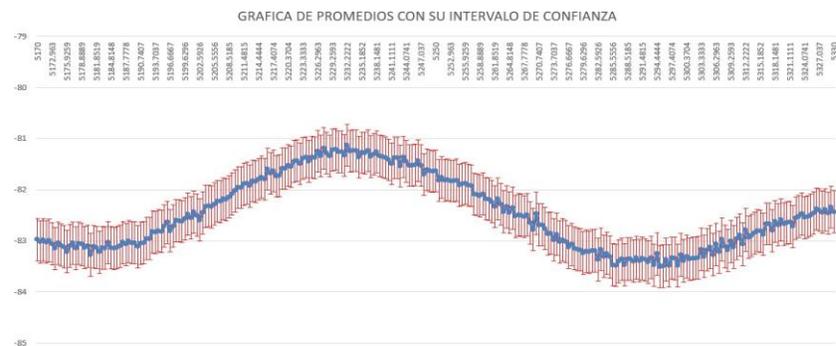
Apéndice 11 Gráfica de Máximos con Intervalo de Confianza 2.4GHz en Cerro Azul



Apéndice 12 Gráfica de Promedios con Intervalo de Confianza 2.4Ghz en Cerro Azul



Apéndice 13 Gráfica de Máximos con Intervalo de Confianza 5GHz en Cerro Azul



Apéndice 14 Gráfica de Promedio con Intervalo de Confianza 5GHz en Cerro Azul