



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**Análisis y caracterización de la saturación espectral en
bandas ISM y de servicios móviles en la Ciudadela Las
Garzas, Guayaquil**

AUTOR:

Muñoz González, Andrés Fidel

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, Ecuador

03 de marzo del 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Muñoz González, Andrés Fidel**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**.

TUTOR

f. 
Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, MSc

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. 
Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD

Guayaquil, a los 03 días del mes de marzo del año 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Muñoz González, Andrés Fidel**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis y caracterización de la saturación espectral en bandas ISM y de servicios móviles en la Ciudadela Las Garzas, Guayaquil** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 03 días del mes de marzo del año 2026

EL AUTOR

f. _____


Muñoz González, Andrés Fidel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Muñoz González, Andrés Fidel**

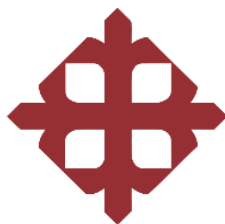
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis y caracterización de la saturación espectral en bandas ISM y de servicios móviles en la Ciudadela Las Garzas, Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 03 días del mes de marzo del año 2026

EL AUTOR

f. _____


Muñoz González, Andrés Fidel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

REPORTE DE COMPILATIO



INFORME DE ANÁLISIS
magister

TESIS Andres Muñoz

5%
Textos sospechosos

4% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
5% Idiomas no reconocidos (ignorado)
1% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS Andres Muñoz.docx
ID del documento: d25f0a2e2470e3f84ddb1c85edeb688411431f50
Tamaño del documento original: 12,55 MB

Depositante: Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez
Fecha de depósito: 20/2/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 20/2/2026

Número de palabras: 14.670
Número de caracteres: 95.615

Ubicación de las similitudes en el documento:



Se revisó el trabajo de titulación, **Análisis y caracterización de la saturación espectral en bandas ISM y de servicios móviles en la Ciudadela Las Garzas, Guayaquil**, presentado por el estudiante **Muñoz González, Andrés Fidel**, perteneciente a la carrera de **Ingeniería en Telecomunicaciones**, donde se obtuvo del programa **COMPILATIO** el valor de 4% de coincidencias, considerando ser aprobado por esta dirección. Certifica,

TUTOR

f. _____

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, MsC.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco en lo profundo a Dios por ayudarme cada día, iluminando mis conocimientos y toma de decisiones a lo largo de este proyecto de grado. Así mismo, agradezco a mis amigos y familiares, en especial a mi mamá por su gran apoyo incondicional en este proceso.

De igual forma, agradezco profundamente a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil por ser una institución exigente a nivel académico, permitiendo formarme en lo que soy ahora, y a su vez, agradezco a los profesores que me he topado en mi camino a lo largo de la carrera.

Agradezco a la empresa Panatel del Ecuador, por acogerme como pasante y actualmente como trabajador para ellos, enseñándome muchas cosas sobre las telecomunicaciones.

Y por último y no menos importante, agradezco a mi pareja Nicole Palacios por sus compañías en las noches de redacción de esta tesis.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia que me ha apoyado siempre desde pequeño, guiándome en cada paso que doy en mi vida, en especial, a mi padre que ya no está conmigo, porque él seguro estaría muy orgulloso de ver como estoy a un paso de convertirme en profesional. Dedico este trabajo también a mis amigos, que siempre confiaron en mí desde un inicio y sería un placer poder algún día servirles como profesional.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

ING. CELSO BAYARDO BOHÓRQUEZ ESCOBAR, PhD.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 

ING. RICARDO XAVIER UBILLA GONZÁLEZ, MsC.
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 

ING. ALEXANDER RONALD MERO VALLAS, MsC
OPONENTE

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA.....	VII
RESUMEN	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
CAPÍTULO 1.....	2
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
1.1 Introducción	2
1.2 Antecedentes	3
1.3 Planteamiento del Problema	4
1.4 Justificación del Problema	5
1.5 Objetivos del Problema de Investigación.....	6
1.5.1 Objetivo General	6
1.5.2 Objetivos Específicos	6
1.6 Hipótesis.....	7
1.7 Esquema metodológico	7
1.8 Metodología de la investigación	8
1.8.1 Enfoque Cualitativo.....	9
1.8.2 Enfoque Cuantitativo.....	9
CAPÍTULO 2	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1 Espectro radioeléctrico	11
2.2 Bandas de Frecuencia	11
2.3 Tecnologías que operan en bandas ISM.....	13
2.4 Servicios móviles celulares	17
2.5 Saturación espectral	18
2.6 Calidad del servicio (QoS)	19
CAPÍTULO 3.....	21
DESARROLLO Y RESULTADOS	21
3.1 Medición en el horario matutino	23
3.1.1 Medición en el horario matutino en la banda de 2.4GHz del primer punto	23
3.1.2 Medición en el horario matutino en la banda de 5GHz del primer punto.....	26

3.1.3 Medición en el horario matutino en la red móvil en el primer punto	28
3.1.4 Medición en el horario matutino en la banda de 2.4GHz del segundo punto	29
3.1.5 Medición en el horario matutino en la banda de 5GHz del segundo punto	32
3.1.6 Medición en el horario matutino en la red móvil en el segundo punto	34
3.1.7 Medición en el horario matutino en la banda de 2.4GHz del tercer punto	35
3.1.8 Medición en el horario matutino en la banda de 5GHz del tercer punto ..	38
3.1.9 Medición en el horario matutino en la red móvil en el tercer punto	40
3.1.10. Medición en el horario matutino en el cuarto punto de internet	41
3.2 Medición en el horario vespertino	42
3.2.1 Medición en el horario vespertino en la banda de 2.4GHz del primer punto	43
3.2.2 Medición en el horario vespertino en la banda de 5GHz del primer punto	45
3.2.3 Medición en el horario vespertino en la red móvil en el primer punto	48
3.2.4 Medición en el horario vespertino en la banda de 2.4GHz del segundo punto	49
3.2.5 Medición en el horario vespertino en la banda de 5GHz del segundo punto	51
3.2.6 Medición en el horario vespertino en la red móvil en el segundo punto ..	54
3.2.7 Medición en el horario vespertino en la banda de 2.4GHz del tercer punto	55
3.2.8 Medición en el horario vespertino en la banda de 5GHz del tercer punto	57
3.2.9 Medición en el horario vespertino en la red móvil en el tercer punto	60
3.2.10. Medición en el horario vespertino en el cuarto punto de internet	61
3.3 Medición en el horario nocturno	62
3.3.1 Medición en el horario nocturno en la banda de 2.4GHz del primer punto	63
3.3.2 Medición en el horario nocturno en la banda de 5GHz del primer punto	65
3.3.3 Medición en el horario nocturno en la red móvil en el primer punto	68
3.3.4 Medición en el horario nocturno en la banda de 2.4GHz del segundo punto	69
3.3.5 Medición en el horario nocturno en la banda de 5GHz del segundo punto	71

3.3.6 Medición en el horario nocturno en la red móvil en el segundo punto	74
3.3.7 Medición en el horario nocturno en la banda de 2.4GHz del tercer punto	75
3.3.8 Medición en el horario nocturno en la banda de 5GHz del segundo punto	77
3.3.9 Medición en el horario nocturno en la red móvil en el tercer punto	80
3.3.10. Medición en el horario nocturno en el cuarto punto de internet	81
CAPITULO 4	83
Análisis de resultados	83
4.1 Análisis de resultados del horario matutino sobre bandas de frecuencia y redes móviles	83
4.2 Análisis de resultados del horario vespertino sobre bandas de frecuencia y redes móviles	84
4.3 Análisis de resultados del horario nocturno sobre bandas de frecuencia y redes móviles	85
4.4 Análisis de resultados de test de velocidad del cuarto punto.....	86
CAPÍTULO 5	88
5.1 Conclusiones.....	88
5.2 Recomendaciones.....	89
BIBLIOGRAFÍA.....	90

INDICE DE FIGURAS

Figura.1.1	7
Esquema metodológico del trabajo	7
Figura 2.1	11
Comparación de la banda de frecuencia Wi-Fi 2.4GHz y 5GHz	11
Figura 2.2	13
Ruteador de Internet	13
Figura 2.3	14
Parlante conectado por Bluetooth	14
Figura 2.4	15
Sistema domótico	15
Figura 2.5	17
Edificio de Claro	17
Figura 2.6.....	19
Test de velocidad de Internet	19
Figura 3.1.....	21
Ubicación de los puntos de medición de la ciudadela Las Garzas	21
Figura 3.2.....	22
Listado de redes en la banda de 2.4GHz en el primer punto	22
Figura 3.3.....	23
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el primer punto	23
Figura 3.4.....	24
Resultados de la latencia en el primer punto en la banda de 2.4GHz	24
Figura 3.5.....	25
Listado de redes en la banda de 5GHz del primer punto	25
Figura 3.6	26
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el primer punto	26
Figura 3.7	27
Parámetros de señal de la red móvil presente en el primer punto	27
Figura 3.8.....	28
Listado de redes en la banda de 2.4GHz en el segundo punto	28
Figura 3.9.....	29
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el segundo punto.....	29
Figura 3.10	30
Resultados de la latencia en el segundo punto en la banda de 2.4GHz	30
Figura 3.11	31
Listado de redes en la banda de 5GHz del segundo punto	31
Figura 3.12	32
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el segundo punto	32
Figura 3.13	33
Parámetros de señal de la red móvil presente en el segundo punto	33
Figura 3.14	34
Listado de redes en la banda de 2.4GHz del tercer punto	34

Figura 3.15	35
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el tercer punto	35
Figura 3.16	36
Resultados de la latencia en el tercer punto en la banda de 2.4GHz	36
Figura 3.17	37
Listado de redes en la banda de 5GHz del tercer punto	37
Figura 3.18	38
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el tercer punto	38
Figura 3.19	39
Parámetros de señal de la red móvil presente en el tercer punto	39
Figura 3.20	40
Resultados de prueba de velocidad y calidad de servicio en el cuarto punto.....	40
Figura 3.21	42
Listado de redes en la banda de 2.4GHz del primer punto en horario vespertino	42
Figura 3.22	43
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el primer punto del horario vespertino	43
Figura 3.23	44
Listado de redes en la banda de 5GHz en el primer punto en el horario vespertino	44
Figura 3.24	45
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el primer punto en horario vespertino	45
Figura 3.25	46
Resultados de la latencia en el primer punto en la banda de 5GHz en el horario vespertino	46
Figura 3.26	47
Parámetros de señal de la red móvil presente en el primer punto del horario vespertino.....	47
Figura 3.27	48
Listado de redes en la banda de 2.4GHz del segundo punto en horario vespertino	48
Figura 3.28	49
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el segundo punto del horario vespertino	49
Figura 3.29	50
Listado de redes en la banda de 5GHz en el segundo punto en el horario vespertino	50
Figura 3.30	51
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el segundo punto en horario vespertino	51
Figura 3.31	52
Resultados de la latencia en el segundo punto en la banda de 5GHz en el horario	

vespertino	52
Figura 3.32	53
Parámetros de señal de la red móvil presente en el segundo punto del horario vespertino	53
Figura 3.33.....	54
Listado de redes en la banda de 2.4GHz del tercer punto en horario vespertino	54
Figura 3.34	55
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el tercer punto del horario vespertino	55
Figura 3.35	56
Listado de redes en la banda de 5GHz en el tercer punto en el horario vespertino	56
Figura 3.36	57
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el tercer punto en horario vespertino	57
Figura 3.37	58
Resultados de la latencia en el tercer punto en la banda de 5GHz en el horario vespertino	58
Figura 3.38	59
Parámetros de señal de la red móvil presente en el tercer punto del horario vespertino	59
Figura 3.39	60
Resultados de prueba de velocidad y calidad de servicio en el cuarto punto en el horario vespertino	60
Figura 3.40.....	62
Listado de redes en la banda de 2.4GHz del primer punto en horario nocturno	62
Figura 3.41.....	63
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el primer punto del horario nocturno	63
Figura 3.42	64
Listado de redes en la banda de 5GHz en el primer punto en el horario nocturno	64
Figura 3.43.....	65
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el primer punto en horario nocturno	65
Figura 3.44.....	66
Resultados de la latencia en el primer punto en la banda de 5GHz en el horario nocturno	66
Figura 3.45.....	67
Parámetros de señal de la red móvil presente en el primer punto del horario nocturno	67

Figura 3.46	68
Listado de redes en la banda de 2.4GHz del segundo punto en horario nocturno	68
Figura 3.47.....	69
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el segundo punto del horario nocturno	69
Figura 3.48.....	70
Listado de redes en la banda de 5GHz en el segundo punto en el horario nocturno	70
Figura 3.49	71
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el segundo punto en horario nocturno	71
Figura 3.50	72
Resultados de la latencia en el segundo punto en la banda de 5GHz en el horario nocturno	72
Figura 3.51.....	73
Parámetros de señal de la red móvil presente en el segundo punto del horario nocturno	73
Figura 3.52.....	74
Listado de redes en la banda de 2.4GHz del tercer punto en horario nocturno	74
Figura 3.53.....	75
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el tercer punto del horario nocturno	75
Figura 3.54.....	76
Listado de redes en la banda de 5GHz en el tercer punto en el horario nocturno	76
Figura 3.55	77
Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el tercer punto en horario nocturno	77
Figura 3.56.....	78
Resultados de la latencia en el tercer punto en la banda de 5GHz en el horario nocturno	78
Figura 3.57.....	79
Parámetros de señal de la red móvil presente en el tercer punto del horario nocturno	79
Figura 3.58	80
Resultados de prueba de velocidad y calidad de servicio en el cuarto punto en el horario nocturno	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Resultados del horario matutino de bandas de frecuencia y redes móviles.</i>	84
Tabla 2 <i>Resultados del horario vespertino de bandas de frecuencia y redes móviles</i>	85
Tabla 3 <i>Resultados del horario nocturno de bandas de frecuencia y redes móviles.</i>	86
Tabla 4 <i>Resultados de test de velocidad en todos los horarios analizados.....</i>	87

RESUMEN

La creciente demanda del espectro radioeléctrico, provocada por el aumento sostenido del tráfico de datos y la expansión de los dispositivos inalámbricos, ha causado situaciones de congestión en redes móviles. Esta investigación examina la ocupación espectral en diferentes bandas de frecuencia empleadas por sistemas de comunicación móvil, con el fin de determinar los grados de saturación y cómo afecta esto a la calidad del servicio. La metodología se basó en la recolección de datos de campo en distintos lugares y horarios, tomando en cuenta factores tales como variaciones temporales del tráfico, amplitud del ancho de banda utilizado e intensidad de señal. Los datos adquiridos se analizaron de manera comparativa para detectar patrones de comportamiento espectral y variaciones en la eficacia según la banda analizada.

Palabras Clave: saturación espectral, redes móviles, espectro radioeléctrico, congestión, eficiencia espectral, calidad de servicio.

ABSTRACT

The growing demand for radio spectrum, driven by the sustained increase in data traffic and the expansion of wireless devices, has led to congestion in mobile networks. This research examines spectrum occupancy in different frequency bands used by mobile communication systems to determine the levels of saturation and how this affects service quality. The methodology was based on collecting field data at different locations and times, taking into account factors such as temporal variations in traffic, bandwidth usage, and signal strength. The acquired data were analyzed comparatively to detect patterns of spectral behavior and variations in efficiency depending on the band analyzed.

Keywords: spectral saturation, mobile networks, radio spectrum, congestion, spectral efficiency, quality of service

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 Introducción

Las telecomunicaciones hoy en día son un tema que se vuelve cada vez más relevante en el mundo, pues la implementación de nuevas tecnologías, como el 5G, ha dado paso a un uso más intenso del espectro radioeléctrico, en especial en el uso de las bandas libres como las ISM y todas aquellas que son designadas a los servicios móviles en el país. Este crecimiento es el responsable de una saturación espectral, ocupando una gran banda ancha en lugares que a lo mejor no debería suceder, como en el caso de las ciudadelas.

En zonas residenciales ya vemos cada vez más casas equipadas con dispositivos IoT, sensores, o como se suelen llamar, casas con domótica preparadas para su uso. En este contexto, en un espacio no tan amplio como una ciudadela, puede llegar a impactar en la saturación e interferencia entre estos dispositivos, sumado a las tecnologías y protocolos Wi-Fi y los sistemas de redes móviles, afectando en la experiencia del cliente con todo esto mencionado anteriormente.

Bajo todo lo mencionado anteriormente, es fundamental analizar el espectro en cuanto a su uso, posibles fuentes de interferencia y los usos de las bandas ISM dentro de una ciudadela, debido a que hay muchos factores que pueden intervenir y afectan de alguna u otra manera a los residentes que habitan en las mismas, tanto por el tema ocupacional de trabajo, personas que estudian de manera virtual, o gente

que simplemente disfruta la experiencia en línea en videojuegos.

Este trabajo de titulación tiene como enfoque este análisis y caracterización de la saturación espectral en bandas ISM en la ciudadela Las Garzas en la ciudad de Guayaquil, mediante un análisis técnico dedicado al espectro con el uso de mediciones de campo realizadas en el tiempo de elaboración de esta tesis. Los resultados que se obtengan servirán para evaluar la saturación de estas bandas y a su vez, contribuir a un plan de mitigación de esta para que se use el espectro de una manera más eficiente no solo en esta ciudadela, sino en cualquier otra similar en cuanto a su estructura.

1.2 Antecedentes

La saturación en el espectro en bandas ISM cada vez cobran más relevancia. La banda de 2,4 GHz a 5 GHz forma parte de las bandas ISM, destinadas originalmente a aplicaciones industriales, científicas y médicas, y actualmente compartidas por múltiples tecnologías inalámbricas.

Algunos estudios revelan que la saturación de los nodos que carecen de sincronización temporal puede llegar a causar colisiones con respecto a las bandas ISM que operan cerca entre ellas, afectando a la entrada de nuevas frecuencias para nuevos sistemas o dispositivos (Kozlowski y Kurek, 2022).

Se ha evidenciado mediante estudios, en este caso hablando de la banda de 868MHz, que se suele usar normalmente para sistemas IoT como alarmas, varía de manera irregular dependiendo del momento o la ubicación desde donde se hace la medición, arrojando resultados de por debajo del 2%, y en otras ocasiones, con

picos muchos más altos, reflejando irregularidad en la saturación espectral (Kozlowski y Kurek, 2022).

Por otro lado, mientras hablamos dentro de las bandas de frecuencia más recurrentes, como es el Wi-Fi (2.4 GHz y 5GHz), estudios han evidenciado una saturación desproporcional entre estas bandas en un entorno urbano muy transitado, siendo la de 2.4 GHz la más saturada en este aspecto, debido a que es la tecnología más usada en los últimos años, a pesar del auge del 5G Hz. (Chancay et al., 2024).

En el campo de las redes móviles, el 4G y 5G y su constante evolución ha generado debates en cuanto al aumento del espectro asignado para este tipo de redes, aunque aún se tiene que definir más específico que estas bandas tengan un solo propósito, debido a que pueden generar interferencias dentro de una zona residencial voluminosa (Munizaga, 2024)

1.3 Planteamiento del Problema

El auge de nuevas tecnologías y domótica, como es el caso de hogares automatizados con domótica, sensores, o diversos dispositivos IoT, además de la implementación de doble banda Wi-Fi 2.4 GHz y 5 GHz, provocan una alta saturación del espectro, el mismo que se ve reflejado en la experiencia del usuario y aún más si hablamos en entornos medianamente concurridos como es una ciudadela.

La saturación del espectro tiene consecuencias graves que afectan directamente a la calidad del servicio que el usuario recibe, como por ejemplo la velocidad de transmisión de información o paquetes si hablamos de Wi-Fi, latencia en cuanto a la respuesta de los dispositivos IoT, inestabilidad en conexiones

inalámbricas, entre otras cosas. En muchas ocasiones, a pesar de que las empresas de diversos productos o servicios tienen en conocimiento este problema, no hay como tal una iniciativa que ayude a localizar el problema general que limita el correcto funcionamiento de las bandas ISM, provocando la dificultad de tomar una decisión orientada a la resolución de este problema.

Bajo todo este contexto, nace la idea de realizar justamente un análisis y caracterización de la saturación espectral dentro de una ciudadela, para que en un futuro se pueda llegar a aplicar a más ciudadelas, y por qué no, a nivel de ciudades, que evalúe la problemática y fuente de problema en las bandas ISM, con la finalidad de recopilar la información necesaria para erradicar este problema que siempre ha surgido desde que nació el uso del espectro en el mundo.

1.4 Justificación del Problema

Desde un enfoque académico y técnico, mediante la caracterización de la saturación espectral, se puede deducir información relevante que puede llegar a contribuir a futuras investigaciones para fortalecer el desempeño de estas tecnologías inalámbricas tanto para estudiantes o investigadores que, mediante el uso de mediciones de campo, se puede lograr de manera progresiva para en un futuro evitar problemas relacionados a la saturación espectral.

La saturación del espectro radioeléctrico es realmente un desafío en la actualidad para el mundo de las telecomunicaciones, debido a que tiene bastante influencia en cuanto a saturaciones por tantos elementos mencionados anteriormente, por lo que es muy importante comprender el comportamiento de este

en este caso en una ciudadela, o si se puede llegar a decir, zonas residenciales.

De igual forma, la presente tesis se justifica por su gran aporte práctico, que mediante resultados de encuestas y mediciones pueden llegar a permitir una planificación para la optimización de una gestión óptima de redes inalámbricas en ciudadelas como, por ejemplo: uso eficiente del espectro, selección ideal de bandas para evitar interferencias o mitigación de estas y aprovechar al máximo el espectro radioeléctrico.

1.5 Objetivos del Problema de Investigación

1.5.1 Objetivo General

Analizar y caracterizar la saturación espectral en bandas ISM en la ciudadela Las Garzas en la ciudad de Guayaquil, mediante mediciones de campo y un análisis técnico del espectro radioeléctrico, con la finalidad de evaluar su eficacia y posibles fallos.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Medir la disponibilidad del espectro radioeléctrico en las bandas ISM y de servicios móviles dentro de la ciudadela Las Garzas, mediante un equipo de monitoreo y para el análisis espectral.
- Identificar las principales fuentes de interferencia en tiempo real en las bandas ISM y de servicios móviles en la ciudadela Las Garzas en la ciudad de Guayaquil.
- Caracterizar el comportamiento del espectro radioeléctrico como la

frecuencia, tiempo, y la potencia emitida.

1.6 Hipótesis

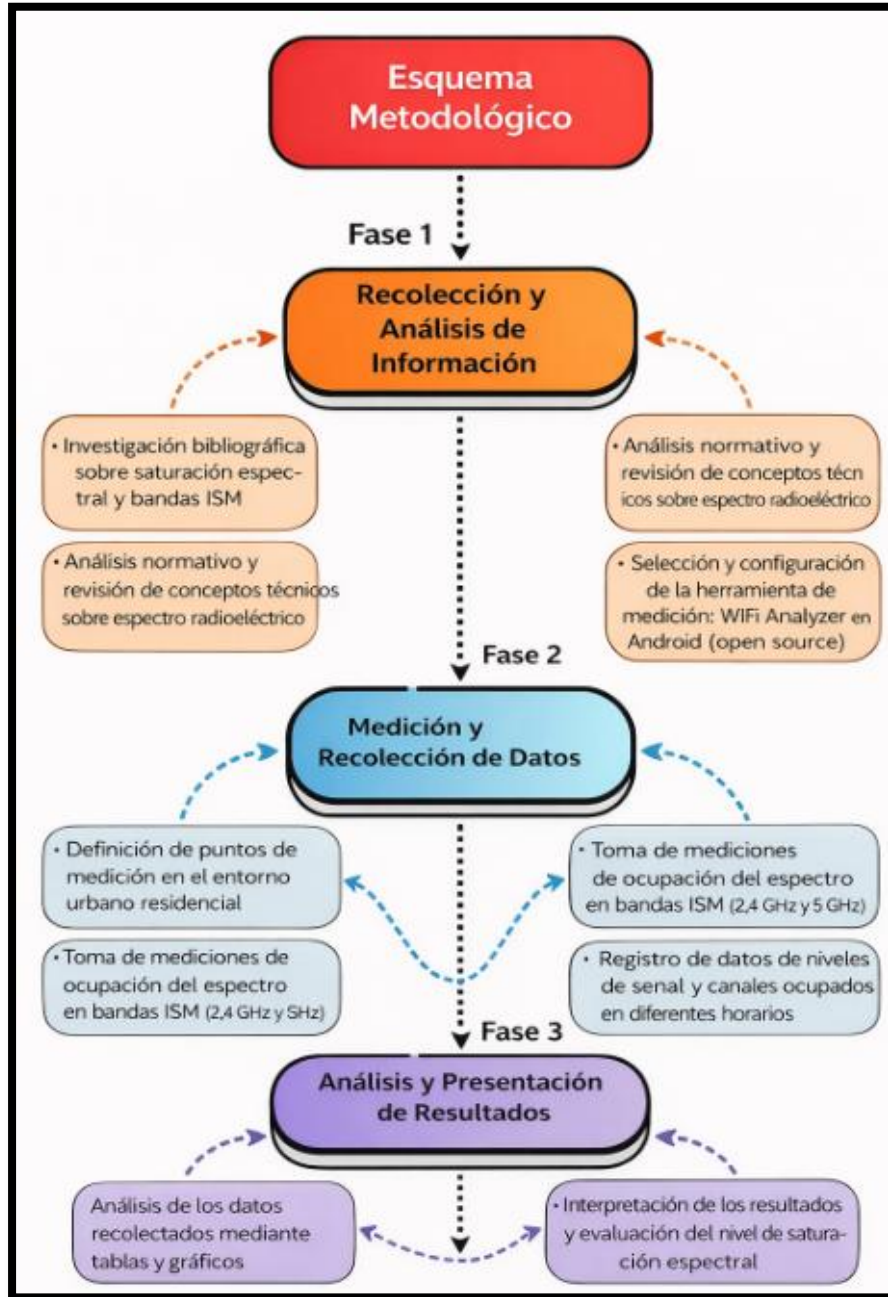
El análisis y caracterización de las bandas ISM de 2.4 GHz y 5 GHz para evitar el congestionamiento espectral dentro de la ciudadela Las Garzas en la ciudad de Guayaquil que, mediante el uso de mediciones, se puedan determinar las causas y posibles soluciones para en un futuro evitar estos problemas y los residentes gocen de sus servicios de manera adecuada en un entorno sin disturbios en cuanto al espectro radioeléctrico, aplicable a cualquier ciudadela del país.

1.7 Esquema metodológico

El esquema metodológico que se va a llevar a cabo para este trabajo se estructura en tres fases, tal y como se muestra en la Figura 1.1. Este esquema representa las fases que se van a llevar a cabo para realizar el proceso de manera organizada y llevar un conteo sobre las acciones que se toman, para dejar todo en claro los procesos realizados y los resultados obtenidos al finalizar este proyecto. Además, se adopta una estrategia detallada para el aprecio del público en general.

Como primera fase, se tiene la recolección y análisis de información, esto es, como la preparación del estudio sobre lo que se va a realizar en este proyecto. Como segunda fase se tiene todo lo relacionado a las mediciones y recaudación de datos. Y como última fase, se van a presentar todos los resultados obtenidos de las anteriores fases, con sus respectivos análisis sobre lo positivo y negativo a resaltar en cada medición.

Figura. 1. 1
Esquema metodológico del trabajo



Fuente: Autor

1.8 Metodología de la investigación

La metodología de la investigación utilizada para el presente trabajo va a ser de manera mixta, es decir, que va de la mano de un enfoque cualitativo y cuantitativo. De esta manera se va a comprender de una mejor manera el espectro radioeléctrico

desde sus detalles técnicos, como por otro lado obtener los datos numéricos con las muestras obtenidas durante el desarrollo de este.

1.8.1 Enfoque Cualitativo

El método cualitativo está diseñado para entender la saturación espectral de manera conceptual y descriptiva. En esta etapa, se lleva a cabo una revisión de la literatura técnica, incluyendo artículos científicos, normas y sugerencias que estén vinculadas con el empleo del espectro radioeléctrico y las bandas ISM.

Además, se estudian conceptos esenciales como la ocupación espectral, la interferencia, la coexistencia de tecnologías inalámbricas y las regulaciones vigentes que se aplican en el entorno de estudio. Esta perspectiva posibilita comprender el problema en su contexto, determinar sus causas fundamentales y definir criterios técnicos que sirvan como fundamento para la interpretación de los resultados extraídos de las mediciones de campo.

1.8.2 Enfoque Cuantitativo

La recolección y el análisis de datos numéricos obtenidos a través de mediciones en campo en el área urbana seleccionada son la base del enfoque cuantitativo. Con este propósito, se utilizan aplicaciones de análisis Wi-Fi que están instaladas en dispositivos móviles Android, las cuales permiten el registro de parámetros como la intensidad de la señal, los canales empleados y el grado de ocupación del espectro en las bandas ISM de 2.4 GHz y 5 GHz.

Se va a llevar a cabo mediciones en diferentes lugares y momentos para

recopilar información que represente el comportamiento del espectro radioeléctrico. Después, la información recolectada se organizará en gráficos y tablas para hacer más fácil su análisis, lo que permitirá examinar el nivel de saturación espectral y contrastar los niveles de ocupación entre distintos escenarios de medición.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Espectro radioeléctrico

Para este proyecto, un tema muy importante del que se va a repetir mucho es sobre el espectro radioeléctrico, que si bien es cierto no comprende en su totalidad a todo el espectro electromagnético, es una porción nada más del mismo, que comprende a las ondas de radio y como usos principales tiene las comunicaciones inalámbricas, ya sea Wi-Fi, telefonía móvil, radio, televisión, entre otras más.

Ahora si bien es cierto el espectro radioeléctrico comprende todo tipo de frecuencias hasta aproximadamente los 3000 GHz; es importante tener una gestión adecuada del mismo, para de este modo, tener una asignación de frecuencias y bandas de radiofrecuencia diferente para cada uno de los usuarios y servicios que posee cada uno, para evitar cruces e interferencias entre ellos (Pasarelska, T, 2024), sumado a esto, su planificación, asignación y coordinación con los diferentes servicios que se puedan ofrecer en el mundo de las telecomunicaciones.

2.2 Bandas de Frecuencia

Pasando al tema de bandas de frecuencias que se mencionó anteriormente para aclarar el tema del espectro radioeléctrico, en la actualidad tenemos muchas bandas de frecuencias destinadas para un servicio o acción en específico. Se lo hizo de esta manera para evitar confusiones o interferencias entre sistemas de diferente tipo de tecnologías y protocolos que tenemos, con un propósito que es de darle un

uso eficiente al espectro con una gestión para evitar este tipo de problemas (ITU, 2021).

Como subtema a abordar, uno de los conceptos clave dentro de este contexto es sobre la frecuencia utilizada y el rango de cobertura: mientras menor sea la frecuencia, mayor cobertura se va a tener. Así mismo mientras mayor sea la frecuencia, menor va a ser la cobertura, tal como lo muestra en la Figura 2.1, donde se muestra cómo una red Wi-Fi 2.4GHz tiene mayor potencia como la que refleja que es de -51dBm estando un poco más lejos que una de 5 GHz, reflejando una menor potencia, siendo esta de -56dBm.

Figura 2.1

Comparación de la banda de frecuencia Wi-Fi 2.4GHz y 5GHz



Nota: Red personal doméstica con bandas separadas de 2.4GHz y 5GHz. Fuente:
Autor

Un ejemplo práctico que donde se podría usar una banda de 5GHz en lugar de una de 2.4 GHz sería en algún lugar cerrado con mucho público, ya sea en una iglesia, o conferencia donde se pueden llegar a concentrar un mayor volumen de

personas y así todos puedan gozar del servicio de internet si fuera el caso. Por otro lado, la banda de frecuencia de 2.4 GHz se podría usar en entornos muchísimos más abiertos, como por ejemplos en parques públicos o espacios muy abiertos, para que las personas que se encuentren a una distancia lejana del dispositivo transmisor puedan llegar a recibir la señal a pesar de su larga distancia.

2.3 Tecnologías que operan en bandas ISM

Entrando en materia sobre lo que realmente se va a hablar en este trabajo, son las bandas ISM, son bandas de frecuencias de uso no licenciado, en el que se puede trabajar de manera libre para redes inalámbricas, y se lo ha llevada adaptando a lo largo de los años para entornos domésticos, industriales o médicos. En este caso se va a hablar sobre el entorno doméstico, siendo este el principal de las razones de operación de estas bandas en el espectro radioeléctrico (ITU, 2021).

Uno de los más claros ejemplos representativos de las bandas ISM, se aprecia el Wi-Fi como una de las más visibles y fáciles de percibir. Estas se basan en un protocolo llamado IEEE.802.11, donde se encuentra las bandas mencionadas anteriormente de 2.4 GHz y de 5GHz, tal como se muestra en la Figura 2.2, aunque ya se están implementando poco a poco la banda de 6GHz en algunas partes de Europa (IEEE,2024). De por sí en todo el mundo ya se encuentran este tipo de protocolo implementado, debido a que es muy barato en su implementación y es un servicio que hoy en día no se puede omitir en ningún lado, debido a que vivimos en

una era digital donde se gira alrededor del internet.

Figura 2.2

Ruteador de Internet



Nota: Se aprecia un ruteador de internet con bandas 2.4 GHz y 5GHz. Fuente: Autor

Como otra de las tecnologías que operan en bandas ISM muy utilizada en la actualidad, es el Bluetooth, que opera por lo general en la banda de 2.4GHz, fue a lo largo de los años se fue popularizando debido a la aparición de dispositivos compatibles. En sus inicios su principal función era para conectar dispositivos móviles entre sí para el envío de datos. Con el pasar de los años, la aparición de nuevos inventos como los audífonos o auriculares inalámbricos, parlantes (Figura 2.3), teclados, ratones, entre otros, han llevado a cabo el uso más frecuente de esta tecnología, requiriendo cada vez más actualizaciones de este, siendo la última nacida

recientemente en noviembre de 2025, la versión del Bluetooth 6.2, con mejoras novedosas como su baja latencia, seguridad y eficiencia en dispositivos (Negrin, 2025).

Figura 2.3
Parlante conectado por Bluetooth



Nota: Dispositivo móvil conectado a parlante mediante Bluetooth. Fuente: Autor

Otra tecnología que no se puede omitir es la tecnología ZigBee, donde este utiliza de igual forma la banda de 2.4 GHz y protocolos como el IEEE 802.15.4 que funciona para transmitir paquetes de datos pequeños entre dispositivos conectados a un host, que este último es el encargado de controlar todos los dispositivos IoT que funcionan dentro de una casa domótica, como por ejemplo un sistema de luces inteligentes, que tiene una gran ventaja debido a la gran eficiencia energética que

poseen tanto los dispositivos de iluminación como las luces (Figura 2.4), sensores o mandos a distancia, permitiendo usarlo por un tiempo muy prolongado sin la necesidad de cambiar las baterías; o también es clave el poder conectar varios componentes en una sola red para controlarlos desde un solo dispositivo a gusto del cliente (Kukereit, 2024).

Figura 2.4
Sistema domótico



Nota: Se visualiza componentes de un sistema de domótica que pueden usarse en la instalación dentro de una casa. Adaptado de “Xataka”, por Penalva J, 2020

Así mismo como todas las tecnologías mencionadas anteriormente, hay muchas más que no fueron mencionadas, sin embargo, son igual de importantes debido a que pueden llegar a afectar al espectro radioeléctrico dependiendo de la frecuencia en que operan, como fue el caso de la frecuencia de 2.4 GHz la más usada tanto para Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, entre otras más.

2.4 Servicios móviles celulares

Los sistemas móviles celular es un gran tema para abordar hoy debido al crecimiento de demanda de este servicio, puesto que este nos ofrece servicios de datos, voz y multimedia desde nuestro dispositivo móvil desde cualquier localización. El funcionamiento de este servicio se basa en una transmisión inalámbrica de toda la información usando el espectro radioeléctrico, con una arquitectura de red formada por celdas, reutilizando las frecuencias de manera eficiente y ampliando su cobertura en zonas geográficas muy extensas (Robinson, 2025).

Tal y como hemos ido evidenciando a lo largo de los años, estos sistemas han avanzado desde tecnologías como el 2G, enfocada principalmente para los servicios de voz, pasando por el 3G abriendo paso a la transmisión de datos, aunque a baja velocidad; luego, el 4G con el mejoramiento de la velocidades de transmisión, donde este tuvo su gran auge en cuanto a los celulares y aplicaciones que usamos a día de hoy; por penúltimo, el 5G como lo último que se está incorporando en Ecuador, en compañías como Claro (Figura 2.5) o CNT permitiendo una gran velocidad de transmisión y una latencia muy baja; y finalmente, el 6G que es algo que se mantiene en investigaciones pero asegura capacidades de inteligencia artificial integradas (Briceño, 2025)

Figura 2.5
Edificio de Claro



Nota: Edificio de Claro con diseño con iluminación representando la llegada del sistema de redes móviles de 5G. Fuente: Claro, 2025

2.5 Saturación espectral

Cuando se habla sobre frecuencia y espectro radioeléctrico, es muy importante abordar el tema de la saturación espectral, puesto que esto es un estado en el cual una banda de frecuencia tiene una alta demanda debido a la conexión simultánea de transmisiones de datos, lo que hace limitar su capacidad efectiva de la misma, provocando interferencias, pérdida de velocidad de transmisión o un rendimiento peor a lo usual en la comunicación inalámbrica de los dispositivos o servicios (Conecttic, 2022)

Al usar una frecuencia tan demandada como es la de 2.4 GHz, por más grande que sea una banda de frecuencia, esta es un recurso finito que provoca competencia e interés entre diferentes empresas para su uso (A. Herschfelt et al.,

2021).

De alguna manera, aunque sea indirecta, la expansión de redes móviles contribuye a la saturación espectral. E. Armas et al., 2025 afirma que “el modelo clásico no puede adaptarse a las demandas de la tecnología de comunicaciones de próxima generación”.

2.6 Calidad del servicio (QoS)

Quality of Service (QoS) o Calidad de Servicio en español, es un número de parámetros que evalúan el comportamiento y rendimiento de un servicio tanto del lado del dispositivo como del lado del usuario.

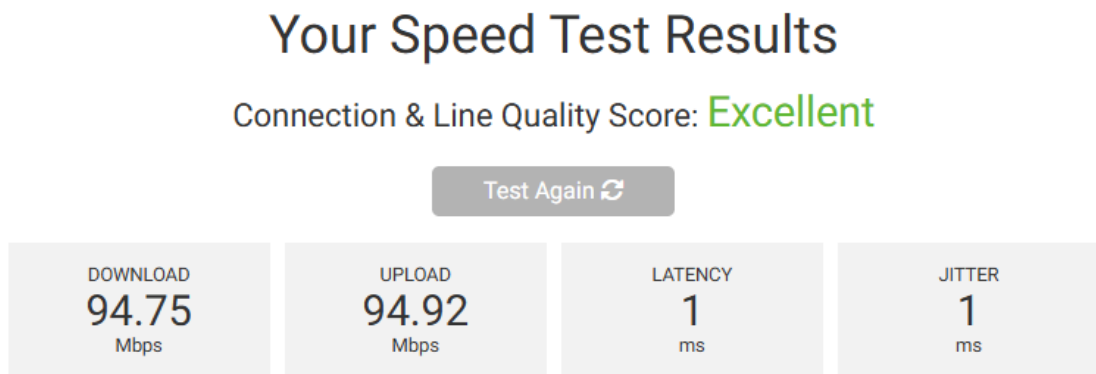
Entre los parámetros encontramos:

- Pérdida de Paquetes: Es aquella información o paquetes que no llegan por algún motivo hacia su destino.
- Latencia: Es el tiempo representado que tarda entre el transmisor y receptor en llevar un paquete de datos.
- Throughput: Este parámetro indica la cantidad de paquetes efectivos en la transmisión de datos.
- Jitter: Es la variación del tiempo de transmisión de datos.

Es importante que todas estas características tengan valores positivos en cuanto a rendimiento, puesto que estos determinan la calidad de servicio o, por otro lado, el problema principal que está teniendo, por ejemplo, en la navegación web, streaming, o alguna comunicación en tiempo real, reflejando retrasos de transmisión (Cisco, 2022). Se puede hacer pruebas de internet gratuitas para validar su servicio,

como es el caso de la Figura 2.6.

Figura 2.6
Test de velocidad de Internet



Nota: Se observa un test de velocidad donde se mide la velocidad de subida y de bajada, además de la latencia y el jitter del mismo. Fuente: Autor

CAPÍTULO 3

DESARROLLO Y RESULTADOS

En el presente capítulo, se presentan todos los resultados obtenidos a partir de todas las mediciones realizadas en la ciudadela Las Garzas, en la ciudad de Guayaquil, en la que se van a tomar en cuenta diversos horarios y bandas de frecuencias.

En cada situación se tomaron en cuenta la densidad de redes en el punto, tanto de la banda de 2.4GHz como la de 5GHz, además de la ocupación del espectro radioeléctrico de las mismas y su desempeño, todo esto con la finalidad de evaluar el rendimiento y el impacto de la saturación espectral en la calidad del servicio ofrecida hacia los moradores de la ciudad.

Estos resultados van a seguir un orden estructurado en este capítulo, donde van a estar organizados en diferentes franjas horarias, una correspondiente al mañana, de 9:00AM a 10:00AM, en la tarde de 2:45PM a 3:15PM, y la última franja horaria es nocturna, de 7:00PM a 7:45PM.

Para estas mediciones, se toman en cuenta diferentes puntos dentro de la ciudadela las Garzas, tal y como lo muestra la Figura 3.1, donde los puntos rojos son los puntos donde vamos a medir la densidad de redes y su ocupación en el espectro radioeléctrico en las frecuencias de 2.4GHz y 5GHz, asimismo como su rendimiento y cobertura de la red móvil presente, y el punto verde es el único punto donde se va a medir solo la velocidad de internet en los tres horarios establecidos.

Figura 3.1

Ubicación de los puntos de medición de la ciudadela Las Garzas



Fuente: Autor

Para la obtención de todos los datos en cada punto establecido, se han empleado diversas aplicaciones para el análisis de redes inalámbricas y pruebas del rendimiento de la red, permitiendo recolectar información como la densidad de redes en cada punto, como las gráficas del espectro radioeléctrico en ambas bandas de frecuencias mencionadas anteriormente. Y para la verificación del estado de red móvil, se usó una herramienta de diagnóstico integrada del sistema operativo del dispositivo móvil usado, para determinar el tipo de red presente en cada punto y diversos parámetros

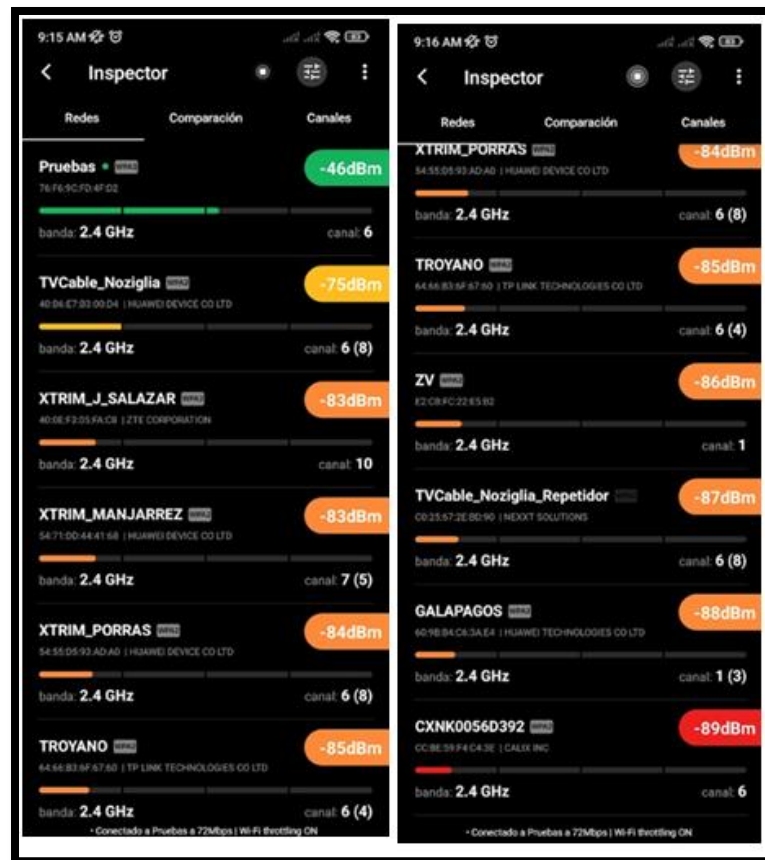
3.1 Medición en el horario matutino

En la primera franja horaria seleccionada, se presentan todos los resultados obtenidos en cada uno de los puntos establecidos dentro de la ciudadela Las Garzas.

3.1.1 Medición en el horario matutino en la banda de 2.4GHz del primer punto

Figura 3.2

Listado de redes en la banda de 2.4GHz en el primer punto

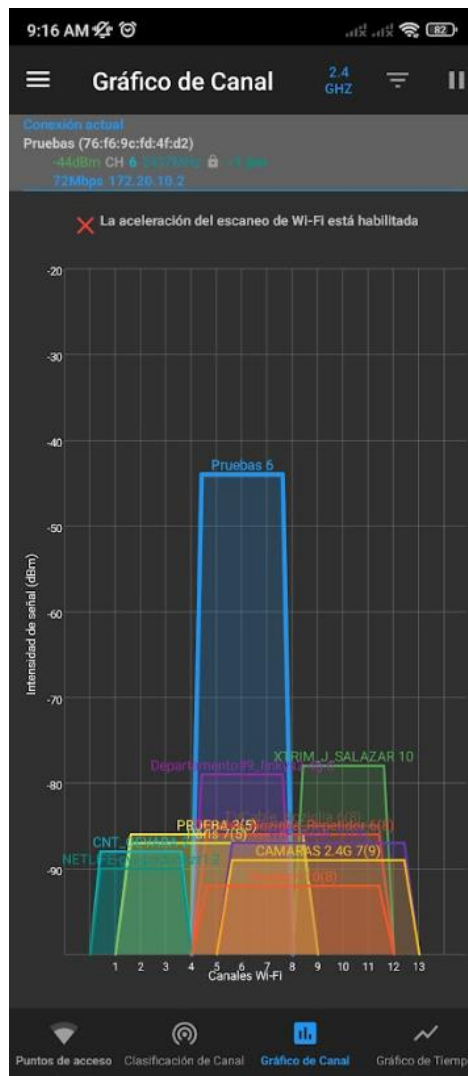


Fuente: Autor

Se aprecian todas las redes pertenecientes a la medición del primer punto en la banda de 2.4GHz en la Figura 3.2, donde se evidencian la alta densidad de redes en la banda de 2.4GHz operada al momento de la medición en el primer punto, en la que se observan la posible interferencia entre algunos canales usados entre sí.

Figura 3.3

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el primer punto



Fuente: Autor

Se aprecia la gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el primer punto en la Figura 3.3, donde se evidencia la alta ocupación del espectro dentro de la banda de 2.4GHz, en su mayoría, con redes operativas en canales adyacentes o superpuestos, en general, en los canales centrales, llegando a producir una interferencia que puede llegar a afectar negativamente a la experiencia del usuario perteneciente a aquellas redes con las cualidades mencionadas

anteriormente.

Figura 3.4

Resultados de la latencia en el primer punto en la banda de 2.4GHz



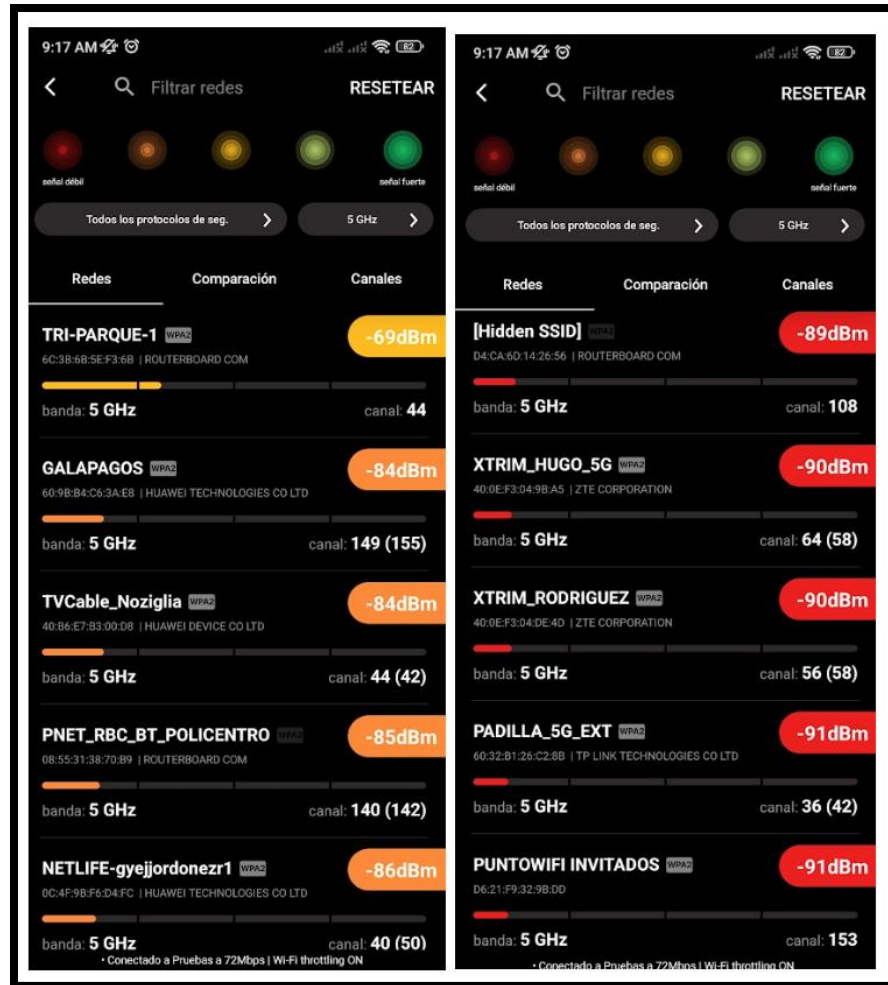
Fuente: Autor

Se aprecia la latencia obtenida al momento de la medición en el primer punto en la banda de 2.4GHz en la Figura 2.4, donde se puede llegar a evidenciar la latencia medida en milisegundos en el primer punto establecido en el servidor 8.8.8.8, en la banda de 2.4GHz debido a que esa fue la red a la que se estaba conectada para la medición, mostrando resultados con un tiempo mínimo de respuesta de 112 milisegundos y un máximo de 509 milisegundos, donde se comprueban la alta fluctuación de valores puesto a la demandante ocupación del espectro al momento de realizar esta medición, influyendo en la estabilidad de comunicación de red en este punto.

3.1.2 Medición en el horario matutino en la banda de 5GHz del primer punto

Figura 3.5

Listado de redes en la banda de 5GHz del primer punto

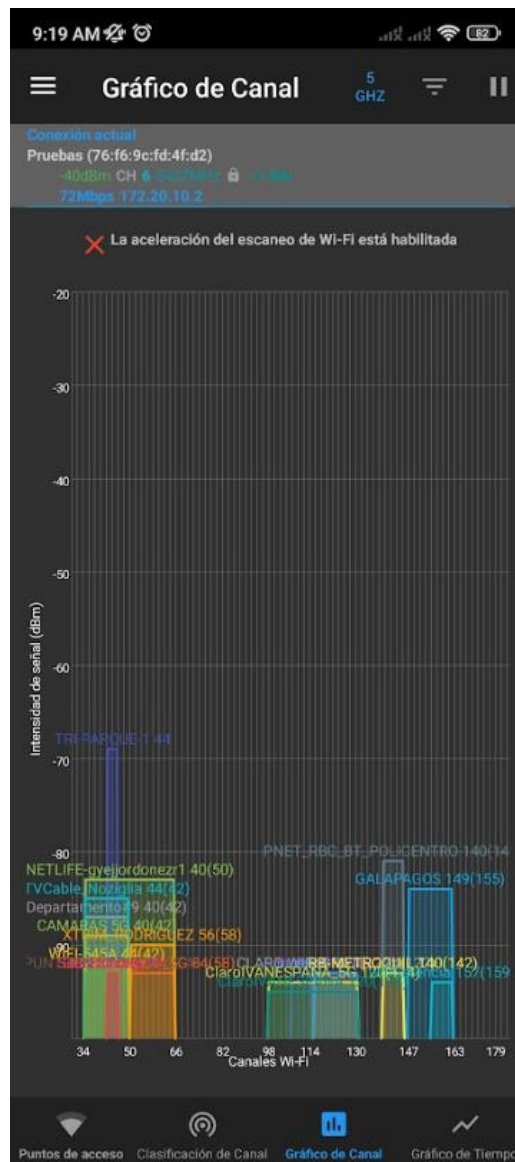


Fuente: Autor

En la Figura 3.5 se puede apreciar un menor número de redes presentes en la banda de 5GHz a comparación de la de 2.4GHz, debido a las propiedades de esta banda de frecuencias, ofreciendo un mayor número de canales y menor alcance de recepción se señal, reduciendo la interferencia entre estas redes.

Figura 3.6

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el primer punto



Fuente: Autor

En la Figura 3.6 se observa la abundancia de canales disponibles para las redes en la banda de 5GHz, donde se puede ver una mejor distribución de estos para cada una de las redes tomadas en el primer punto.

3.1.3 Medición en el horario matutino en la red móvil en el primer punto

Figura 3.7

Parámetros de señal de la red móvil presente en el primer punto



Fuente: Autor

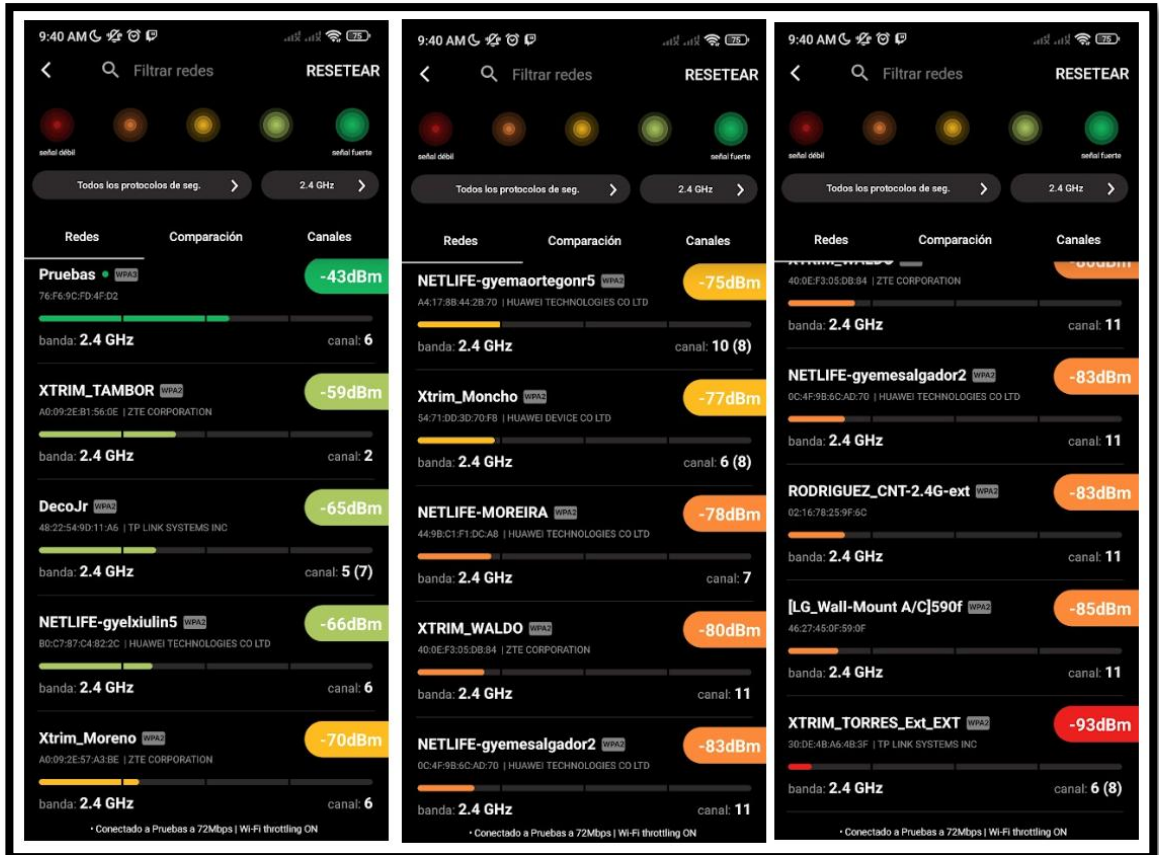
En la Figura 3.7 se evidencia los parámetros técnicos de la red móvil al momento de realizar la medición en el primer punto, donde se ve la existencia de tecnología de 5G y LTE, opera en la banda 78 y un ancho de banda de 100 MHz, lo que evidencia la disponibilidad de un canal amplio orientado a ofrecer mayores tasas de transmisión de datos. Por otro lado, la tecnología LTE utiliza la banda 2, con un

ancho de banda de 20 MHz, funcionando como soporte para control y continuidad del servicio.

3.1.4 Medición en el horario matutino en la banda de 2.4GHz del segundo punto

Figura 3.8

Listado de redes en la banda de 2.4GHz en el segundo punto

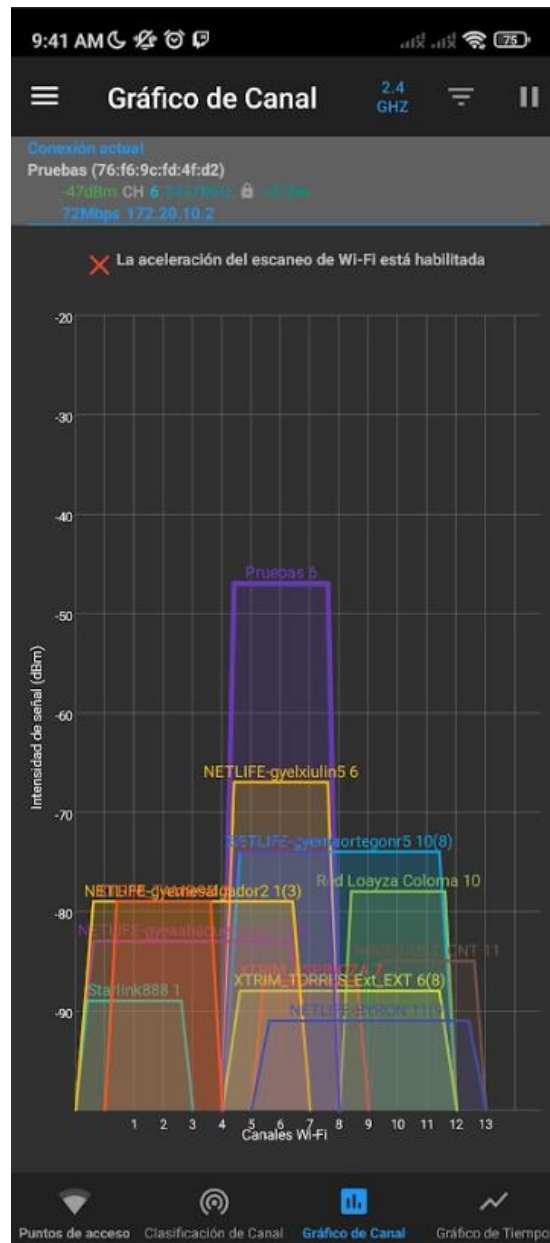


Fuente: Autor

Se aprecian todas las redes pertenecientes a la medición del segundo punto en la banda de 2.4GHz en la Figura 3.8, evidenciando al igual que el primer punto, una alta densidad de redes en la banda de 2.4GHz operada al momento de la medición en el segundo punto, en la que se observan la posible interferencia entre algunos canales usados entre sí.

Figura 3.9

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el segundo punto.



Fuente: Autor

Se aprecia la gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el segundo punto. En la figura 3.9 tal y como se evidenció en el primer punto, dentro de la banda de 2.4GHz, en su mayoría, se observan redes operativas en canales superpuestos o adyacentes, en general, en los canales centrales, llegando a afectar negativamente a los usuarios con posibles interferencias por usar canales

sobrepuestos o adyacentes.

Figura 3.10

Resultados de la latencia en el segundo punto en la banda de 2.4GHz



Fuente: Autor

Se aprecia la latencia obtenida al momento de la medición en el segundo punto en la banda de 2.4GHz. En la Figura 3.10 se puede llegar a evidencia la latencia medida en milisegundos en el segundo punto establecido en el servidor 8.8.8.8, en la banda de 2.4GHz debido a que esa fue la red a la que se estaba conectada para la medición, mostrando resultados con un tiempo mínimo de respuesta de 116 milisegundos y un máximo de 1981 milisegundos, donde se ve claramente una alta diferencia en cuanto al tiempo máximo de latencia registrada, dado a la posible ubicación, siendo esta una zona completamente central dentro de la ciudadela.

3.1.5 Medición en el horario matutino en la banda de 5GHz del segundo punto

Figura 3.11

Listado de redes en la banda de 5GHz del segundo punto



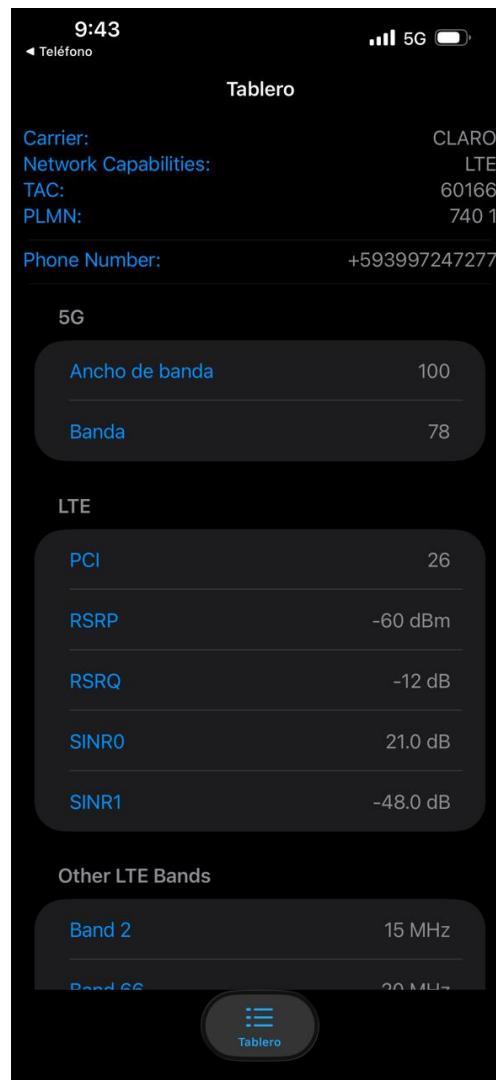
Fuente: Autor

Se aprecian todas las redes pertenecientes a la medición del segundo punto en la banda de 5GHz. En la Figura 3.11 siguiendo el mismo concepto de bandas de 5GHz a comparación de la de 2.4GHz, se aprecia un mayor número de redes, pero a mucha menos potencia de alcance, debido a las propiedades de esta banda de frecuencias, ofreciendo un mayor número de canales y reduciendo la interferencia entre estas redes.

3.1.6 Medición en el horario matutino en la red móvil en el segundo punto

Figura 3.13

Parámetros de señal de la red móvil presente en el segundo punto



Fuente: Autor

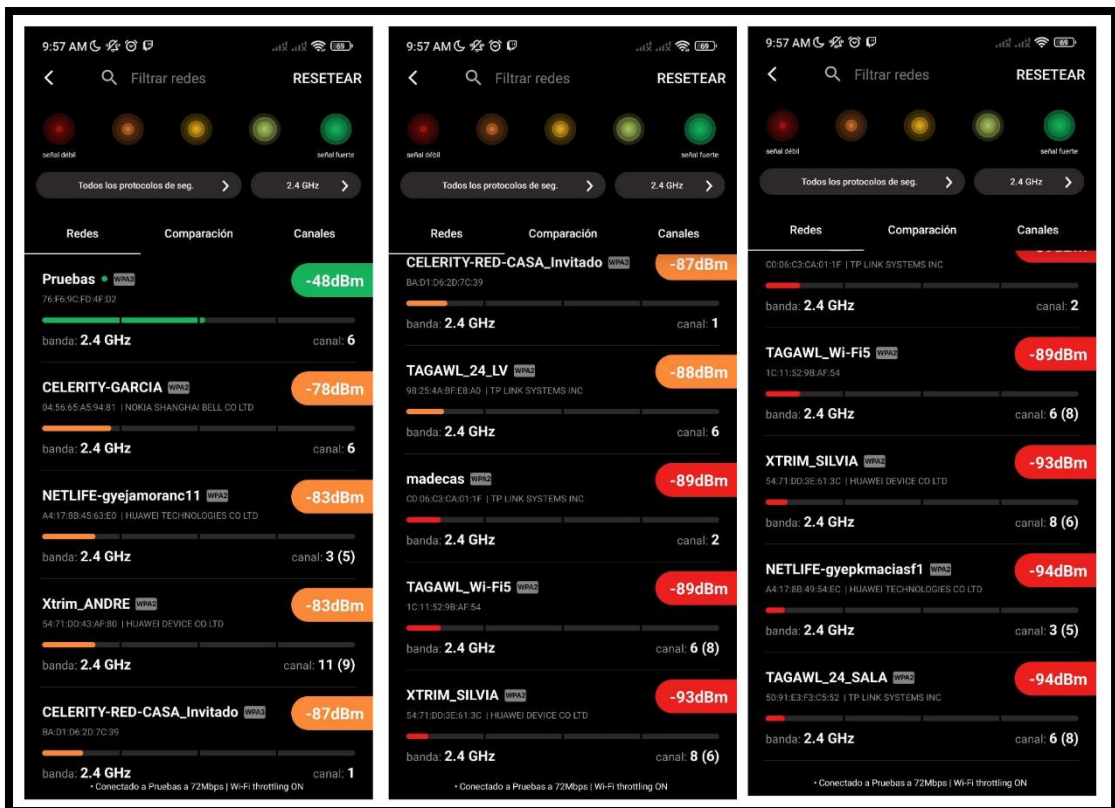
Se observa todos los datos correspondientes a la red móvil al momento de la medición en el segundo punto. En la Figura 3.13 se evidencia los parámetros técnicos de la red móvil al momento de realizar la medición en el segundo punto, donde se ve la existencia de tecnología de 5G y LTE, opera en la banda 78 y un ancho de banda de 100 MHz al igual que el primer punto, lo que evidencia la disponibilidad de un

canal amplio orientado a ofrecer mayores tasas de transmisión de datos. Por otro lado, la tecnología LTE actúa como anclaje, registrando un valor de RSRP de -60 dBm, lo cual evidencia una señal fuerte, mientras que el valor de SINR de 21 dB refleja un adecuado SNR.

3.1.7 Medición en el horario matutino en la banda de 2.4GHz del tercer punto

Figura 3.14

Listado de redes en la banda de 2.4GHz del tercer punto

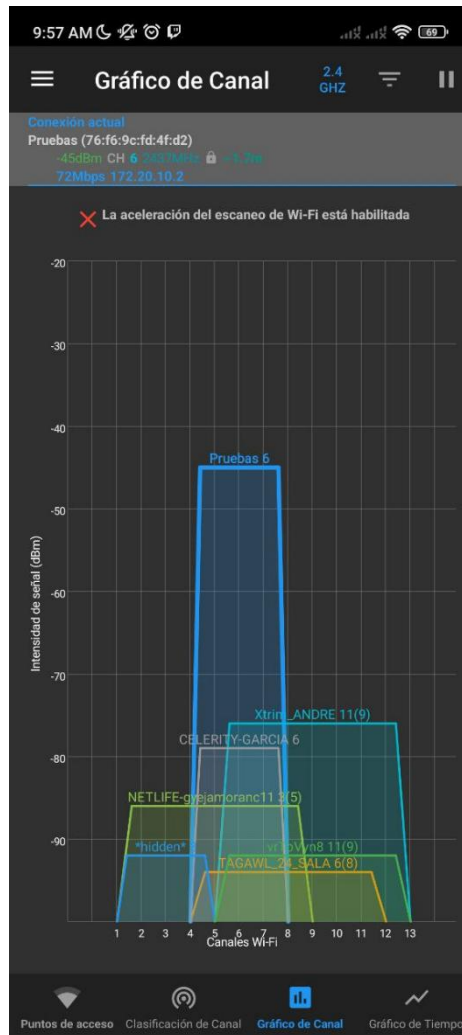


Fuente: Autor

Se valida el listado de todas las redes visibles en el tercer punto en la banda de 2.4GHz. En la Figura 3.14 se evidencia tal y como se esperaba un gran volumen de redes debido a la ubicación del tercer punto, mostrando la ocupación de canales en algunos casos repetidos, llegando a afectar negativamente a la calidad del servicio del cliente.

Figura 3.15

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el tercer punto



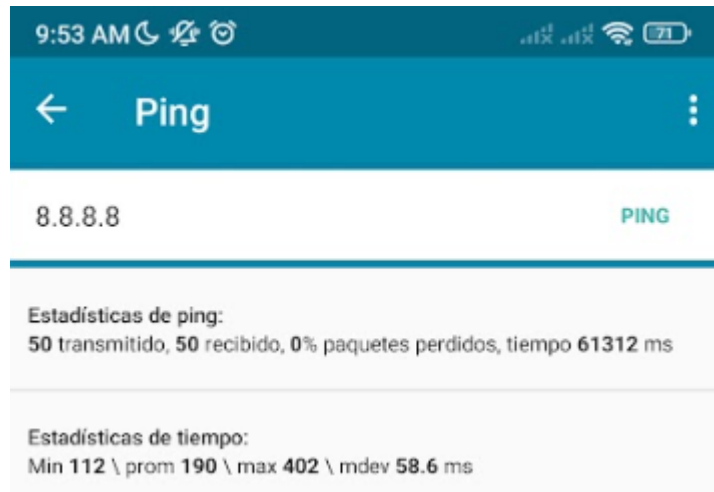
Fuente: Autor

Se observa la gráfica del espectro radioeléctrico de las redes del tercer punto en la banda de 2.4GHz. En la figura 3.15 se evidencia la gráfica del espectro del 2.4GHz en el tercer punto estudiado, mostrando una diferencia en cuanto a la cantidad de redes visibles observadas de la Figura 3.14. Esto sucede al momento de realizar la medición, tomó en cuenta los valores de potencia más fuertes. Si bien es cierto en la Figura 3.14 se observan más redes visibles, estas no son lo suficientemente fuertes como para aparecer en la gráfica del espectro radioeléctrico,

en la que en la misma se evidencian las redes con mayor potencia de recepción.

Figura 3.16

Resultados de la latencia en el tercer punto en la banda de 2.4GHz



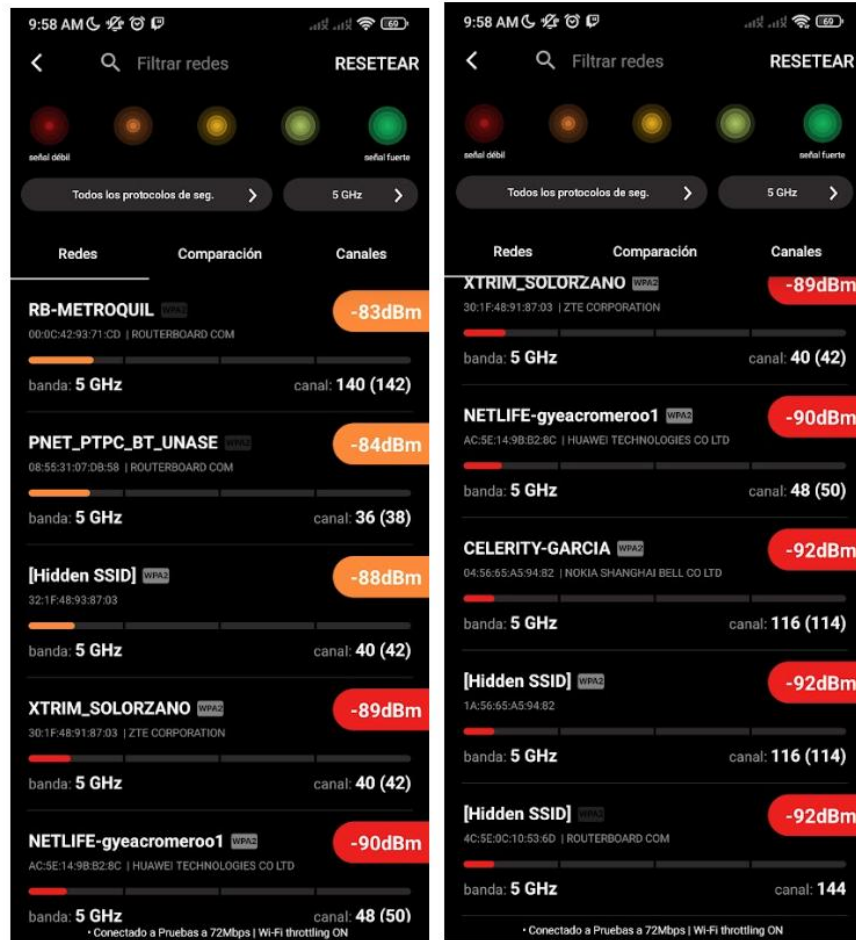
Fuente: Autor

Se aprecia la latencia obtenida al momento de la medición en el tercer punto en la banda de 2.4GHz. En la Figura 3.16 se puede llegar a evidencia la latencia medida en milisegundos en el segundo punto establecido en el servidor 8.8.8.8, en la banda de 2.4GHz debido a que esa fue la red a la que se estaba conectada para la medición, mostrando resultados con un tiempo mínimo de respuesta de 112 milisegundos y un máximo de 402 milisegundos, donde en este tercer punto se observa una baja latencia a comparación del segundo punto, siendo esta tres veces superior a la de este nuevo punto.

3.1.8 Medición en el horario matutino en la banda de 5GHz del tercer punto

Figura 3.17

Listado de redes en la banda de 5GHz del tercer punto

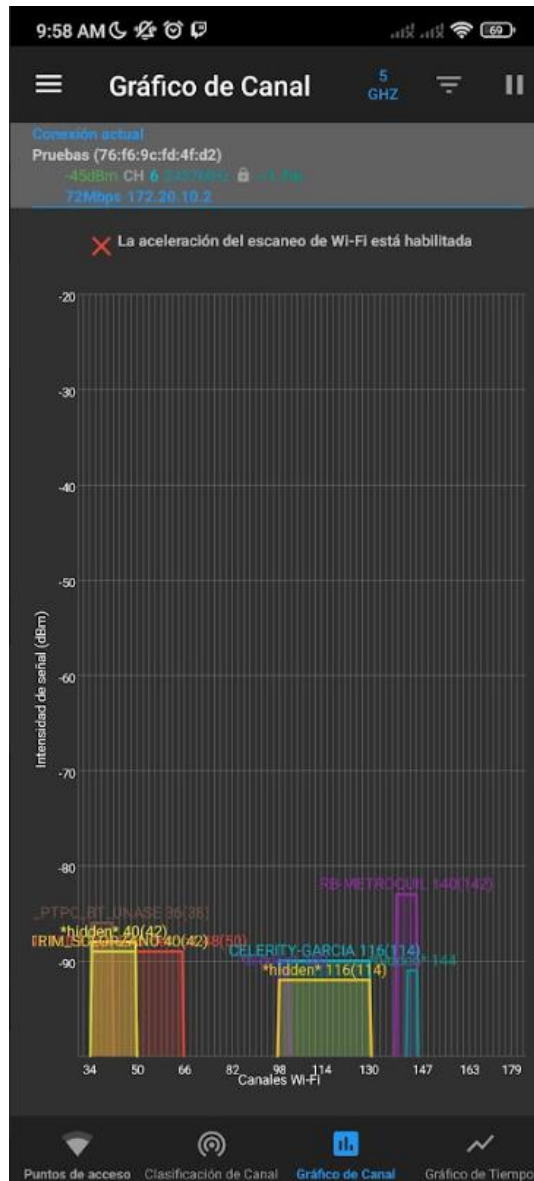


Fuente: Autor

Se valida el listado de todas las redes visibles en el tercer punto en la banda de 5GHz. En la Figura 3.17 nuevamente se observan una cantidad un poco reducida de redes visibles, aunque la mayoría a una potencia muy baja, debido al poco alcance que tiene esta banda de frecuencia de 5GHz.

Figura 3.18

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el tercer punto



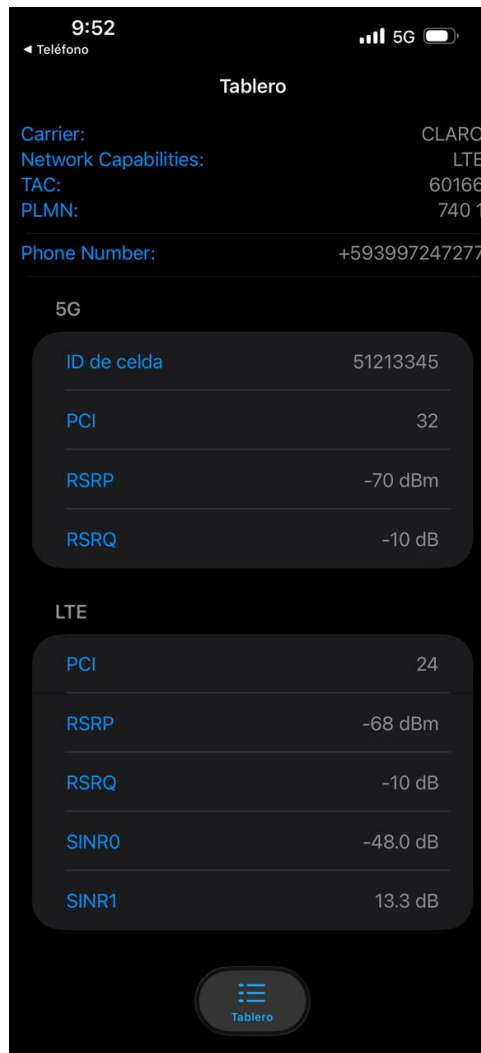
Fuente: Autor

Se aprecia la gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el tercer punto. En la Figura 3.18 se observan las pocas redes visibles del tercer punto en la banda de 5GHz, donde se ve una distribución más limpia a comparación del primer y segundo punto medido.

3.1.9 Medición en el horario matutino en la red móvil en el tercer punto

Figura 3.19

Parámetros de señal de la red móvil presente en el tercer punto.



Fuente: Autor

Se observa todos los datos correspondientes a la red móvil al momento de la medición en el tercer punto. En la Figura 3.19 se evidencia los parámetros técnicos de la red móvil al momento de realizar la medición en el tercer punto, donde nuevamente se evidencia la presencia de tecnología de 5G y LTE. Ambas como muy buenas alternativas para su uso, donde incluso para la red LTE se midió la potencia recibida de -68dBm , siendo está un poco mejor que la red 5G.

3.1.10. Medición en el horario matutino en el cuarto punto de internet

Figura 3.20

Resultados de prueba de velocidad y calidad de servicio en el cuarto punto.



Fuente: Autor

Se observa la captura correspondiente a los parámetros de prueba de velocidad y calidad de servicio del cuarto punto. En la Figura 3.20, se evidencia los parámetros importantes para establecer una buena calidad de servicio en el cuarto punto. Como una descripción breve, se tiene la velocidad de transmisión y recepción bastante similares, mostrando una buena capacidad de la red para el intercambio de

datos. Sin embargo, en el tema del jitter es donde se observa una variación en los niveles de subida y bajada, siendo una gran diferencia y evidenciando un retardo en los paquetes, afectando directamente a acciones como llamadas, videoconferencias o servicios en tiempo real como streaming. Aunque la nula pérdida de paquetes indica una cierta confiabilidad, esto puede convertirse en lo opuesto al tener el valor del jitter y la latencia elevados, debido a que con estos parámetros se establece un congestionamiento, interferencia o saturación momentánea del espectro radioeléctrico en este último punto.

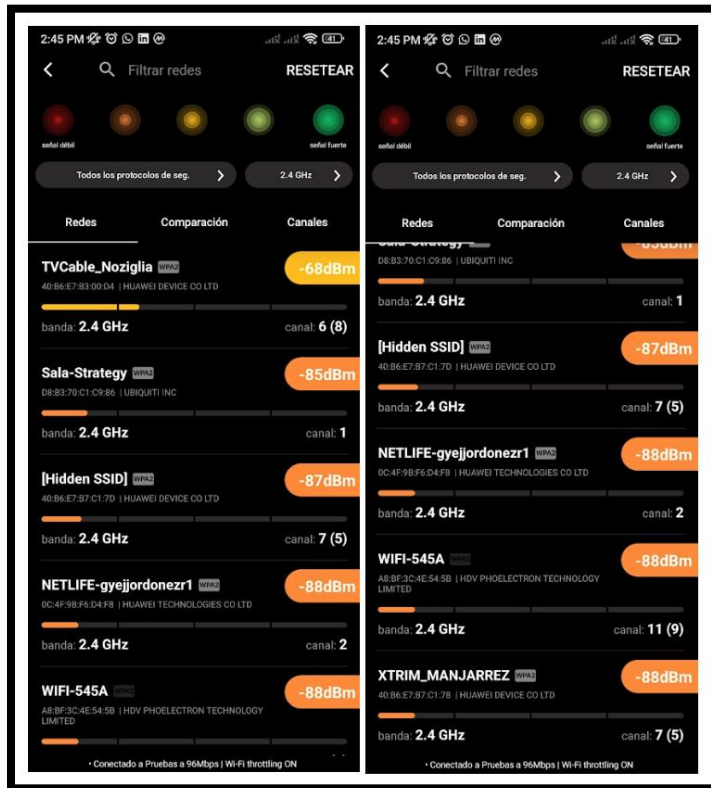
3.2 Medición en el horario vespertino

En la segunda franja horaria seleccionada, se muestran los resultados nuevamente de los 4 puntos ya revisados. Cabe recalcar que, a partir de este horario, al momento de realizar las mediciones, se estaba conectado a una red 5G, dado a una operadora diferente del dispositivo que compartía Wi-Fi al momento. Se menciona debido a la desaparición de esta en la banda de 2.4G y en su defecto, aparición en la banda de 5G.

3.2.1 Medición en el horario vespertino en la banda de 2.4GHz del primer punto

Figura 3.21

Listado de redes en la banda de 2.4GHz del primer punto en horario vespertino

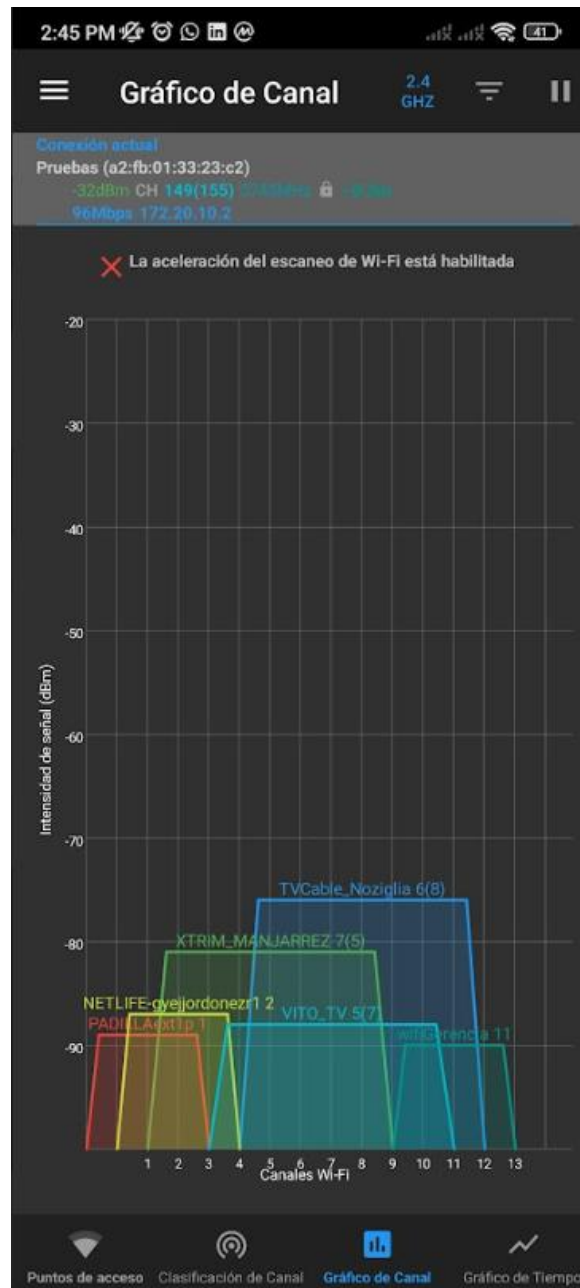


Fuente: Autor

En la Figura 3.21 se evidencia una pequeña disminución en cuanto a cantidad de redes visibles a comparación del horario matutino. Esto puede ser debido al horario al momento de la medición.

Figura 3.22

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el primer punto del horario vespertino.

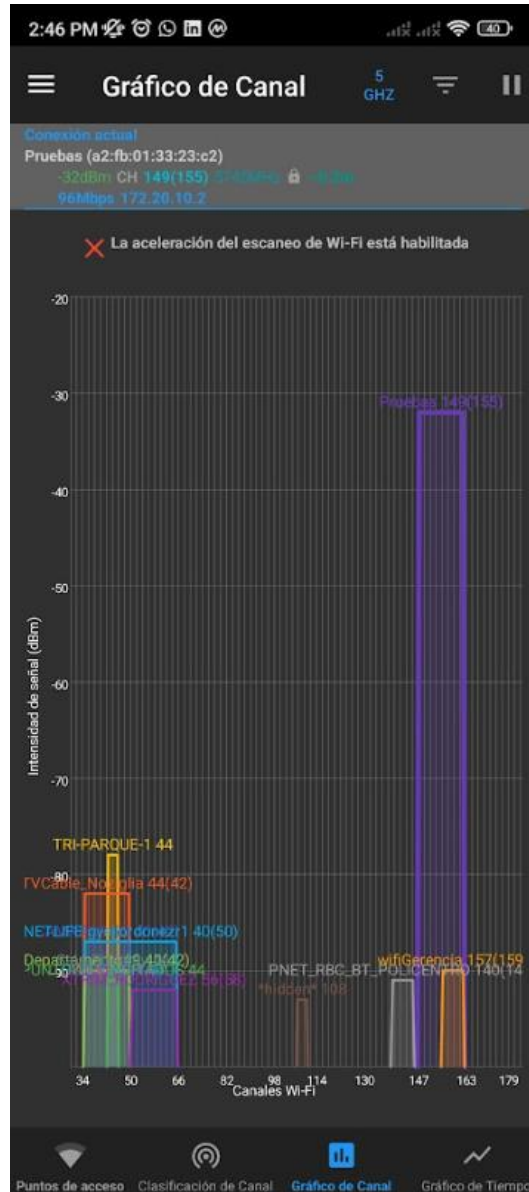


Fuente: Autor

En la Figura 3.21 se evidencia la gráfica del espectro del 2.4GHz en el primer punto de este horario vespertino estudiado, justificando la poca densidad de redes visibles dentro de la gráfica del espectro radioeléctrico y mostrando una buena distribución de canales utilizados, sin congestión alguno.

Figura 3.24

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el primer punto en horario vespertino



Fuente: Autor

En la Figura 3.24 se observa la gráfica del espectro radioeléctrico en el primer punto en el horario vespertino de la banda de 5GHz, donde se evidencia una buena distribución de redes en los diferentes canales disponibles para la banda de frecuencia estudiada.

Figura 3.25

Resultados de la latencia en el primer punto en la banda de 5GHz en el horario vespertino



Fuente: Autor

En la Figura 3.25 se puede llegar a evidencia la latencia medida en milisegundos en el segundo punto establecido en el servidor 8.8.8.8, en la banda de 5GHZ, debido a que era una nueva red conectada al momento de realizar la medición, mostrando resultados con un tiempo mínimo de respuesta de 85 milisegundos y un máximo de 212 milisegundos, donde se ve una mejoría indudable comparado a la medición del mismo punto, pero en la banda de 2.4GHZ del horario matutino.

3.2.3 Medición en el horario vespertino en la red móvil en el primer punto

Figura 3.26

Parámetros de señal de la red móvil presente en el primer punto del horario vespertino



Fuente: Autor

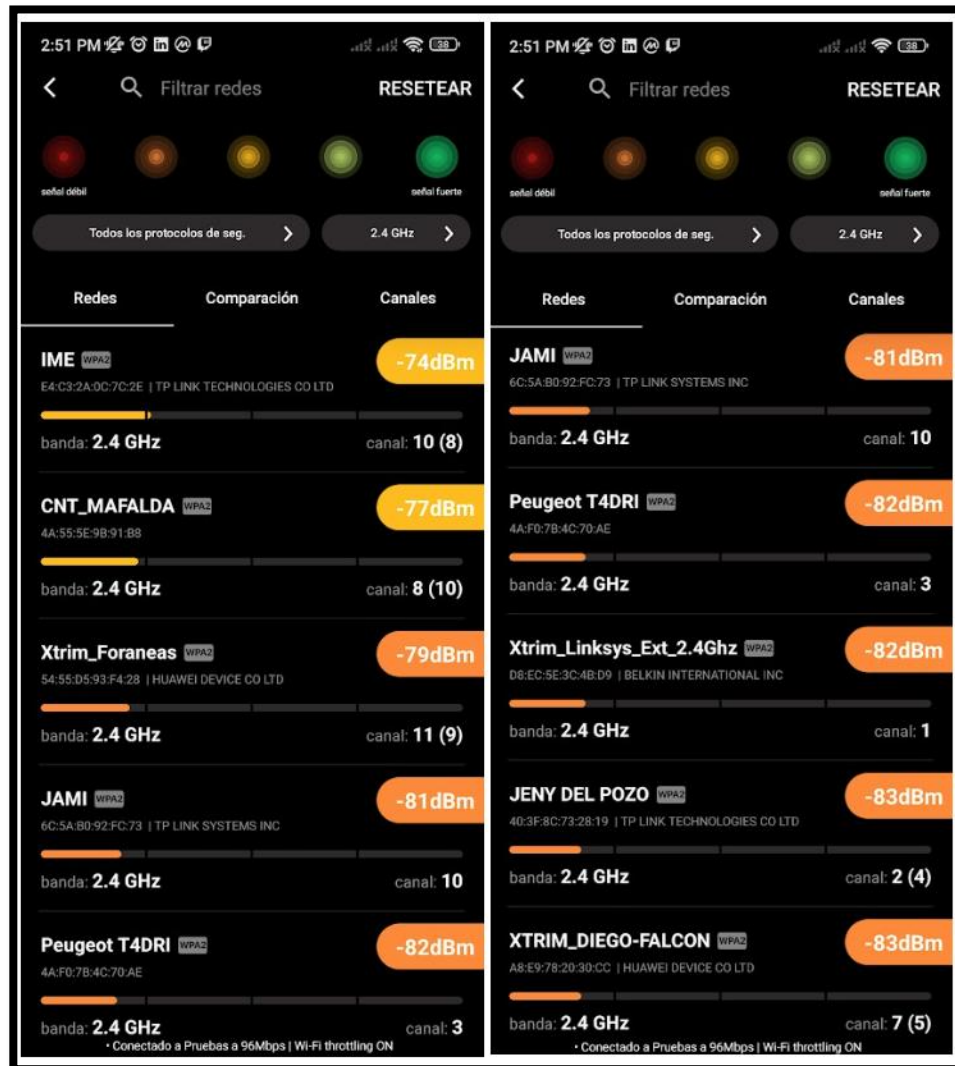
En la Figura 3.26 se evidencia los parámetros técnicos de la red móvil al momento de realizar la medición en el primer punto en este nuevo horario, donde

nuevamente predomina la red 5G sin ninguna dificultad, con una potencia mejor que la tecnología LTE.

3.2.4 Medición en el horario vespertino en la banda de 2.4GHz del segundo punto

Figura 3.27

Listado de redes en la banda de 2.4GHz del segundo punto en horario vespertino



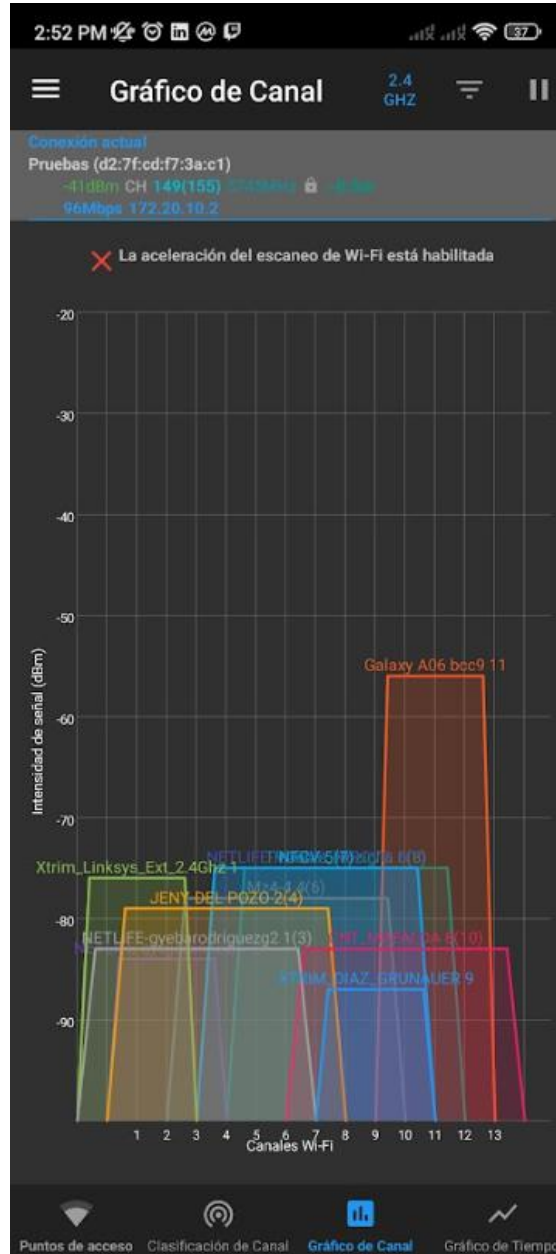
Fuente: Autor

En la Figura 3.27 al igual que en el primer punto, se observan una disminución de redes visibles a comparación del horario matutino en la banda de frecuencia de 2.4GHz en el horario vespertino, y en su mayoría, con baja potencia de recepción o,

en otras palabras, señales débiles.

Figura 3.28

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el segundo punto del horario vespertino.



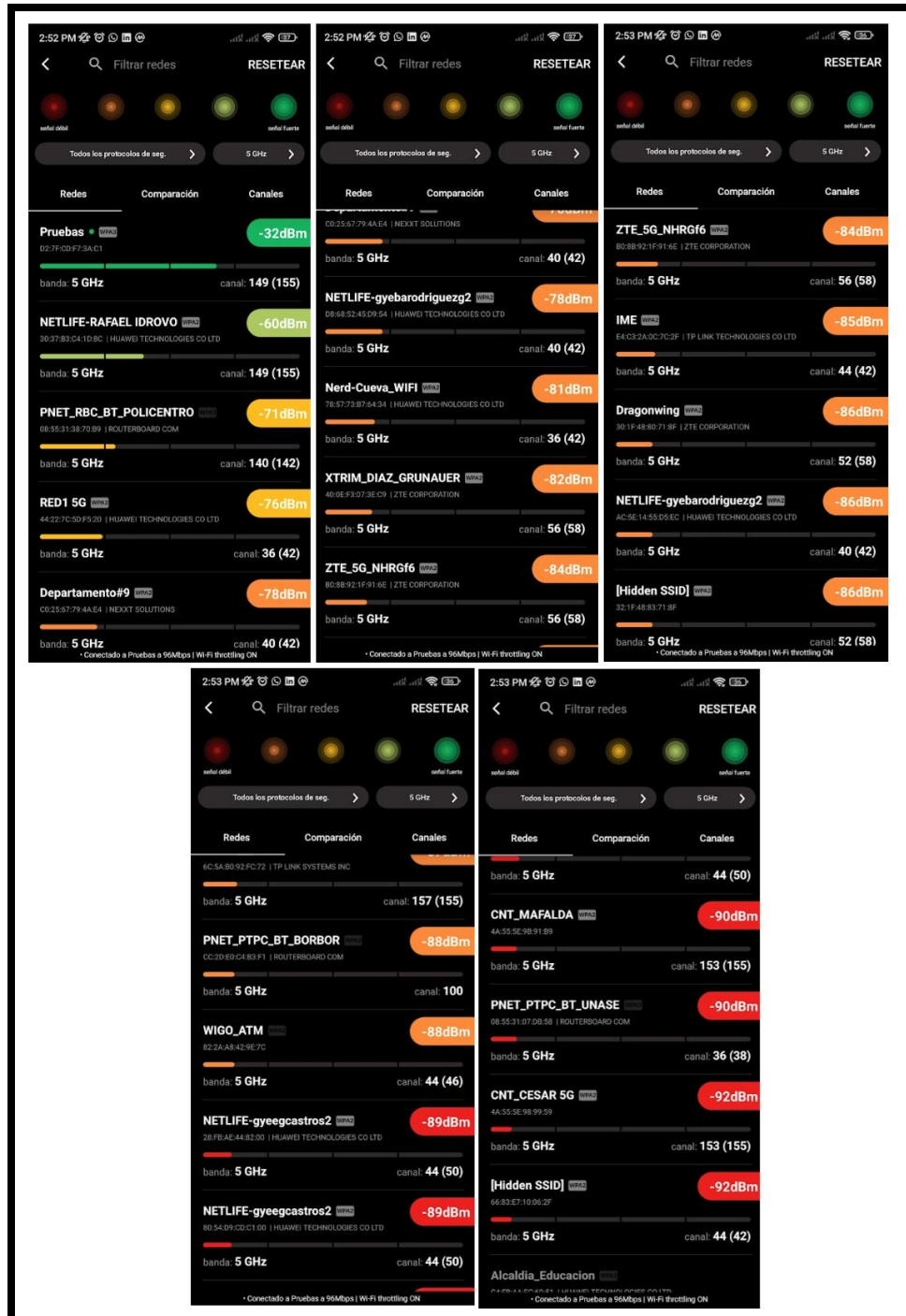
Fuente: Autor

En la Figura 3.28 se evidencia la gráfica del espectro del 2.4GHz en el segundo punto de este horario vespertino estudiado, justificando las redes visibles de la Figura 3.27 con sus pocas redes visibles.

3.2.5 Medición en el horario vespertino en la banda de 5GHz del segundo punto

Figura 3.29

Listado de redes en la banda de 5GHz en el segundo punto en el horario vespertino



Nota: Fuente: Autor

segundo punto en el horario vespertino de la banda de 5GHz, donde en este caso se evidencia un desorden total en cuanto a los canales de la banda de 5GHz, esto debido al horario y muy probablemente a la ubicación casi céntrica de la ciudadela, mostrando hasta las redes más débiles.

Figura 3.31

Resultados de la latencia en el segundo punto en la banda de 5GHz en el horario vespertino



Nota: Fuente: Autor

En la Figura 3.31 nuevamente se comprueba la mejoría de estar conectado a la banda de 5GHz, debido a la mejoría de la latencia, mostrando resultados esperables comparados al primer punto, con un mínimo de 84 de milisegundos de latencia y un máximo de 290 milisegundos, resultado muy aceptable a pesar de la alta congestión de redes en la banda de 5GHz de este segundo punto en el horario vespertino.

3.2.6 Medición en el horario vespertino en la red móvil en el segundo punto

Figura 3.32

Parámetros de señal de la red móvil presente en el segundo punto del horario vespertino



Fuente: Autor

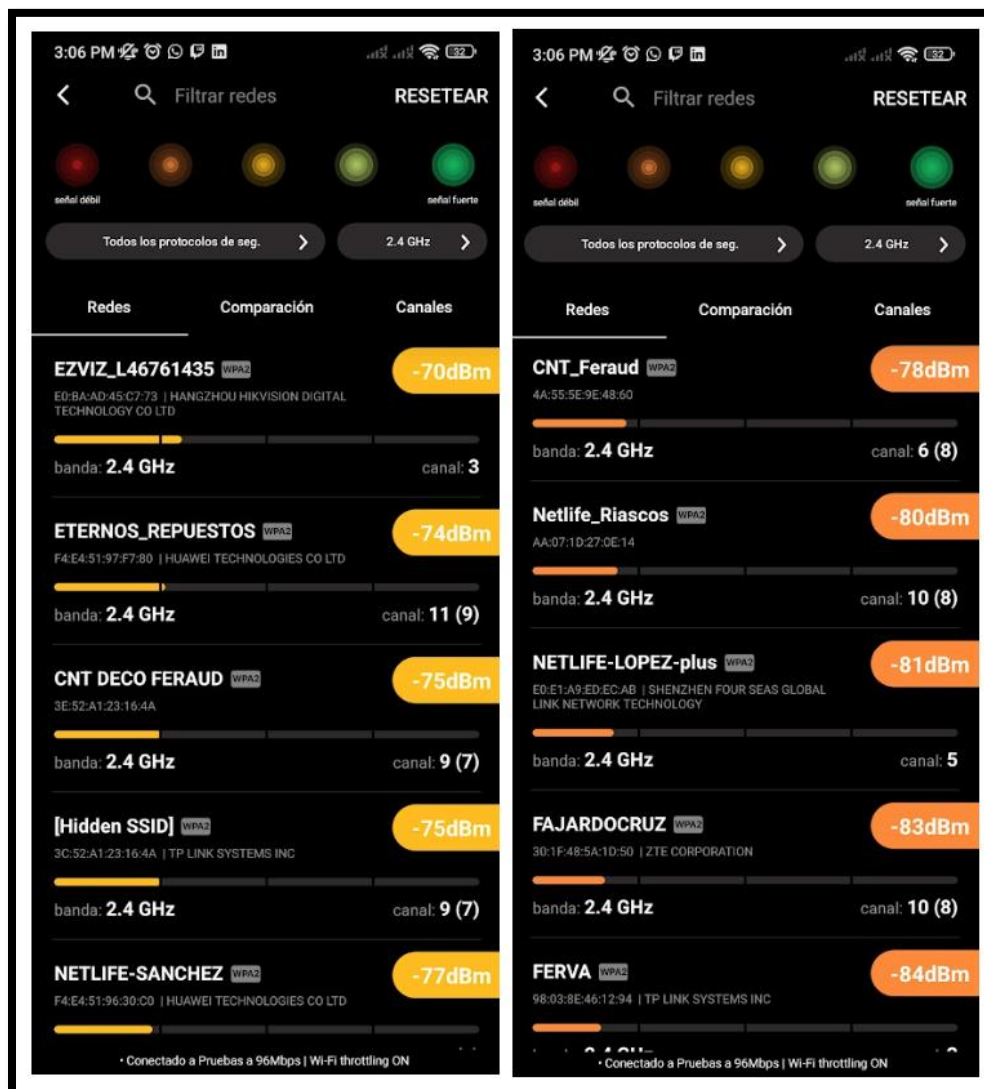
En la Figura 3.32 se evidencia los parámetros técnicos de la red móvil al

momento de realizar la medición en el segundo punto en este nuevo horario, donde como es de esperarse debido a la cobertura 5G, predomina con su buena potencia de -76dBm, siendo mejor a la LTE con -83dBm.

3.2.7 Medición en el horario vespertino en la banda de 2.4GHz del tercer punto

Figura 3.33

Listado de redes en la banda de 2.4GHz del tercer punto en horario vespertino



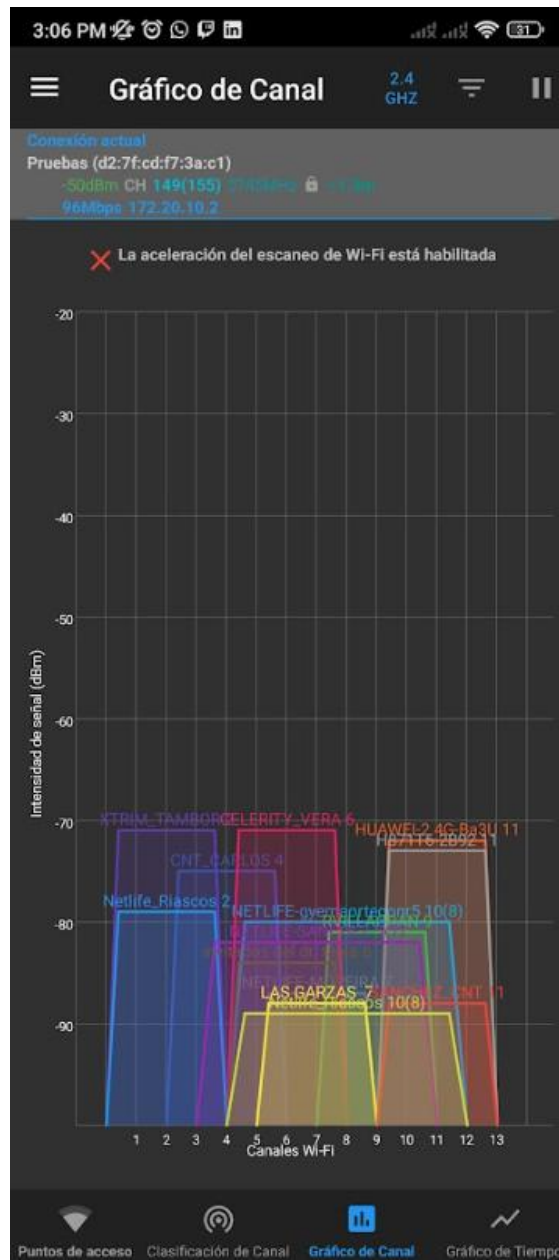
Fuente: Autor

En la Figura 3.33 al igual que en los anteriores puntos, se observan todas las

redes en este tercer punto en la banda de frecuencia de 2.4GHz.

Figura 3.34

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el tercer punto del horario vespertino.



Fuente: Autor

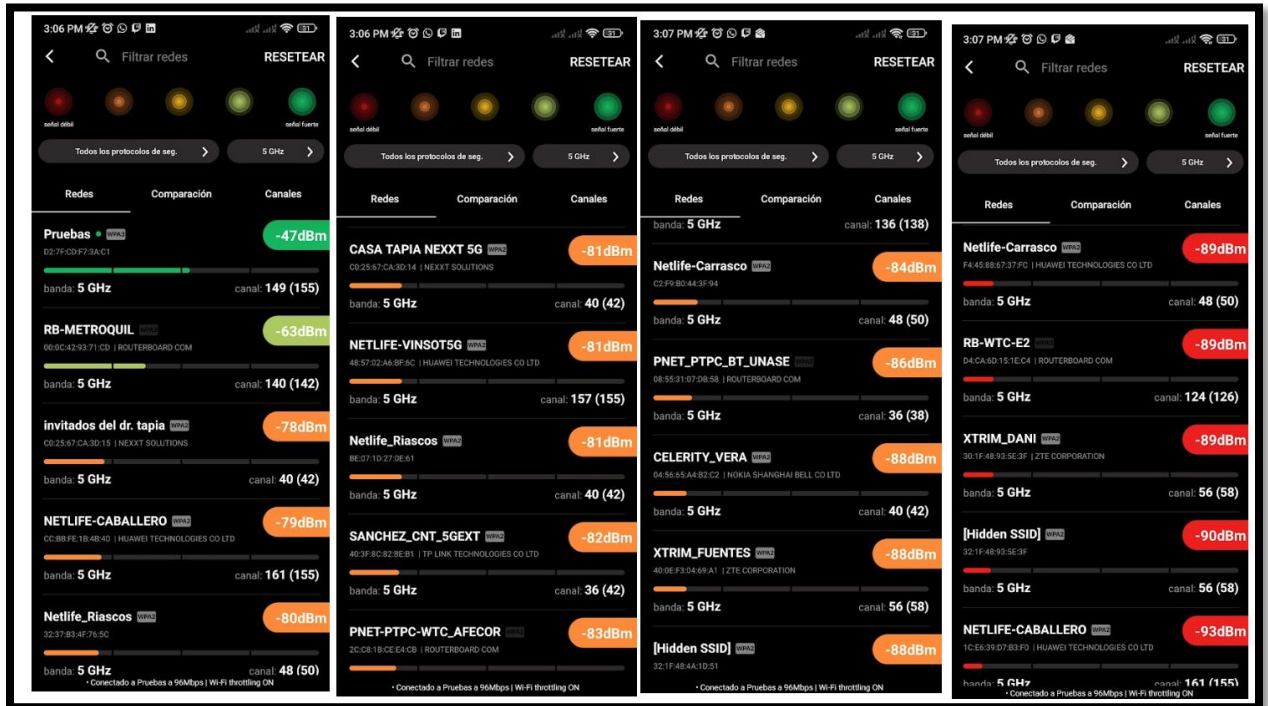
En la Figura 3.34 se evidencia la gráfica del espectro del 2.4GHz en el tercer punto de este horario vespertino estudiado. En este caso se observa un pequeño

congestión entre algunas redes, usando el mismo canal.

3.2.8 Medición en el horario vespertino en la banda de 5GHz del tercer punto

Figura 3.35

Listado de redes en la banda de 5GHz en el tercer punto en el horario vespertino

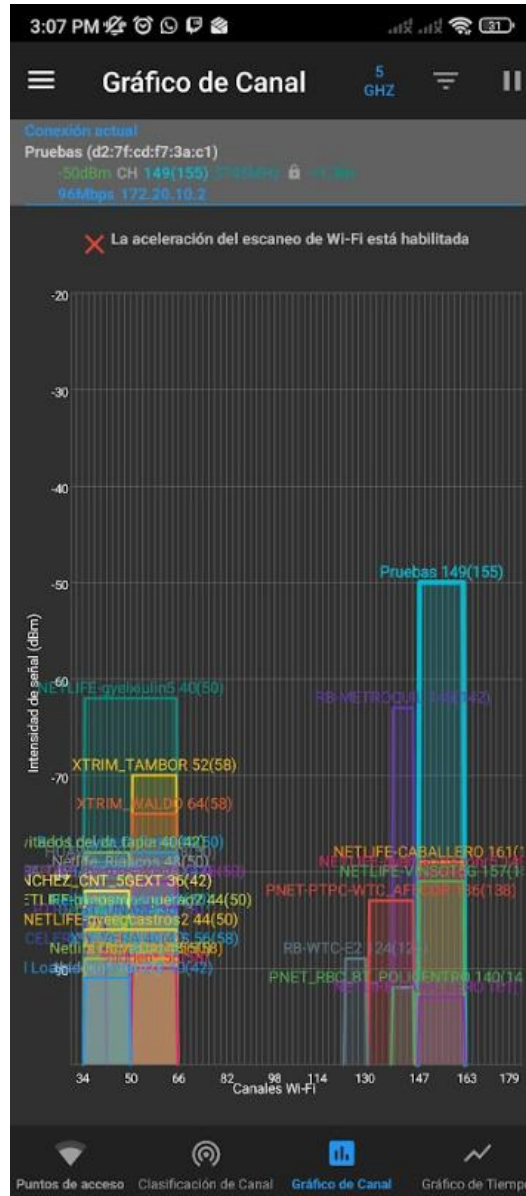


Nota: Fuente: Autor

En la Figura 3.35 una vez más se evidencia un claro aumento de redes visibles, casi duplicando la cantidad en el horario matutino del tercer punto. En esta medición se evidencia nuevamente una influencia del horario a la hora de realizar la medición en la banda de 5GHz.

Figura 3.36

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el tercer punto en horario vespertino



Nota: Fuente: Autor

En la Figura 3.36 se observa la gráfica del espectro radioeléctrico en el tercer punto en el horario vespertino de la banda de 5GHz, donde otra vez se evidencia un desorden total en cuanto a los canales de la banda de 5GHz, esto debido al horario y muy probablemente a la ubicación de este punto.

Figura 3.37

Resultados de la latencia en el tercer punto en la banda de 5GHz en el horario vespertino



Fuente: Autor

En la Figura 3.37 una vez más se evidencia la superioridad de la banda de frecuencia de 5GHz, mostrando resultados esperables comparados a los anteriores puntos, con un mínimo de 87 de milisegundos de latencia y un máximo de 220 milisegundos, resultado muy aceptable a pesar de tener muchas redes en esta banda de frecuencia.

3.2.9 Medición en el horario vespertino en la red móvil en el tercer punto

Figura 3.38

Parámetros de señal de la red móvil presente en el tercer punto del horario vespertino



Fuente: Autor

En la Figura 3.38 como ya es costumbre, gracias a la evolución de la operadora en la nueva generación, el 5G está siendo dominante a la LTE, con una potencia superior de recepción de -76dBm a comparación de la LTE, con -83dBm , literalmente igual a la del segundo punto en este horario vespertino.

3.2.10. Medición en el horario vespertino en el cuarto punto de internet

Figura 3.39

Resultados de prueba de velocidad y calidad de servicio en el cuarto punto en el horario vespertino



Fuente: Autor

Se observa la captura correspondiente a los parámetros de prueba de velocidad y calidad de servicio del cuarto punto del horario vespertino. En la Figura 3.33, se evidencia los parámetros importantes para establecer una buena calidad de servicio en el cuarto punto. Como una descripción breve, se tiene la velocidad de

transmisión y recepción bastante similares, al igual del horario matutino, mostrando una buena capacidad de la red para el intercambio de datos. Sin embargo, en el tema del jitter es donde una vez más se observa una variación en los niveles de subida y bajada. Nuevamente no hay pérdida de paquetes, pero al tener el jitter con valores muy variados, puede haber pequeños retrasos a la hora de utilizar el Wi-Fi para tareas demandantes, ya explicadas en el horario matutino.

3.3 Medición en el horario nocturno

En la segunda franja horaria seleccionada, se presentan todos los resultados obtenidos en cada uno de los puntos establecidos dentro de la ciudadela Las Garzas.

3.3.1 Medición en el horario nocturno en la banda de 2.4GHz del primer punto

Figura 3.40

Listado de redes en la banda de 2.4GHz del primer punto en horario nocturno

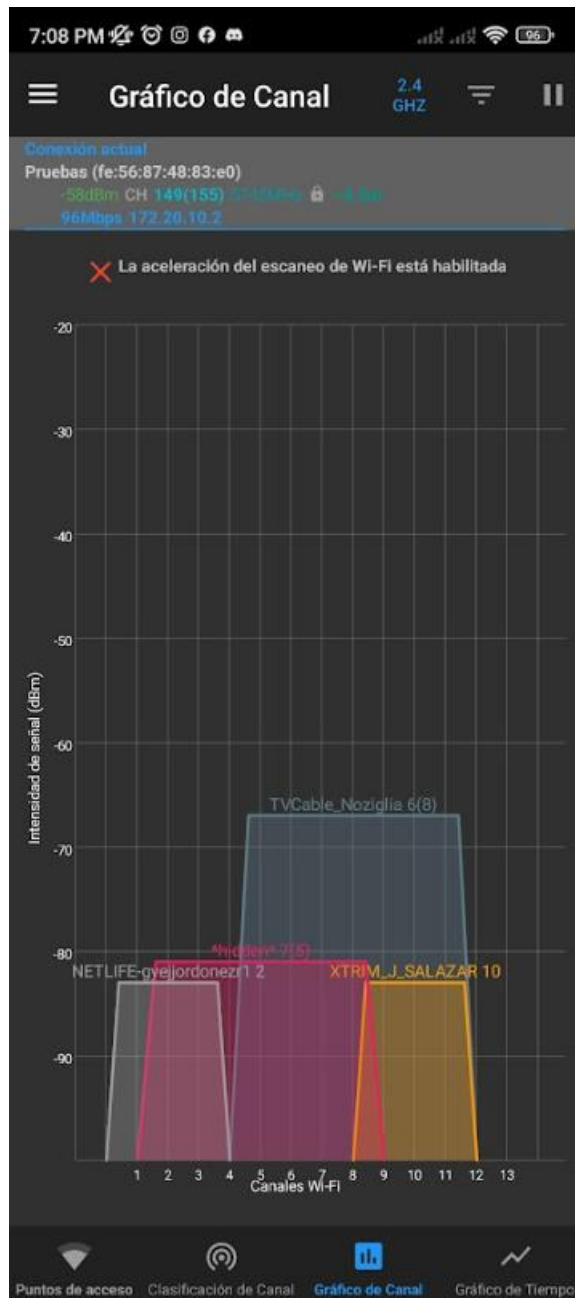


Fuente: Autor

En la Figura 3.40 una disminución aún más considerable, mostrando apenas tres redes en este primer punto en el horario nocturno de la banda de 2.4GHz.

Figura 3.41

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el primer punto del horario nocturno.



Fuente: Autor

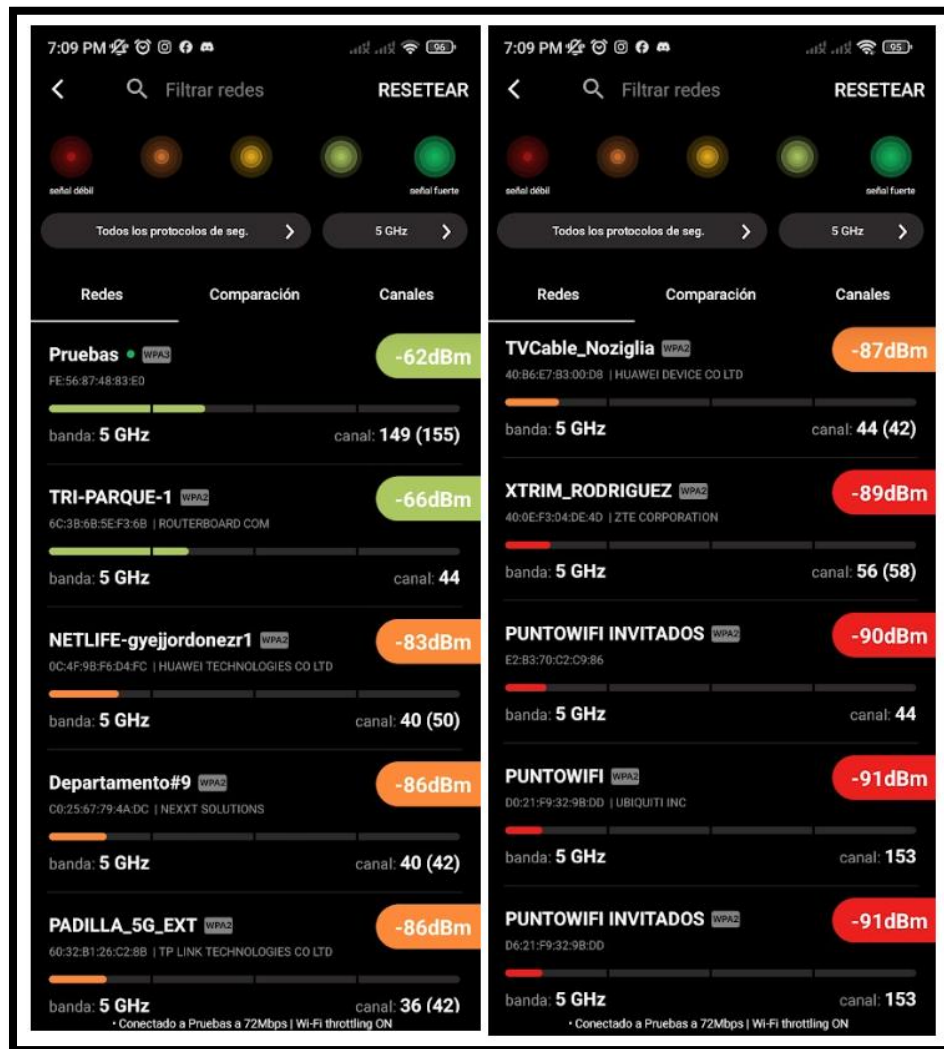
En la Figura 3.41, se observa las tres redes vistas anteriormente. Adicional, se

sumó una red más que estaba en estado oculta, motivo por el cual no aparecía en la Figura 3.40. Al haber pocas redes, no hay congestión de redes en esta frecuencia.

3.3.2 Medición en el horario nocturno en la banda de 5GHz del primer punto

Figura 3.42

Listado de redes en la banda de 5GHz en el primer punto en el horario nocturno



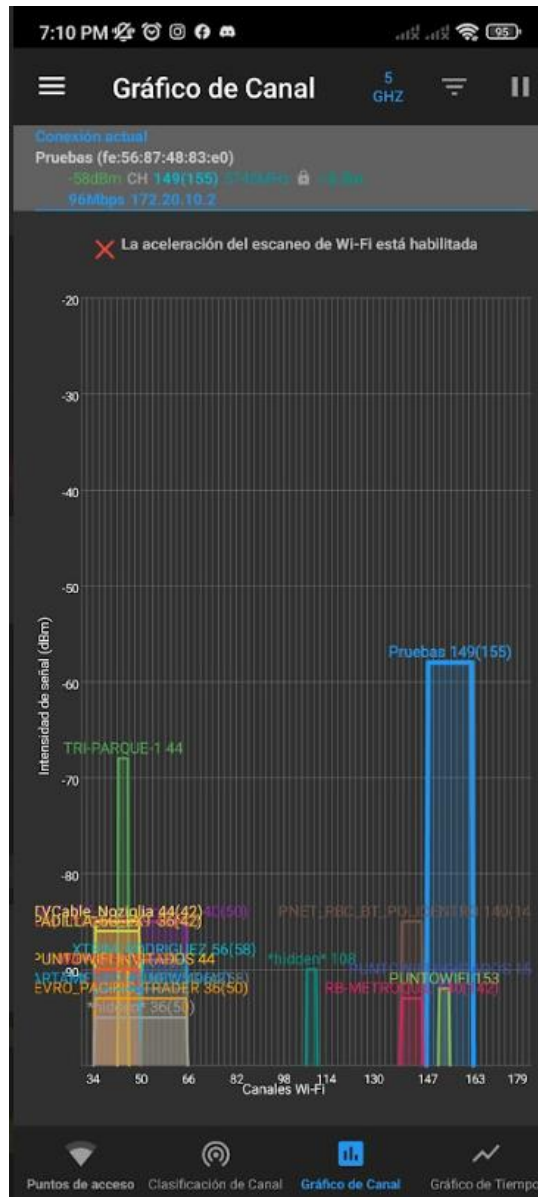
Fuente: Autor

En la Figura 3.42 se observan más redes, característica que se ha venido

mostrando de manera usual en otros puntos u horarios.

Figura 3.43

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el primer punto en horario nocturno



Fuente: Autor

En la Figura 3.43 se observa la gráfica del espectro radioeléctrico en el primer punto en el horario nocturno de la banda de 5GHz, donde se evidencia a primera vista, una buena gestión de canales, a excepción de los primeros canales, que alguna

red se ha de estar interfiriendo con otra.

Figura 3.44

Resultados de la latencia en el primer punto en la banda de 5GHz en el horario nocturno



Fuente: Autor

En la Figura 3.44 se puede llegar a evidencia la latencia medida en milisegundos en el segundo punto establecido en el servidor 8.8.8.8, en la banda de 5GHZ, mostrando resultados con un tiempo mínimo de respuesta de 85 milisegundos y un máximo de 213 milisegundos, números casi iguales al horario vespertino, debido a estar conectado a una red de banda de frecuencia de 5GHz

3.3.3 Medición en el horario nocturno en la red móvil en el primer punto

Figura 3.45

Parámetros de señal de la red móvil presente en el primer punto del horario nocturno



Fuente: Autor

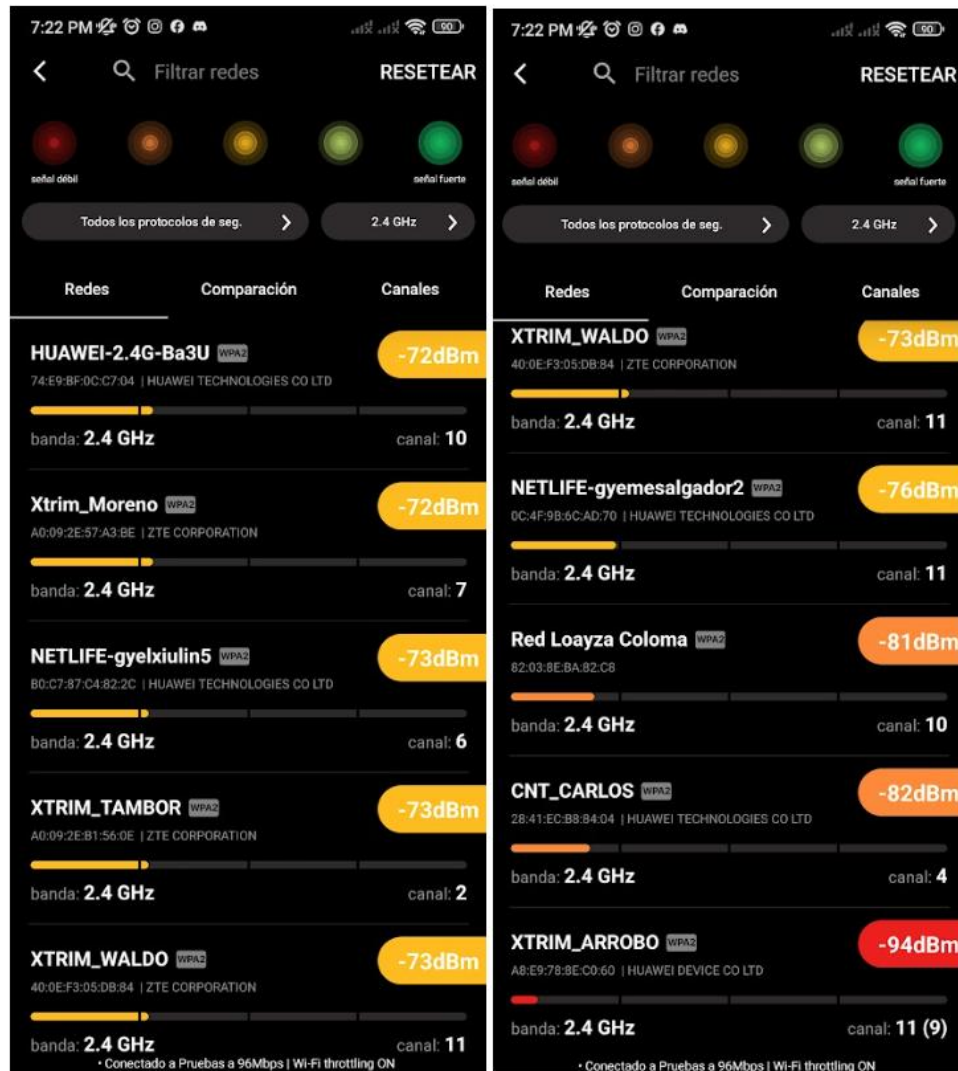
En la Figura 3.45 se evidencia los parámetros técnicos de la red móvil al momento de realizar la medición en el primer punto en este nuevo horario, donde nuevamente predomina la red 5G sin ninguna dificultad, con una potencia mejor que

la tecnología LTE.

3.3.4 Medición en el horario nocturno en la banda de 2.4GHz del segundo punto

Figura 3.46

Listado de redes en la banda de 2.4GHz del segundo punto en horario nocturno



Fuente: Autor

En la Figura 3.46 se observa un aumento de redes visibles en la banda de frecuencia de 2.4GHz en el horario vespertino.

3.3.5 Medición en el horario nocturno en la banda de 5GHz del segundo punto

Figura 3.48

Listado de redes en la banda de 5GHz en el segundo punto en el horario nocturno



Fuente: Autor

En la Figura 3.48 se evidencia un claro aumento de redes visibles, En esta medición observan un aumento de redes a comparación de la banda de frecuencia de 2.4GHz en el horario nocturno

Figura 3.50

Resultados de la latencia en el segundo punto en la banda de 5GHz en el horario nocturno



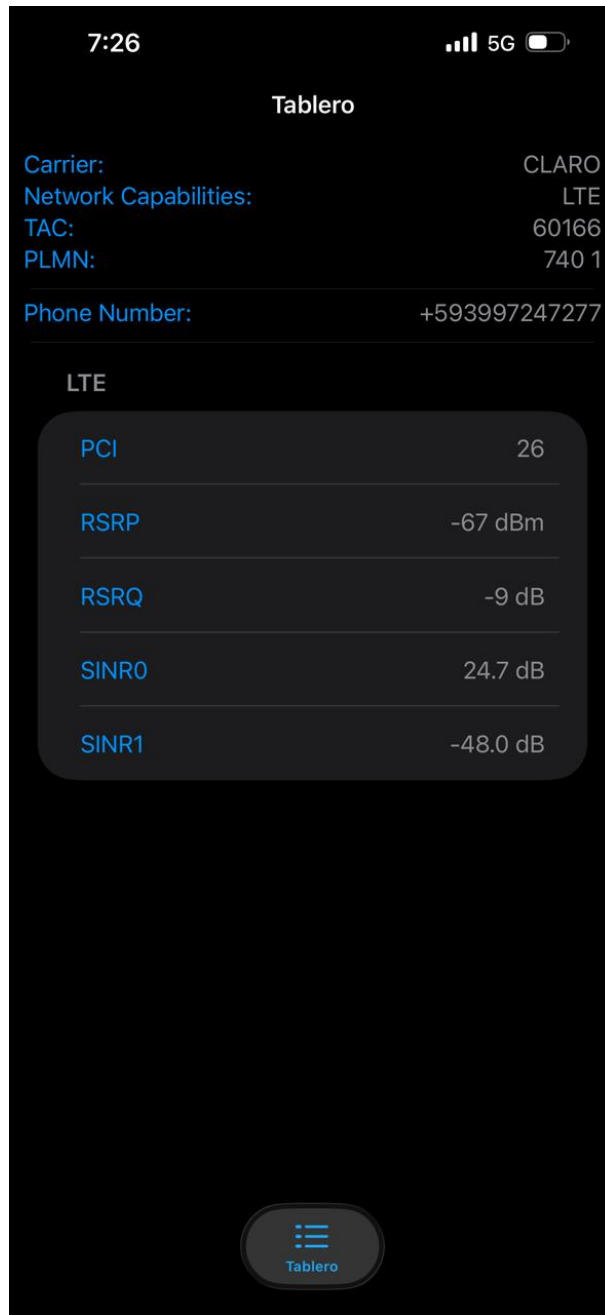
Fuente: Autor

En la Figura 3.50 nuevamente se comprueba la mejoría de estar conectado a la banda de 5GHz, debido a la mejoría de la latencia, mostrando resultados esperables comparados al primer punto, con un mínimo de 83 de milisegundos de latencia y un máximo de 220 milisegundos, siendo este un muy buen resultado dentro de la banda de frecuencia de 5GHz en este horario nocturno.

3.3.6 Medición en el horario nocturno en la red móvil en el segundo punto

Figura 3.51

Parámetros de señal de la red móvil presente en el segundo punto del horario nocturno



Fuente: Autor

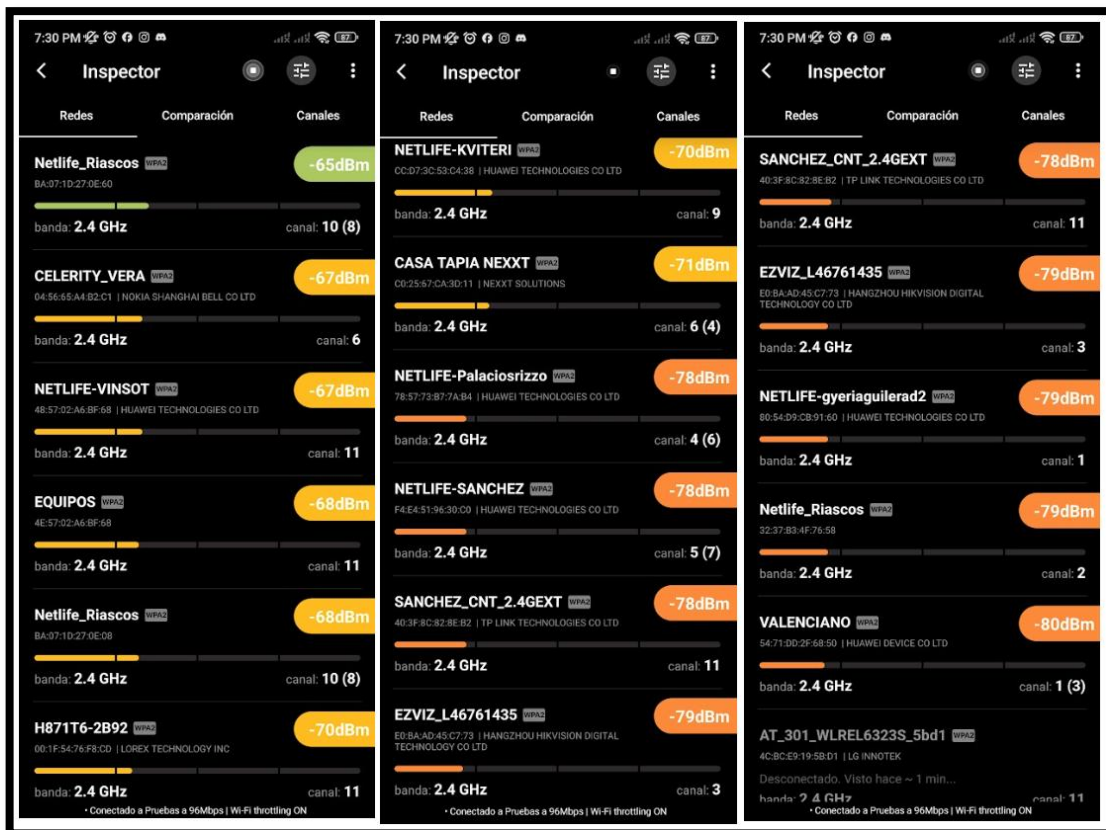
En la Figura 3.51 se observa algo inusual hasta el momento. Se aprecia como hay cobertura de 5G. Sin embargo, en la medición muestra LTE. Esto sucede debido a

la arquitectura implementada por el operador, cambiando dinámicamente la tecnología en función de demanda o tráficos de datos. Si se analizan valores, la tecnología LTE muestra una excelente potencia, incluso mejor que otros puntos usando 5G, es por eso por lo que, en este caso, al no estar condicionado a transmitir muchos datos, la arquitectura no contempla necesario el cambio dinámico a la tecnología 5G.

3.3.7 Medición en el horario nocturno en la banda de 2.4GHz del tercer punto

Figura 3.52

Listado de redes en la banda de 2.4GHz del tercer punto en horario nocturno



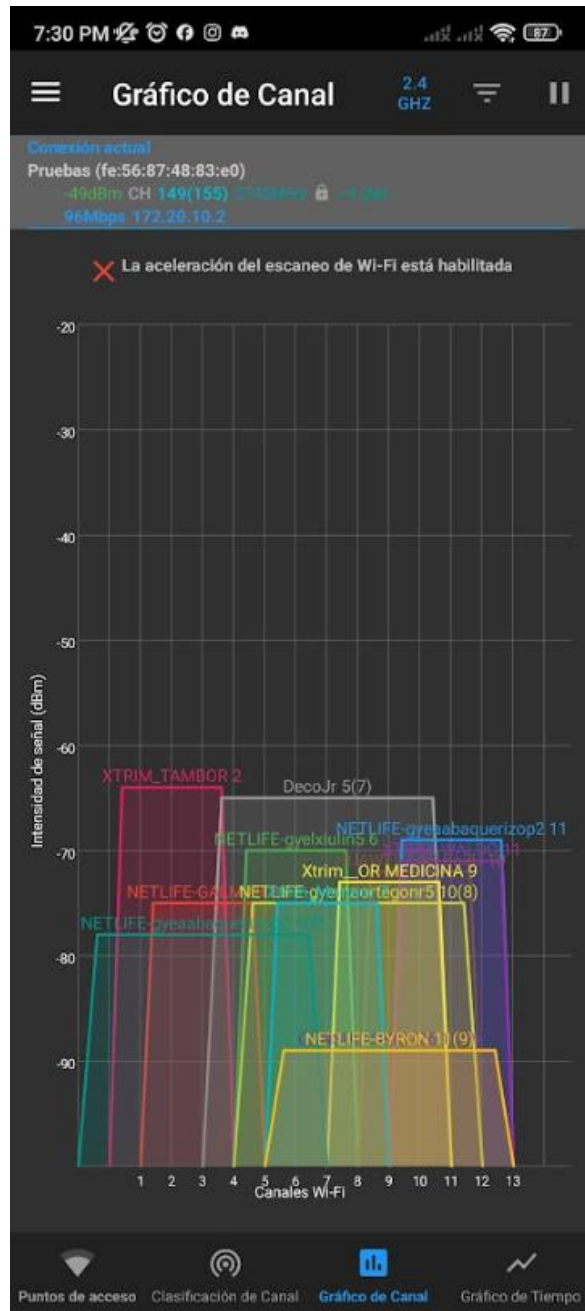
Fuente: Autor

En la Figura 3.52 al igual que en los anteriores puntos, se observan todas las

redes en este tercer punto en la banda de frecuencia de 2.4GHz en el horario nocturno, evidenciando un alto volumen de redes visibles.

Figura 3.53

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 2.4GHz en el tercer punto del horario nocturno.



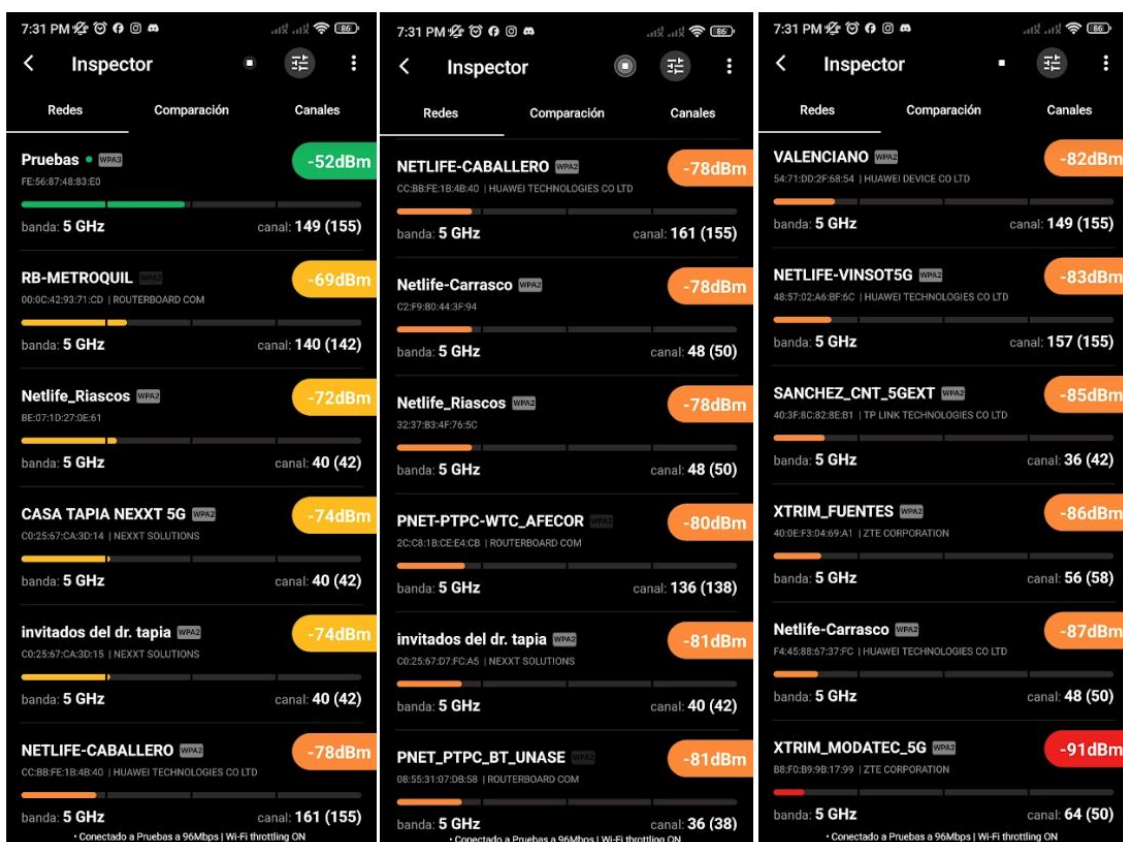
Fuente: Autor

En la Figura 3.53 se evidencia la gráfica del espectro del 2.4GHz en el tercer punto de este horario nocturno estudiado. Para este caso, se observa algunas parejas de redes que se encuentran en el mismo canal, ocasionando intermitencia o lentitud en el servicio de los clientes afectados.

3.3.8 Medición en el horario nocturno en la banda de 5GHz del segundo punto

Figura 3.54

Listado de redes en la banda de 5GHz en el tercer punto en el horario nocturno



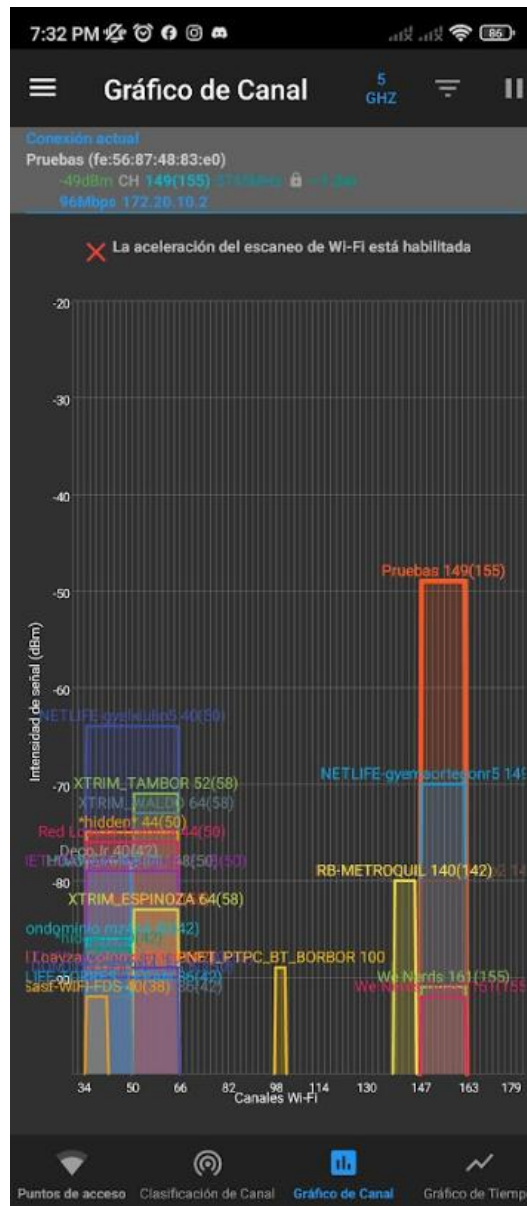
Fuente: Autor

En la Figura 3.54, de una manera predecible ya, se observa una gran cantidad de redes en esta banda de frecuencia de 5GHz en el horario nocturno. En esta medición se evidencia nuevamente una influencia del horario a la hora de realizar la

medición en la banda de 5GHz.

Figura 3.55

Gráfica del espectro radioeléctrico de la banda de 5GHz en el tercer punto en horario nocturno



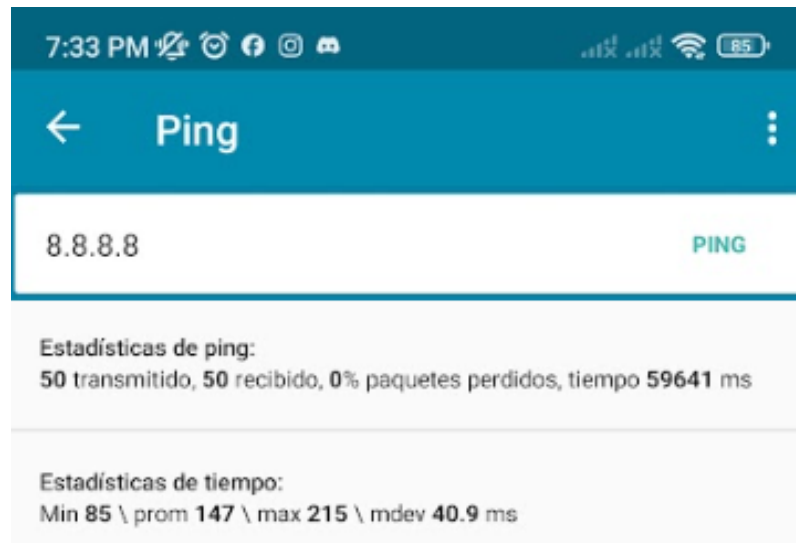
Fuente: Autor

En la Figura 3.55 se evidencia nuevamente un desorden total en los canales ocupados de las redes en las bandas de frecuencia de 5GHz, mostrando claros casos

de saturación en esta banda en este tercer punto de la ciudadela en el horario nocturno.

Figura 3.56

Resultados de la latencia en el tercer punto en la banda de 5GHz en el horario nocturno



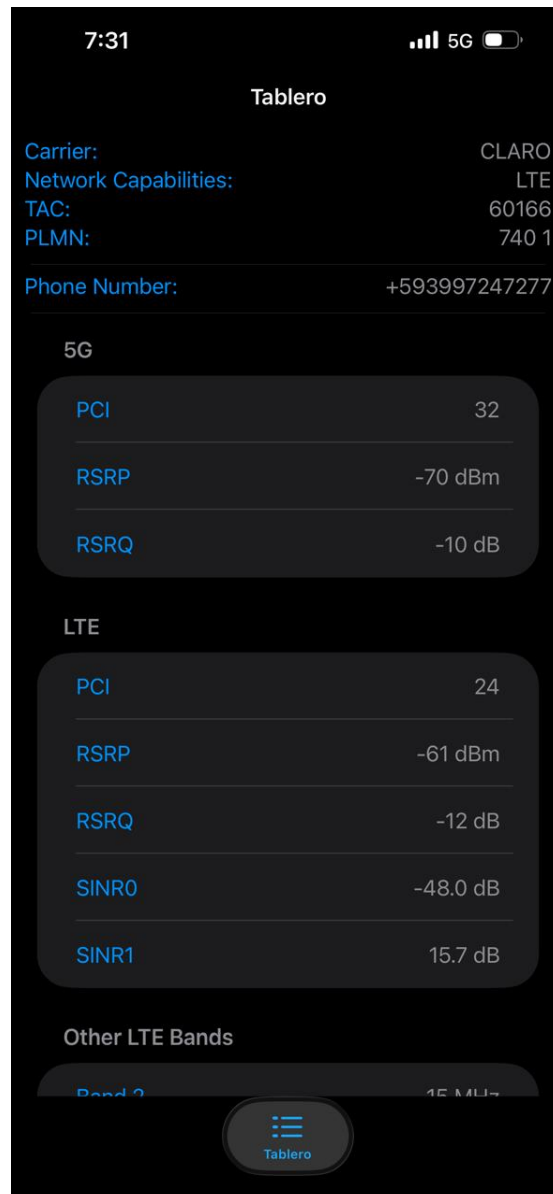
Fuente: Autor

En la Figura 3.56 una vez más se evidencia la superioridad de la banda de frecuencia de 5GHz, mostrando resultados esperables comparados a los anteriores puntos, con un mínimo de 85 de milisegundos de latencia y un máximo de 215 milisegundos, de los mejores resultados a pesar de la alta demanda de esta banda de frecuencia en el horario nocturno.

3.3.9 Medición en el horario nocturno en la red móvil en el tercer punto

Figura 3.57

Parámetros de señal de la red móvil presente en el tercer punto del horario nocturno



Fuente: Autor

En la Figura 3.57 se valida un caso particular, donde la potencia de la tecnología 5G es menor a la LTE. Esto sucede por la arquitectura de la operadora, en la que se cree necesario usar el 5G para la transmisión y recepción de datos debido a

la alta demanda al momento de la medición, a pesar de tener la LTE con mejor potencia.

3.3.10. Medición en el horario nocturno en el cuarto punto de internet

Figura 3.58

Resultados de prueba de velocidad y calidad de servicio en el cuarto punto en el horario nocturno



Fuente: Autor

Se observa la captura correspondiente a los parámetros de prueba de

velocidad y calidad de servicio del cuarto punto del horario nocturno en la Figura 3.58, evidenciando los parámetros importantes para establecer una buena calidad de servicio en el cuarto punto. Como una descripción breve, se tiene la velocidad de transmisión y recepción bastante equilibrados, de igual forma a los horarios anteriores, mostrando una buena capacidad de la red para el intercambio de datos. Sin embargo, se tiene un jitter un poco más simétrico en cuanto a su bajada y subida, pero que igual termina influyendo negativamente en algunas aplicaciones sensibles al retardo; y una pérdida nula de paquetes. En general, la red presenta una muy buena calidad de servicio y estabilidad estructural del enlace, a comparación de los horarios analizados anteriormente, sin tomar en cuenta que la latencia y el jitter presente de alguna u otra forma afectan negativamente al usuario.

CAPITULO 4

Análisis de resultados

En este apartado, se presentan los resultados obtenidos en los tres horarios establecidos: matutino, vespertino y nocturno.

En estas franjas horarias, se tomaron en cuenta análisis de redes inalámbricas en las bandas de frecuencia de 2.4GHz y 5GHz, que fueron enlistadas y se encuentran como evidencia anteriormente, además de la red móvil presente en cada uno de los tres puntos.

Finalmente, se analizó en un cuarto punto la velocidad mediante una prueba de internet, validando la calidad de servicio, analizando las velocidades de subida y bajada, latencia y jitter en cada uno de sus horarios.

Estos resultados, según el horario en el que fueron realizados, se organizarán a continuación.

4.1 Análisis de resultados del horario matutino sobre bandas de frecuencia y redes móviles

Tal y como fue descrito anteriormente, se analizaron las redes en las diferentes bandas de frecuencias de 2.4GHz y 5GHz en tres puntos clave de la ciudadela.

En primer lugar, en la banda de 2.4 GHz se identificaron 10 redes en el primer punto, 13 redes en el segundo punto y 11 redes en el tercer punto.

Como siguiente, en la banda de 5GHz se encontraron 10 redes en el primer punto, 17 redes en el segundo punto y 8 redes en el tercer punto.

Con respecto a la tecnología de red móvil presente, se evidenció una cobertura constante de 5G, con una intensidad de señal promedio de -63.33 dBm.

Todos los datos mencionados, se encuentran resumidos en la Tabla 1 y Tabla 4

Tabla 1

Resultados del horario matutino de bandas de frecuencia y redes móviles

Horario Matutino			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
2.4 GHz	10 redes	13 redes	11 redes
5 GHz	10 redes	17 redes	8 redes
Red móvil	5G (-60 dBm)	5G (-60 dBm)	5G (-70 dBm)

Fuente: Autor

4.2 Análisis de resultados del horario vespertino sobre bandas de frecuencia y redes móviles

Siguiendo el proceso detallado previamente anunciado, se comparten los resultados del horario vespertino de los tres puntos seleccionados.

En primer lugar, en la banda de 2.4 GHz se encontraron 6 redes en el primer punto, 8 redes en el segundo punto y 10 redes en el tercer punto.

A continuación, en la banda de 5GHz se encontraron 13 redes en el primer punto, 21 redes en el segundo punto y 17 redes en el tercer punto. Un aumento significativo en cuanto a redes comparado con el primer horario.

Sobre la tecnología de red móvil presente, se evidenció una cobertura constante de 5G, con una intensidad de señal promedio de -77.33 dBm.

Todos los datos mencionados, se encuentran resumidos en la Tabla 2 y Tabla 4.

Tabla 2

Resultados del horario vespertino de bandas de frecuencia y redes móviles

Horario Vespertino			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
2.4 GHz	6 redes	8 redes	10 redes
5 GHz	13 redes	21 redes	17 redes
Red móvil	5G (-80dBm)	5G (-76dBm)	5G (-76dBm)

Nota: Elaboración propia de autor

4.3 Análisis de resultados del horario nocturno sobre bandas de frecuencia y redes móviles

Para finalizar este apartado, se analizan los datos recopilados en la franja horaria nocturna en los tres puntos seleccionados.

En la banda de 2.4 GHz se hallaron 9 redes en el primer punto, 9 redes en el segundo punto y 15 redes en el tercer punto.

Luego, en la banda de 5GHz se evidenciaron 10 redes en el primer punto, 16 redes en el segundo punto y 17 redes en el tercer punto. De igual forma, un gran número de redes visibles.

Ahora hablando de red móvil presente, se evidenció una cobertura de 5G y LTE, con una intensidad de señal promedio de -72.33 dBm.

Todos los datos mencionados, se muestran resumidos en la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3

Resultados del horario nocturno de bandas de frecuencia y redes móviles

Horario Nocturno			
	Punto 1	Punto 2	Punto 3
2.4 GHz	9 redes	9 redes	15 redes
5 GHz	10 redes	16 redes	17 redes
Red móvil	5G (-80dBm)	LTE (-67dBm)	5G (-70dBm)

Fuente: Autor

4.4 Análisis de resultados de test de velocidad del cuarto punto.

Para finalizar el apartado de análisis, se analizaron parámetros para determinar la calidad de servicio mediante una prueba de internet en el cuarto punto.

Los resultados fueron los siguientes:

En la franja horaria matutina, la prueba de velocidad realizada durante este horario en el cuarto punto indicó una velocidad de bajada de 56.8 Mbps y una velocidad de subida de 73.4 Mbps, con una latencia de 99 ms y un jitter de 48 ms y sin pérdida de paquetes. Fueron datos normales como primera muestra en esta franja horaria.

Como siguiente, en el horario vespertino, la prueba de velocidad realizada durante este horario en el cuarto punto mostró una velocidad de bajada de 77.5 Mbps y una velocidad de subida de 92.6 Mbps, con una latencia de 49 ms y un jitter de 32 ms y sin pérdida de paquetes. Este horario presentó el mejor rendimiento a comparación del matutino y del nocturno, con una mejor estabilidad de red con su

latencia y jitter mejor a los otros dos.

Y para finalizar la franja horaria nocturna, la prueba de velocidad hecha durante este horario en el cuarto punto, se evidenció una velocidad de bajada de 80.4 Mbps y una velocidad de subida de 93.3 Mbps, con una latencia de 133 ms y un jitter de 45 ms y sin pérdida de paquetes. Esta franja horaria fue superior en valores de velocidad, pero no en términos de estabilidad, debido a que tuvo una latencia y jitter más elevado que los otros dos horarios analizados. Estos datos se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados de test de velocidad en todos los horarios analizados

Fuente: Autor

Test de Velocidad (Cuarto punto)					
	Bajada (Mbps)	Subida (Mbps)	Latencia (ms)	Jitter (ms)	Pérdida de Paquetes (%)
Horario matutino	56.8 Mbps	73.4 Mbps	99 ms	48 ms	0%
Horario vespertino	77.5 Mbps	92.6 Mbps	49 ms	32 ms	0%
Horario nocturno	80.4 Mbps	93.3 Mbps	133 ms	45 ms	0%

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones

A partir del análisis realizado durante los tres horarios: matutino, vespertino y nocturno, en los tres diferentes puntos de la ciudadela, se comprobó que la cantidad de redes inalámbricas visibles varían según el horario, cambiando drásticamente entre el horario matutino y el nocturno.

Así mismo, se evidenció mediante el análisis que la banda de 2.4GHz es una banda muy utilizada en la ciudadela Las Garzas. Por otro lado, la banda de 5GHz tuvo incluso una mayor demanda en cuanto al espectro radioeléctrico, debido a que se vio un aumento significativo de redes detectadas, en especial en el horario vespertino, por lo que se concluye que hay una mayor preferencia de adopción de la banda de 5GHz que la de 2.4GHz.

En el tema de la red móvil, se presencié una casi constante presencia de cobertura de red 5G, esto debido a la operadora utilizada y a su infraestructura actualizada, permitiendo gozar de las ventajas de esta tecnología. A pesar de que en el horario nocturno se notaron fluctuaciones en cuanto a esta banda, debido a que en un punto se obtuvo como preferencia la tecnología LTE, se concluye que en el horario nocturno hay una mayor fluctuación en la conectividad móvil dependiendo de la ubicación y momento del día.

Como siguiente, sobre las pruebas de velocidad realizadas durante los tres horarios establecidos en el cuarto punto, se determinó que el horario vespertino tuvo mayor estabilidad, debido a sus bajos niveles de latencia y jitter a comparación de los

dos horarios restantes, aunque en temas de velocidad, sin duda el horario nocturno tuvo mejores números de velocidad, pero debido a su latencia y jitter más elevados, puede presentar problemas en algunas aplicaciones más demandantes que requieran baja respuesta en tiempo real.

En síntesis, se concluye que el espectro radioeléctrico y la red móvil fluctúa mucho dependiendo de la hora del día y de la ubicación. Pero, en definitiva, el horario vespertino fue el horario más equilibrado en cuanto a redes detectadas, velocidades, y rendimiento en general en la ciudadela Las Garzas, en la ciudad de Guayaquil.

5.2 Recomendaciones

En correspondencia a todos los resultados obtenidos, se recomienda:

- Priorizar el uso de la banda de 5 GHz cuando se requiera mayor estabilidad y menor interferencia.
- Realizar monitoreos periódicos de la red en diferentes horarios para identificar posibles variaciones en la calidad del servicio.
- Optimizar la ubicación de dispositivos y puntos de acceso para mejorar la intensidad de señal móvil en áreas donde se evidenciaron valores más bajos.
- Considerar estudios adicionales que incluyan análisis de interferencia y ocupación de canales para una evaluación más profunda del entorno inalámbrico.

BIBLIOGRAFÍA

- 3rd Generation Partnership Project. (2023). *Release 17 description; Summary of Release 17 work items* (3GPP TR 21.917). <https://www.3gpp.org/>
- Alao, O. J., Titus Adediji, A., Ojo, J. S., & Ewetumo, T. (2024). Performance analysis of Quadrifilar helical antenna: A comprehensive survey. *International Journal of Applied Science and Research*, 07(05), 155–167. <https://doi.org/10.56293/ijasr.2024.6121>
- Apaza–Panca, C. Z., Apaza–Apaza, S., & Apaza–Panca, C. M. (2020). Saturamiento del espectro electromagnético de la red inalámbrica WI–FI IEEE 802.11 b/g en la banda 2.4 GHz, Puno, Perú. *Dominio De Las Ciencias*, 6(3), 905–919. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i3.1438>
- Armas, E., Wescott, C., Dellinger, W., Patel, N., Roshi, D. A., Burrett, M., Liu, W., Werthimer, D., & Rodríguez–Solís, R. A. (2025). High–dynamic range radio astronomy systems, interference mitigation strategies, and a test setup for experimenting dynamic spectrum sharing. *2025 United States National Committee of URSI National Radio Science Meeting (USNC–URSI NRSM)*, 124–125.
- Bandewar, S., & Chaudhary, V. S. (2023). Design and analysis of smart antenna for mobile application. *SAMRIDDHI A Journal of Physical Sciences Engineering and Technology*, 15(01), 139–147. <https://doi.org/10.18090/10.18090/samriddhi.v15i01.19>
- Briceño, L. (2025, noviembre 6). *La evolución del consumo de datos móviles en Ecuador: proyecciones para 2030*. Expreso. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/la-evolucion-del-consumo-de-datos-moviles-en-ecuador-proyecciones-para-2030-263493.html>
- Celaya–Echarri, M., Azpilicueta, L., Ramos, V., Lopez–Iturri, P., & Falcone, F. (2021). Empirical and modeling approach for environmental indoor RF–EMF assessment in complex high–node density scenarios: Public shopping malls case study. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 9, 46755–46775. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3067852>
- Chancay, E., Montaña, M., Alvarez, M. A., & Novillo, F. (2024). Evaluación de Interferencias en Escenarios Urbanos Interiores en Bandas Inferiores a 6 GHz. *Revista Tecnológica – ESPOL*, 36(1), 44–56. <https://doi.org/10.37815/rte.v36n1.1178>
- Cisco Systems. (2023). *Annual internet report (2018–2023) white paper*. Cisco. <https://www.cisco.com/>
- Erunkulu, O. O., Zungeru, A. M., Lebekwe, C. K., Mosalaosi, M., & Chuma, J. M. (2021). 5G mobile communication applications: A survey and comparison of use cases. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 9, 97251–97295. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3093213>
- Gharode, D., Nella, A., & Rajagopal, M. (2021). State-of-art design aspects of wearable, mobile, and flexible antennas for modern communication wireless systems. *International Journal of Communication Systems*, 34(15).

- <https://doi.org/10.1002/dac.4934>
- Girmay, M., Shahid, A., Maglogiannis, V., Naudts, D., & Moerman, I. (2021). Machine learning enabled Wi-fi saturation sensing for fair coexistence in unlicensed spectrum. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, 9, 42959–42974. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3066052>
- Guan, K., Keusgen, W., Fan, W., Briso, C., & Sun, B. (2023). Guest Editorial: Antennas and propagation at millimetre, sub-millimetre wave and terahertz bands. *IET Microwaves Antennas & Propagation*, 17(6), 415–418. <https://doi.org/10.1049/mia2.12374>
- Herschfelt, A., Chiriyath, A. R., Srinivas, S., & Bliss, D. W. (2021). An introduction to spectral convergence: Challenges and paths to solutions. In Proceedings of the 2021 1st IEEE International Online Symposium on Joint Communications and Sensing (JC and S 2021) (Article 9376388). IEEE. <https://doi.org/10.1109/JCS52304.2021.9376388>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2024). *IEEE 802.11™ wireless LAN standards*. IEEE Standards Association. <https://standards.ieee.org/ieee/802.11/7028/>
- Kang, S., Mezzavilla, M., Rangan, S., Madanayake, A., Venkatakrisnan, S. B., Hellbourg, G., Ghosh, M., Rahmani, H., & Dhananjay, A. (2024). Cellular wireless networks in the upper mid-band. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/ojcoms.2024.3373368>
- Kozłowski, S., & Kurek, K. (2022). Daily changes in channel occupancy in the 868 MHz ISM band. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 22(24), 9928. <https://doi.org/10.3390/s22249928>
- Kukereit, S. (2024, septiembre 5). *¿Por qué utilizar ZigBee para la iluminación inteligente?* skapetze® – Licht trifft Design. <https://skapetze.com/es/blogs/noticias/por-que-utilizar-zigbee-para-la-iluminacion-inteligente?srsId=AfmBOoq-722Lpg1fQxxakZ99xQhMiEjWNREHM7DRcs3tZX7WmnsydjD>
- Lakouismi, C., Ouamna, H., Madini, Z., & Zouine, Y. (2024). Review of dynamic spectrum sharing: Techniques and challenges. *2024 10th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*, 1–5.
- Makled, E. A., Al-Habob, A. A., Dobre, O. A., & Ureten, O. (2021). Detection and identification of mobile network signals. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1–4. <https://doi.org/10.1109/tim.2021.3108217>
- Munizaga, J. (2024, septiembre 5). *Infografía: Promedio de espectro asignado en América Latina alcanzó 544,1 MHz en la primera mitad de 2024*. Pisapapeles. <https://pisapapeles.net/infografia-promedio-de-espectro-asignado-en-america-latina-alcanzo-5441-mhz-en-la-primera-mitad-de-2024>
- Mutanga, O., Masenyama, A., & Sibanda, M. (2023). Spectral saturation in the remote sensing of high-density vegetation traits: A systematic review of progress, challenges, and prospects. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote*

- Sensing: Official Publication of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), 198, 297-309.*
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.03.010>
- Negrin, A. (2025, November 4). Just released: Bluetooth® Core 6.2. Bluetooth SIG.
<https://www.bluetooth.com/blog/just-released-bluetooth-core-6-2/>
- Pasarelska, T. (2024). Analysis of radio frequency spectrum planning and allocation for the deployment of new modern broadband networks and technologies. *Yearbook Telecommunications, 10*, 79-88.
<https://doi.org/10.33919/ytelecomm.23.10.8>
- Polese, M., Cantos-Roman, X., Singh, A., Marcus, M. J., Maccarone, T. J., Melodia, T., & Jornet, J. M. (2023). Coexistence and spectrum sharing above 100 GHz. *Proceedings of the IEEE. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 111*(8), 928-954. <https://doi.org/10.1109/jproc.2023.3286172>
- ¿Qué es la saturación de red? - Conecttic. (2022, julio 4). Conecttic.net,
<https://www.conecttic.net/2022/07/04/saturacion-de-red/>
- ¿Qué es la tecnología móvil? (2025, diciembre 1). *Ibm.com*.
<https://www.ibm.com/mx-es/think/topics/mobile-technology>
- Robinson, S., & Goad, M. (2025, julio 24). *What is a Mobile Operating System?* Search Mobile Computing; TechTarget.
<https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/mobile-operating-system>
- Sufyan, A., Khan, K. B., Khashan, O. A., Mir, T., & Mir, U. (2023). From 5G to beyond 5G: A comprehensive survey of wireless network evolution, challenges, and promising technologies. *Electronics, 12*(10), 2200.
<https://doi.org/10.3390/electronics12102200>
- Yuste, A. P., Llumiquinga Pachacama, J., & García, J. S. (2023). Characterization of the 2.4 GHz-band using a semiempirical model and a ray tracing model. *2023 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (CAMA)*, 1041-1046.



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Muñoz González Andrés Fidel** con C.C: # **0706825106** autor del trabajo de titulación: **Análisis y caracterización de la saturación espectral en bandas ISM y de servicios móviles en la Ciudadela Las Garzas, Guayaquil** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 03 de marzo de 2026

f. _____

Muñoz González, Andrés Fidel

C.C: 0706825106

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Análisis y caracterización de la saturación espectral en bandas ISM y de servicios móviles en la Ciudadela Las Garzas, Guayaquil		
AUTOR(ES)	Muñoz González, Andrés Fidel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing, Heras Sánchez, Miguel Armando, MsC.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	03 de marzo del 2026	No. DE PÁGINAS:	91
ÁREAS TEMÁTICAS:	Bandas de frecuencia, Saturación espectral, Redes móviles		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Saturación espectral, Redes móviles, Espectro radioeléctrico, Congestión, Eficiencia espectral, Calidad de servicio.		

RESUMEN/ABSTRACT

La creciente demanda del espectro radioeléctrico, provocada por el aumento sostenido del tráfico de datos y la expansión de los dispositivos inalámbricos, ha causado situaciones de congestión en redes móviles. Esta investigación examina la ocupación espectral en diferentes bandas de frecuencia empleadas por sistemas de comunicación móvil, con el fin de determinar los grados de saturación y cómo afecta esto a la calidad del servicio. La metodología se basó en la recolección de datos de campo en distintos lugares y horarios, tomando en cuenta factores tales como variaciones temporales del tráfico, amplitud del ancho de banda utilizado e intensidad de señal. Los datos adquiridos se analizaron de manera comparativa para detectar patrones de comportamiento espectral y variaciones en la eficacia según la banda analizada.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-997247277	E-mail: andres.munoz04@cu.ucsg.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier, MsC	
COORDINADOR DEL PROCESO UTE	Teléfono: +593-999528515	
	E-mail: ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	