



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos**

**Naturales no Renovables**

**Carrera de Telecomunicaciones**

**Estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas ISM  
(Industrial, Scientific and Medical) para redes LPWAN (Low Power Wide  
Area Network) con visión a la transformación de Loja como ciudad  
inteligente**

**Trabajo de Integración curricular,  
previo a la obtención del título de  
Ingeniero en Telecomunicaciones**

**AUTORES:**

Marco Vinicio Ordoñez Cabrera

**DIRECTOR:**

Ing. Andy Fabricio Vega León, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2025

## **Certificación**

Loja, 26 de abril del 2025

Ing. Andy Fabricio Vega León, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) con visión a la transformación de Loja como ciudad inteligente**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Marco Vinicio Ordoñez Cabrera**, con cédula de identidad Nro. **1150133385**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Andy Fabricio Vega León, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **Autoría**

Yo, **Marco Vinicio Ordoñez Cabrera**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**



**Cedula de identidad:**1150133385

**Fecha:** 17 de abril del 2025

**Correo electrónico:** [marco.ordonez@unl.edu.ec](mailto:marco.ordonez@unl.edu.ec)

**Celular:** 0979977061

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular.**

Yo, Marco Vinicio Ordoñez Cabrera, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas ISM (industrial, scientific and medical) para redes LPWAN (low power wide area network) con visión a la transformación de Loja como ciudad inteligente**, como requisito para optar al título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, lo suscribo en la ciudad de Loja, a los veintiún días del mes de octubre de dos mil veinticinco.

**Firma:**



**Autor:** Marco Vinicio Ordoñez Cabrera

**Cedula de identidad:** 1150133385

**Dirección:** Vía antigua a Cuenca km 11.5, sector el Chirimoyo.

**Correo electrónico:** [marco.ordonez@unl.edu.ec](mailto:marco.ordonez@unl.edu.ec)

**Celular:** 0979977061

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Integración Curricular:**

Ing. Andy Fabricio Vega León, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

*Con un profundo agradecimiento, el presente trabajo de integración curricular está dedicado a mi familia, cuyo apoyo a sido un pilar fundamental en cada paso de este camino, permitiéndome superar desafíos, alcanzar mis objetivos y metas.*

*De manera especial a mi madre, Alba Delicia Cabrera Morocho, una mujer trabajadora y valiente, cuyo amor no conoce límites, que a pesar de las dificultades nunca se rindió, ni nos soltó la mano, nos enseñaste el valor del esfuerzo y a ser personas integra, tu incansable lucha y tu ejemplo de vida, nos han formado en las personas que somos.*

*Hoy, con este logro, quiero decirte que cada sacrificio valió la pena, que todo tu esfuerzo se refleja en cada paso que doy. Madre, te debo tanto que no hay palabras suficientes para expresarlo, pero quiero que sepas que este triunfo también es tuyo. Gracias por ser mi mayor ejemplo de lucha, resiliencia y amor.*

*A mis hermanos Ángel, Magaly y Diego, personas importantes en mi vida. Gracias por todo lo que han hecho por mí.*

*A los compañeros, amigos y personas que han formado parte de toda esta travesía, quedaran gradados en mi memoria.*

**Marco Vinicio Ordoñez Cabrera**

## **Agradecimiento**

*En primera instancia, agradezco a Dios por brindarme salud y bienestar, permitiéndome cumplir mis objetivos y metas académicas.*

*A la Universidad Nacional de Loja, específicamente a la Facultad de Energía y los Recursos Naturales no Renovables y a la carrera de ingeniería en Telecomunicaciones, a sus directivos y planta docente por compartir sus conocimientos y contribuir de manera significativa en mi formación profesional.*

*Un especial agradecimiento a mi director del Trabajo de Integración Curricular, Ing. Andy Fabricio Vega León, Mg. Sc. por su invaluable apoyo académico, su disposición y orientaciones han sido guía fundamental para llevar con éxito el desarrollo y culminación del presente trabajo,*

*Agradezco también a la empresa CNT-EP Loja por su colaboración y por facilitar los implementos requeridos para la elaboración del presente estudio.*

*Finalmente, extiendo un profundo agradecimiento a mi madre y hermanos, quienes estuvieron presentes de una u otra forma en cada etapa de mi vida académica, a mis amigos, por su compañía, palabras de aliento y momentos inolvidables.*

**Marco Vinicio Ordoñez Cabrera**

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de Tablas: .....	x
Índice de Figuras:.....	xi
Índice de Anexos: .....	xvi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Espectro radioeléctrico .....	6
4.2. Gestión del espectro radioeléctrico.....	7
4.2.1. Fines y objetivos de la gestión nacional del espectro radioeléctrico .....	8
4.2.2. Clasificación del espectro radioeléctrico .....	10
4.3. Bandas ISM .....	11
4.3.1. Asignación de frecuencias de las bandas ISM .....	11
1.1.1.1. Banda de 915 MHz. ....	12
1.1.1.2. Banda de 2.4GHz.....	13
4.4. Tecnologías emergentes.....	14
4.4.1. Inteligencia artificial .....	14
4.4.2. Internet de las cosas .....	14
4.4.3. Internet de los servicios.....	14
4.4.4. Internet de los cuerpos .....	15
4.4.5. Blockchain .....	15
4.5. Red de área amplia de bajo consumo (LPWAN).....	15

4.5.1. Características .....	15
4.5.2. Tecnologías LPWAN .....	16
4.6. ¿Cómo las tecnologías emergentes aportan al desarrollo de Smart Cities?.....	18
4.7. Smart City .....	19
4.7.1. Características .....	19
4.8. Loja en el contexto de las Smart Cities .....	21
<b>5. Metodología .....</b>	<b>23</b>
5.1. Procedimiento general. ....	23
5.2. Recursos metodológicos .....	24
5.3. Recursos técnicos.....	25
5.4. Procedimiento .....	26
5.4.1. Selección de dispositivos .....	26
5.4.1.1. Analizador de espectro.....	26
5.4.1.2. Antena.....	28
5.4.1.3. Tipo de cable.....	30
5.4.1.4. Unidad de procesamiento externo.....	32
5.4.1.5. Cable adaptador USB a SERIE.....	33
5.4.2. Proceso de evaluación .....	34
5.4.2.1. Área de estudio .....	34
5.4.2.2. Verificación operativa y manipulación de equipos y accesorios.....	35
5.4.2.3. Diagrama de la arquitectura del sistema .....	38
5.4.2.4. Zona de medición.....	38
5.4.2.5. Duración de la observación.....	47
5.4.2.6. Número de muestras .....	47
5.4.2.7. Tiempo de iteración .....	48
5.4.2.8. Tiempo de medición de muestra ( <i>TM</i> ) .....	49
5.4.2.9. Tiempo de observación ( <i>TObs</i> ) .....	49
5.4.2.10. Selectividad.....	50
5.4.2.11. Margen dinámico .....	50
5.4.2.12. Umbral .....	51
5.5. Procesamiento y análisis de datos.....	52
5.5.1. Procesamiento de los datos .....	53

5.5.2. Análisis de datos .....	54
5.5.2.1. Ocupación del canal de frecuencia .....	54
5.5.2.2. Ocupación de la banda de frecuencia.....	55
<b>6. Resultados.....</b>	<b>56</b>
6.1. Resultados de la investigación sobre el uso del espectro radioeléctrico para tecnologías emergentes en Loja .....	56
6.2. Resultados de la evaluación espectral.....	59
6.2.1. Espectrogramas por zonas de medición. ....	59
6.3. Resultados de ocupación del espectro radioeléctrico .....	91
6.3.1. Ocupación por canal en cada zona de medición .....	91
6.3.2. Ocupación por canal en el área de estudio .....	107
6.3.3. Ocupación por banda en cada zona de medición .....	110
6.3.4. Ocupación espectral usada en el área de estudio. ....	113
6.4. Desarrollo de la página WEB .....	115
<b>7. Discusión .....</b>	<b>121</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>123</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>124</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>125</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>131</b>

## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Distribución del espectro radioeléctrico .....	6
<b>Tabla 2.</b> Parámetros a considerar de un analizador de espectro.....	26
<b>Tabla 3.</b> Valoración de criterios para la selección de equipo.....	28
<b>Tabla 4.</b> Características de la antena.....	28
<b>Tabla 5.</b> Valoración de criterios para la selección de la antena .....	30
<b>Tabla 6.</b> Características de los cables de radiofrecuencia.....	30
<b>Tabla 7.</b> Valoración de criterios para la selección del cable.....	32
<b>Tabla 8.</b> Parámetros usados en el presupuesto del enlace.....	40
<b>Tabla 9.</b> Parámetros considerados en las pérdidas por efecto de los edificios.....	41
<b>Tabla 10.</b> Parámetros a considerar en las pérdidas de propagación en 915MHz.....	41
<b>Tabla 11.</b> Pérdidas de propagación en la banda 915MHz al iterar con diferentes distancias .	42
<b>Tabla 12.</b> Parámetros a considerar en las pérdidas de propagación en 2.4GHz .....	42
<b>Tabla 13.</b> Pérdidas de propagación en la banda 2.4GHz al iterar con diferentes distancias...	43
<b>Tabla 14.</b> Coordenadas de las zonas de medición en la banda 915MHz .....	44
<b>Tabla 15.</b> Coordenadas de las zonas de medición en la banda 2.4GHz.....	45
<b>Tabla 16.</b> Tiempo de observación en cada banda .....	49
<b>Tabla 17.</b> Ancho de banda de resolución para cada banda .....	50
<b>Tabla 18.</b> Margen dinámico para cada banda .....	50
<b>Tabla 19.</b> Parámetros de configuración del analizador de espectro.....	53
<b>Tabla 20.</b> Ocupación por canal en el área de estudio – banda de análisis 915 MHz .....	107
<b>Tabla 21.</b> Ocupación por canal en el área de estudio – banda de análisis 2.4 GHz.....	109
<b>Tabla 22.</b> Nivel porcentual del ancho de banda – banda de análisis 915MHz .....	110
<b>Tabla 23.</b> Nivel porcentual del ancho de banda – banda de análisis 2.4GHz.....	111
<b>Tabla 24.</b> Ocupación total en el área de estudio – banda de análisis 915 MHz.....	113
<b>Tabla 25.</b> Ocupación total en el área de estudio – banda de análisis 2.4 GHz.....	113

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> Instituciones encargadas de la normalización internacional. ....	8
<b>Figura 2.</b> Regulación jerárquica del espectro radioeléctrico.....	9
<b>Figura 3.</b> División del espectro-perspectiva regulatoria. ....	11
<b>Figura 4.</b> División del planeta en las tres regiones. ....	12
<b>Figura 5.</b> Dimensiones de la ciudad inteligente.....	20
<b>Figura 6.</b> Microsoft Windows XP.....	33
<b>Figura 7.</b> Pines del cable Null-Modem.....	33
<b>Figura 8.</b> RS232 db9 - Null-Modem.....	34
<b>Figura 9.</b> Delimitación geográfica del casco urbano central.....	35
<b>Figura 10.</b> Elementos que comprenden el sistema.....	35
<b>Figura 11.</b> Conexiones de la antena y del analizador de espectro.....	36
<b>Figura 12.</b> Configuración del programa HHTS.....	36
<b>Figura 13.</b> Conexión del MT8212B y la computadora.....	37
<b>Figura 14.</b> Instalación de equipos y monitoreo experimental del espectro.....	37
<b>Figura 15.</b> Arquitectura del sistema de monitoreo.....	38
<b>Figura 16.</b> Puntos de medición de la banda 915MHz.....	43
<b>Figura 17.</b> Puntos de medición de la banda 2.4GHz (punto 1 – 21).....	45
<b>Figura 18.</b> Puntos de medición de la banda 2.4GHz (punto 22 – 24).....	45
<b>Figura 19.</b> lampara LED con sistema LoRaWAN.....	56
<b>Figura 20.</b> Cobertura Sigfox en Loja.....	57
<b>Figura 21.</b> Ubicaciones de Gateways LoRaWAN en la ciudad de Loja.....	58
<b>Figura 22.</b> Redes Wi-Fi en el parque central.....	59
<b>Figura 23.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 1 -banda de análisis 915MHz.....	60
<b>Figura 24.</b> Diagrama de dispersión del punto 1 -banda de análisis 915MHz.....	60
<b>Figura 25.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 2 -banda de análisis 915MHz.....	61

<b>Figura 26.</b> Diagrama de dispersión del punto 2 -banda de análisis 915MHz .....	61
<b>Figura 27.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 3 -banda de análisis 915MHz .....	62
<b>Figura 28.</b> Diagrama de dispersión del punto 3 -banda de análisis 915MHz .....	62
<b>Figura 29.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 4 -banda de análisis 915MHz .....	63
<b>Figura 30.</b> Diagrama de dispersión del punto 4 -banda de análisis 915MHz .....	63
<b>Figura 31.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 5 -banda de análisis 915MHz .....	64
<b>Figura 32.</b> Diagrama de dispersión del punto 5 -banda de análisis 915MHz .....	64
<b>Figura 33.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 6 -banda de análisis 915MHz .....	65
<b>Figura 34.</b> Diagrama de dispersión del punto 6 -banda de análisis 915MHz .....	65
<b>Figura 35.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 7 -banda de análisis 915MHz .....	66
<b>Figura 36.</b> Diagrama de dispersión del punto 7 -banda de análisis 915MHz .....	66
<b>Figura 37.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 1 -banda de análisis 2.4GHz .....	67
<b>Figura 38.</b> Diagrama de dispersión del punto 1 -banda de análisis 2.4GHz.....	67
<b>Figura 39.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 2 -banda de análisis 2.4GHz .....	68
<b>Figura 40.</b> Diagrama de dispersión del punto 2 -banda de análisis 2.4GHz.....	68
<b>Figura 41.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 3 -banda de análisis 2.4GHz .....	69
<b>Figura 42.</b> Diagrama de dispersión del punto 3 -banda de análisis 2.4GHz.....	69
<b>Figura 43.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 4 -banda de análisis 2.4GHz .....	70
<b>Figura 44.</b> Diagrama de dispersión del punto 4 -banda de análisis 2.4GHz.....	70
<b>Figura 45.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 5 -banda de análisis 2.4GHz .....	71
<b>Figura 46.</b> Diagrama de dispersión del punto 5 -banda de análisis 2.4GHz.....	71
<b>Figura 47.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 6 -banda de análisis 2.4GHz .....	72
<b>Figura 48.</b> Diagrama de dispersión del punto 6 -banda de análisis 2.4GHz.....	72
<b>Figura 49.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 7 -banda de análisis 2.4GHz .....	73
<b>Figura 50.</b> Diagrama de dispersión del punto 7 -banda de análisis 2.4GHz.....	73
<b>Figura 51.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 8 -banda de análisis 2.4GHz .....	74

<b>Figura 52.</b> Diagrama de dispersión del punto 8 -banda de análisis 2.4GHz.....	74
<b>Figura 53.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 9 -banda de análisis 2.4GHz .....	75
<b>Figura 54.</b> Diagrama de dispersión del punto 9 -banda de análisis 2.4GHz.....	75
<b>Figura 55.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 10 -banda de análisis 2.4GHz .....	76
<b>Figura 56.</b> Diagrama de dispersión del punto 10 -banda de análisis 2.4GHz.....	76
<b>Figura 57.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 11 -banda de análisis 2.4GHz .....	77
<b>Figura 58.</b> Diagrama de dispersión del punto 11 -banda de análisis 2.4GHz.....	77
<b>Figura 59.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 12 -banda de análisis 2.4GHz .....	78
<b>Figura 60.</b> Diagrama de dispersión del punto 12 -banda de análisis 2.4GHz.....	78
<b>Figura 61.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 13 -banda de análisis 2.4GHz .....	79
<b>Figura 62.</b> Diagrama de dispersión del punto 13 -banda de análisis 2.4GHz.....	79
<b>Figura 63.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 14 -banda de análisis 2.4GHz .....	80
<b>Figura 64.</b> Diagrama de dispersión del punto 14 -banda de análisis 2.4GHz.....	80
<b>Figura 65.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 15 -banda de análisis 2.4GHz .....	81
<b>Figura 66.</b> Diagrama de dispersión del punto 15 -banda de análisis 2.4GHz.....	81
<b>Figura 67.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 16 -banda de análisis 2.4GHz .....	82
<b>Figura 68.</b> Diagrama de dispersión del punto 16 -banda de análisis 2.4GHz.....	82
<b>Figura 69.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 17 -banda de análisis 2.4GHz .....	83
<b>Figura 70.</b> Diagrama de dispersión del punto 17 -banda de análisis 2.4GHz.....	83
<b>Figura 71.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 18 -banda de análisis 2.4GHz .....	84
<b>Figura 72.</b> Diagrama de dispersión del punto 18 -banda de análisis 2.4GHz.....	84
<b>Figura 73.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 19 -banda de análisis 2.4GHz .....	85
<b>Figura 74.</b> Diagrama de dispersión del punto 19 -banda de análisis 2.4GHz.....	85
<b>Figura 75.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 20 -banda de análisis 2.4GHz .....	86
<b>Figura 76.</b> Diagrama de dispersión del punto 20 -banda de análisis 2.4GHz.....	86
<b>Figura 77.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 21 -banda de análisis 2.4GHz .....	87

<b>Figura 78.</b> Diagrama de dispersión del punto 21 -banda de análisis 2.4GHz.....	87
<b>Figura 79.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 22 -banda de análisis 2.4GHz .....	88
<b>Figura 80.</b> Diagrama de dispersión del punto 22 -banda de análisis 2.4GHz.....	88
<b>Figura 81.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 23 -banda de análisis 2.4GHz .....	89
<b>Figura 82.</b> Diagrama de dispersión del punto 23 -banda de análisis 2.4GHz.....	89
<b>Figura 83.</b> Espectrograma 1 registrado en el punto 24 -banda de análisis 2.4GHz .....	90
<b>Figura 84.</b> Diagrama de dispersión del punto 24 -banda de análisis 2.4GHz.....	90
<b>Figura 85.</b> Ocupación en los canales del punto 1 - banda de análisis 915MHz.....	91
<b>Figura 86.</b> Ocupación en los canales del punto 2 - banda de análisis 915MHz.....	92
<b>Figura 87.</b> Ocupación en los canales del punto 3 - banda de análisis 915MHz.....	92
<b>Figura 88.</b> Ocupación en los canales del punto 4 - banda de análisis 915MHz.....	93
<b>Figura 89.</b> Ocupación en los canales del punto 5 - banda de análisis 915MHz.....	93
<b>Figura 90.</b> Ocupación en los canales del punto 6 - banda de análisis 915MHz.....	94
<b>Figura 91.</b> Ocupación en los canales del punto 7 - banda de análisis 915MHz.....	94
<b>Figura 92.</b> Ocupación en los canales del punto 1 - banda de análisis 2.4GHz .....	95
<b>Figura 93.</b> Ocupación en los canales del punto 2 - banda de análisis 2.4GHz .....	95
<b>Figura 94.</b> Ocupación en los canales del punto 3 - banda de análisis 2.4GHz .....	96
<b>Figura 95.</b> Ocupación en los canales del punto 4 - banda de análisis 2.4GHz .....	96
<b>Figura 96.</b> Ocupación en los canales del punto 5 - banda de análisis 2.4GHz .....	97
<b>Figura 97.</b> Ocupación en los canales del punto 6 - banda de análisis 2.4GHz .....	97
<b>Figura 98.</b> Ocupación en los canales del punto 7 - banda de análisis 2.4GHz .....	98
<b>Figura 99.</b> Ocupación en los canales del punto 8 - banda de análisis 2.4GHz .....	98
<b>Figura 100.</b> Ocupación en los canales del punto 9 - banda de análisis 2.4GHz .....	99
<b>Figura 101.</b> Ocupación en los canales del punto 10 - banda de análisis 2.4GHz .....	99
<b>Figura 102.</b> Ocupación en los canales del punto 11 - banda de análisis 2.4GHz .....	100
<b>Figura 103.</b> Ocupación en los canales del punto 12 - banda de análisis 2.4GHz .....	100

<b>Figura 104.</b> Ocupación en los canales del punto 13 - banda de análisis 2.4GHz .....	101
<b>Figura 105.</b> Ocupación en los canales del punto 14 - banda de análisis 2.4GHz .....	101
<b>Figura 106.</b> Ocupación en los canales del punto 15 - banda de análisis 2.4GHz .....	102
<b>Figura 107.</b> Ocupación en los canales del punto 16 - banda de análisis 2.4GHz .....	102
<b>Figura 108.</b> Ocupación en los canales del punto 17 - banda de análisis 2.4GHz .....	103
<b>Figura 109.</b> Ocupación en los canales del punto 18 - banda de análisis 2.4GHz .....	103
<b>Figura 110.</b> Ocupación en los canales del punto 19 - banda de análisis 2.4GHz .....	104
<b>Figura 111.</b> Ocupación en los canales del punto 20 - banda de análisis 2.4GHz .....	104
<b>Figura 112.</b> Ocupación en los canales del punto 21 - banda de análisis 2.4GHz .....	105
<b>Figura 113.</b> Ocupación en los canales del punto 22 - banda de análisis 2.4GHz .....	105
<b>Figura 114.</b> Ocupación en los canales del punto 23 - banda de análisis 2.4GHz .....	106
<b>Figura 115.</b> Ocupación en los canales del punto 24 - banda de análisis 2.4GHz .....	106
<b>Figura 116.</b> Disponibilidad del espectro por canal en el área de estudio - banda 915 MHz	108
<b>Figura 117.</b> Disponibilidad del espectro por canal en el área de estudio - banda 2.4 GHz ..	109
<b>Figura 118.</b> Nivel de ocupación en las todas las zonas de medición - banda 915MHz.....	110
<b>Figura 119.</b> Nivel de ocupación en las todas las zonas de medición - banda 2.4GHz.....	112
<b>Figura 120.</b> Disponibilidad del espectro en el casco urbano central .....	114
<b>Figura 121.</b> Página principal de la WEB .....	115
<b>Figura 122.</b> Información destacable del proyecto de regeneración urbana .....	116
<b>Figura 123.</b> Distribución espacial de la ocupación del espectro -banda 915MHz.....	117
<b>Figura 124.</b> Distribución espacial de la ocupación del espectro -banda 2.4GHz .....	118
<b>Figura 125.</b> Distribución de la pigmentación en el mapa .....	119
<b>Figura 126.</b> Procedimiento aplicado .....	119
<b>Figura 127.</b> Visualización de los diagramas de dispersión en la página web.....	120
<b>Figura 128.</b> Nivel de ocupación en cada zona de medición.....	120

## **Índice de Anexos:**

<b>Anexo 1:</b> Datasheet del equipo MT8212B .....	131
<b>Anexo 2:</b> Datasheet de la antena HyperLOG-7060 .....	132
<b>Anexo 3:</b> Respuesta del Municipio al oficio UNL-FEIRNNR-CTELEC-2024-02.....	133
<b>Anexo 4:</b> Descripción de las calles en el área de estudio .....	134
<b>Anexo 5:</b> Código para filtrar los datos .....	136
<b>Anexo 6:</b> Petición de los equipos a la empresa CNT EP.....	137
<b>Anexo 7:</b> Espectrogramas del 2 al 5 de todos los puntos de medición.....	138
<b>Anexo 8:</b> Repositorio.....	159
<b>Anexo 9:</b> Certificado de traducción del resumen .....	160

## **1. Título**

**Estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) con visión a la transformación de Loja como ciudad inteligente.**

## 2. Resumen

La proliferación de dispositivos inalámbricos en las bandas ISM (Industrial, Scientific, and Medical), ha intensificado la competencia por el uso del espectro, generando interferencias que degradan la calidad de los servicios. Esto ha impulsado la necesidad de monitorear y analizar la ocupación espectral para identificar patrones de uso, zonas de congestión y oportunidades de optimización; del mismo modo, una gestión basada en datos reales, permite el uso eficiente, legal y libre del espectro, garantizando la interoperabilidad y la coexistencia de los dispositivos que operan en tales frecuencias. Bajo este argumento, el documento aborda la evaluación del estado actual de la utilización de las bandas 915 MHz y 2.4 GHz dentro del casco urbano central de la ciudad de Loja (proyecto regeneración urbana), para ello, se establecieron diversas zonas de medición según la frecuencia analizada: 7 zonas para 915MHz y 24 para 2.4GHz; en cada una de estas áreas se realizaron una serie de barridos espectrales en diferentes horarios y por varios días, obteniendo 5 mediciones por zona, con un total de 400 muestras por canal; los resultados obtenidos indican los valores de ocupación total en el área de estudio, con un 18,52 % para la primera banda y un 38,56 % para la segunda. Estos valores se determinaron a partir de un previo análisis individual de cada banda y canal, bajo la aplicación de la recomendación UIT-SM.2256-1, generando cabida a la potencial posibilidad de implementar sistemas tecnológicos basados en Redes LPWAN. Finalmente, como parte de la investigación los valores porcentuales de ocupación, se representaron visualmente como mapa informativo en una plataforma digital.

***Palabras clave:** Gestión del espectro radioeléctrico, ocupación espectral, LPWAN, bandas ISM*

## **Abstract**

The proliferation of wireless devices in the ISM (Industrial, Scientific and Medical) bands, has intensified competition for spectrum use, generating interference that degrades the quality of services. This has boosted the need to monitor and analyze the spectral occupancy to identify the use patterns, congestion zones and optimization opportunities; likewise a management based on real data, allows the efficient, legal and free use of the spectrum, guaranteeing the interoperability and coexistence of devices operating in such frequencies. Under this argument, the document deals an evaluation of the current status of the use of 915 MHz and 2.4 GHz bands within the central urban area of the city of Loja (urban regeneration project), therefore, several measurement zones were established according to the frequency analyzed: 7 zones for 915 MHz and 24 for 2.4GHz; in each of these areas a series spectral of sweeps were performed a series of spectral sweeps at different times and for several days, obtaining 5 measurements per zone, with a total of 400 samples per channel; the results obtained indicate the total occupancy values in the study area, with 18.52% for the first band and 38.56% for the second. These values were determined from a previous individual analysis of each band and channel, under the application of the ITU-SM.2256-1 recommendation, generating space for the potential possibility of implementing technological systems based on LPWAN networks. Finally, as part of the research, the percentage values of occupancy, were visually represented as an informative map in a digital platform.

***Key words:*** *Radio spectrum management, spectral occupancy, LPWAN, ISM bands.*

### 3. Introducción

El acelerado crecimiento urbano a nivel global en los últimos años, ha generado una alta densidad poblacional en áreas geográficas reducidas, lo que ha intensificado la demanda y consumo de servicios soportados por el espectro radioeléctrico, la proliferación de dispositivos con capacidad de acceso al medio inalámbrico para la transmisión de voz, datos y video ha provocado una explotación masiva de los recursos técnicos, tecnológicos y de infraestructura, ocasionando en determinados casos la saturación de bandas de frecuencia destinadas a la prestación de servicios de telecomunicaciones.

El espectro radioeléctrico el cual es un recurso natural limitado de gran valor económico (IFT, 2019), es el más afectado especialmente en sus bandas ISM (bandas sin licencia) por la existencia de múltiples dispositivos, que buscan abarcar el mayor ancho de banda cuando se conectan al medio inalámbrico, la disponibilidad de este recurso libre de licencias se ha convertido en el elemento fundamental para el despliegue de tecnologías emergentes: como es el caso de las redes LPWAN, que aportan significativamente al desarrollo sostenible de una Smart City.

La utilización eficaz del espectro deriva a gestionar el mismo de forma inteligente, que evite la sobreocupación y la consecuente saturación de las bandas dentro de su rango de frecuencias disponibles, el análisis del uso del espectro radioeléctrico proporciona información precisa y en tiempo real sobre la ocupación de este recurso escaso, el cual puede ser considerado un insumo clave para la toma de decisiones en materia de planeación, vigilancia y control del espectro, fortaleciendo el uso eficiente, legal y libre, potenciando actividades como: procesos de selección objetiva, estudios de convivencia, subasta de espectro y despliegue de infraestructura (ANE, 2024).

Por otra parte, los entes encargados de la vigilancia, gestión y control del espectro radioeléctrico, tanto a nivel nacional como internacional, pueden omitir durante largos periodos de tiempo la importancia de monitorear continuo de este recurso, si bien actualmente en Ecuador se encuentra regulado por una política fija de asignación del espectro radioeléctrico (ARCOTEL, 2021), persiste la necesidad de una distribución más eficiente y equitativa en las bandas libres, esto permitirá una mayor integración y convergencia de tecnologías optimizando la transferencia de información, ampliando la cobertura y minimizando las interferencias.

La gestión del espectro enfrenta desafíos significativos en su implementación, en palabras de la recomendación de la unión internacional de telecomunicaciones (UIT-R, 2016),

esta tarea “se está convirtiendo en una labor cada vez más compleja y difícil para los servicios de comprobación técnica, debido al aumento de la densidad de sistemas digitales y de bandas de frecuencia compartidas por diferentes servicios de radiocomunicaciones”, sin embargo, en esta misma recomendación propone un enfoque con varios parámetros que pueden adaptarse a diversos entornos, y aplicarlos en la ciudad de Loja para optimizar la administración del espectro y mejorar su eficiencia.

Para mitigar los problemas de la saturación presente por la energía radiada dispersa en el entorno urbano del casco central de la ciudad de Loja, esta investigación se enfoca en la medición de los niveles de potencia en diversos puntos de esta zona geográfica, lo que se busca con esto es poder determinar el porcentaje de ocupación del espectro en las bandas 915 MHz y 2.4GHz, proporcionando un análisis claro y confiable de las condiciones actuales en las que se encuentra el espectro.

Para el desarrollo del este proyecto se plantaron los siguientes objetivos:

Objetivos General:

- Realizar un estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas libres (915MHz y 2.4GHz) para evaluar y orientar futuras implementaciones de Redes LPWAN, permitiendo el desarrollo de la ciudad Loja como una “Smart City”.

Objetivos específicos:

- Analizar los conceptos teóricos y fundamentos técnicos relacionados con la ocupación del espectro radioeléctrico.
- Investigar el estado actual de la ciudad de Loja, respecto al uso y ocupación de las tecnologías emergentes que ocupan las bandas ISM en el casco urbano central.
- Evaluar la saturación del espectro radioeléctrico en puntos estratégicos con alta concentración de dispositivos que operan en las bandas (915MHz y 2.4GHz), en el casco urbano central de la ciudad de Loja.
- Crear un mapa de calor como elemento de visualización del porcentaje de ocupación actual del espectro radioeléctrico en las bandas ISM del casco urbano central de la ciudad de Loja.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Espectro radioeléctrico

El Espectro Radioeléctrico es un recurso natural, de carácter limitado, que constituye un bien de dominio público, sobre el cual el Estado ejerce su soberanía (ARCOTEL-A, 2019), constituye un medio intangible esencial para la prestación de diversos servicios de comunicaciones, está compuesto por un conjunto de frecuencias que se agrupan en “bandas de frecuencias” y puede ser utilizado por los titulares de una Licencia Única de Telecomunicaciones para la prestación de Servicios de comunicaciones inalámbricas, radiodifusión sonora y televisión - Servicios de Radiodifusión (AM, FM, TV), Internet, Telefonía Fija y Celular, brindados por titulares de Autorizaciones para operar Sistemas relacionados con seguridad, defensa, emergencias, transporte e investigación científica (ENACOM, 2010).

Además, el espectro radioeléctrico es utilizado en aplicaciones industriales y domésticas - Sistemas de Radionavegación Marítimas y Aeronáuticas, Sistemas de Seguridad (Aeropuertos, Alarmas, Radiolocalización de vehículos, Monitoreo, etc.), diversos Sistemas y Servicios Radioeléctricos tanto de uso civil como militar (Fuerzas de Seguridad, FFAA, Policía, Bomberos, Defensa Civil, Salud Pública, Radioaficionados, Radiotaxis, Radiomensajes, etc.) -. Es uno de los elementos sobre los que se basa el sector de la información y las comunicaciones para su desarrollo y, para todo ciudadano, se traduce en un medio para acceder a la información (ENACOM, 2010).

El espectro radioeléctrico se subdivide en nueve bandas de frecuencias, que se designan por números enteros, en orden creciente, de acuerdo con la siguiente tabla (ARCOTEL, 2021).

**Tabla 1.** Distribución del espectro radioeléctrico

SIGLA	DENOMINACIÓN	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENC.	CARACTERISTICAS	USO TÍPICO
VLF	Frecuencias muy bajas	30.000 m a 10.000 m	10 KHz a 30 KHz	Propagación por onda de tierra, atenuación débil.	ENLACES DE RADIO A GRAN DISTANCIA Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima.
LF	Frecuencias bajas	10.000 m. a 1.000 m.	30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables.	
MF	Frecuencias medias	1.000 m. a 100 m.	300 KHz a 3 MHz	Similar a la precedente, pero con una absorción elevada durante el día. Propagación prevalentemente Ionosférica durante la noche.	RADIODIFUSIÓN

<b>HF</b>	Frecuencias altas	100 m. a 10 m.	3 MHz a 30 MHz	Propagación ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.		COMUNICACIONES DE TODO TIPO A MEDIA Y LARGA DISTANCIA
<b>VHF</b>	Frecuencias muy altas	10 m. a 1 m.	30 MHz a 300 MHz	propagación directa, esporádicamente propagación ionosférica o Troposférica.		Enlaces de radio a corta distancia, TELEVISIÓN, FRECUENCIA MODULADA
<b>UHF</b>	Frecuencias ultra altas	1 m. a 10 cm.	de 300 MHz a 3 GHz	propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.		Enlaces de radio, Radar, Ayuda a la navegación aérea, TELEVISIÓN
<b>SHF</b>	Frecuencias superaltas	10 cm. a 1 cm.	de 3 GHz a 30 GHz	COMO PRECEDENTE	LA	Radar, Enlaces de radio
<b>EHF</b>	Frecuencias extra-altas	1 cm. a 1 mm.	30 GHz a 300 GHz	COMO PRECEDENTE	LA	COMO LA PRECEDENTE
<b>EHF</b>	Frecuencias extra-altas	1 mm. a 0,1 mm.	300 GHz a 3.000 GHz	COMO PRECEDENTE	LA	COMO LA PRECEDENTE

Nota: Tomado de la comisión interamericana de telecomunicaciones (CITEL, 2008).

#### 4.2. Gestión del espectro radioeléctrico

La gestión del espectro radioeléctrico es una labor esencialmente estatal, definida como la estructura y la combinación de procedimientos administrativos, científicos y técnicos necesarios para garantizar una explotación eficaz del equipo y los servicios de radiocomunicaciones sin producir interferencia perjudicial dentro de un territorio (Llanos, 2013).

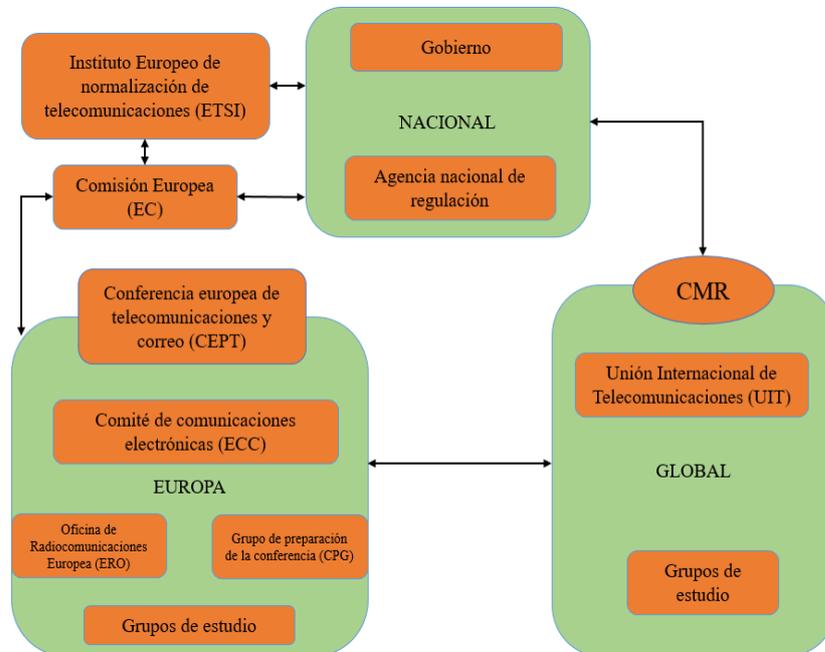
En el sector se ha reconocido la importancia que tiene el espectro radioeléctrico para un país, de ahí surge la necesidad de que el Gobierno reglamente y haga una intervención para garantizar eficiencia y transparencia en su asignación y administración, lo que en definitiva se traduce en leyes y políticas para lograr estos fines ( Muñoz y otros, 2015).

Las radiocomunicaciones que se basan en la explotación del recurso natural (espectro radioeléctrico) para prestar un considerable número de servicios requieren la disponibilidad del mismo, libre de interferencias perjudiciales, a fin de que el usuario final disfrute de comunicaciones, eficientes, efectivas, eficaces y oportunas (Llanos, 2013).

Diferentes naciones conscientes de este hecho han trabajado desde el año 1906 en conjunto, para generar diversas maneras de administrar el espectro radioeléctrico, y en 1932 con la creación de la UIT se logró un gran avance en la búsqueda de unificación de conceptos y normalización internacional en el área (MinTIC, 2008). A nivel internacional podemos encontrar varios grupos de estudio en las telecomunicaciones, como se puede identificar en la

Figura 1; el grupo de la UIT se encarga de la gestión del espectro radioeléctrico y en Europa está el grupo de gestión de frecuencia, ingeniería del espectro y regulación de radio ( Muñoz y otros, 2015).

**Figura 1.** Instituciones encargadas de la normalización internacional.



Nota: Grupos de estudio de las telecomunicaciones a nivel internacional (Cave y otros, 2007)

#### 4.2.1. Fines y objetivos de la gestión nacional del espectro radioeléctrico

En general, los fines y objetivos que se plantean los países para la gestión del espectro, y que se estipulan en sus ordenamientos jurídicos, leyes y reglamentos según (Llanos, 2013) son:

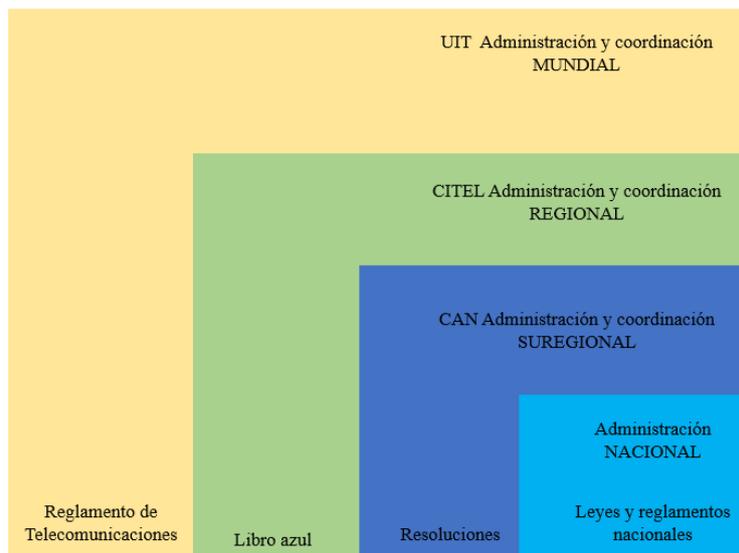
- La disponibilidad del espectro radioeléctrico para atender las necesidades de comunicaciones públicas y privadas en función de los intereses económicos, sociales, políticos y culturales.
- Utilización efectiva y eficaz del espectro, es decir uso óptimo del espectro desde el punto de vista técnico y económico.
- Minimizar la ocurrencia de interferencias perjudiciales entre sistemas de radiocomunicaciones.
- Desarrollo de infraestructura y prestación de servicios.
- Desarrollo económico y social.

- Planificación adecuada del espectro, a fin de que se disponga del recurso para la prestación de nuevos servicios.
- Protección del uso ilegal del espectro radioeléctrico.
- Determinación de los derechos de uso del espectro, desde el punto de vista técnico y administrativo, a fin de que las licencias correspondientes puedan ser revisadas conforme los intereses nacionales.
- Definición de mecanismos idóneos para reasignar o readjudicar bandas de frecuencias.
- Protección de la salud humana y del medio ambiente.
- Disponibilidad de frecuencias con propósitos de investigación y experimentación científica.

La regulación nacional de espectro radioeléctrico, también observa las reglas y acuerdos establecidos en organismos regionales, de los cuales será parte; el carácter de estas normas, puede ser supranacional o pertenecer a un acuerdo bilateral o multilateral y ser incluida en la legislación correspondiente para su aplicación (Llanos, 2013).

Particularmente, para la Región 2, la administración nacional del espectro radioeléctrico observa jerárquicamente, hacia los ámbitos subregional, regional y mundial esta organización se puede observar en la Figura 2. (Llanos, 2013)

**Figura 2.** Regulación jerárquica del espectro radioeléctrico



Nota: Tomado de (Llanos, 2013):

Las áreas principales de trabajo en la gestión del espectro radioeléctrico según (Llanos, 2013) vendrían a ser:

- Planificar el uso del espectro radioeléctrico, dado que siempre su uso ha sido compartido, requiriendo que el acceso a él sea en forma eficiente, y equitativa.
- La autorización involucra la concesión de licencias para el acceso al recurso espectro radioeléctrico; además del registro de las asignaciones de frecuencias.
- Ingeniería del espectro, que implica el análisis de compatibilidad electromagnética para equipos que emiten o son susceptibles a la influencia de radiofrecuencias; el estudio y la aplicación de herramientas de análisis; asimismo, los estudios, evaluación y solución de interferencias perjudiciales, en los entornos de compartición de bandas de frecuencias.
- El monitoreo del espectro radioeléctrico, realizado a través del servicio de comprobación técnica, es requerido para verificar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el reglamento de radiocomunicaciones y los parámetros determinados en las licencias correspondientes

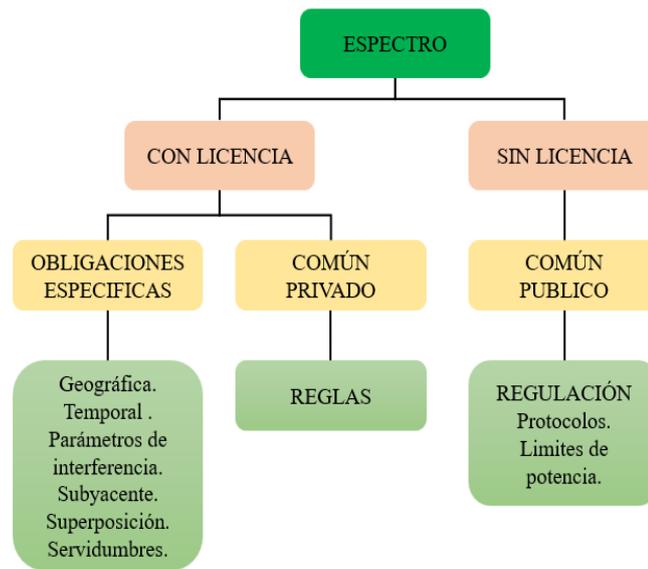
#### **4.2.2. Clasificación del espectro radioeléctrico**

El espectro está dividido en dos clases de bandas, con licencia (servicios básicos de telecomunicaciones, servicios de valor agregado, radiodifusión, entre otros) o exentas de licencia (radios de corto alcance, control remoto, sistemas de seguridad, investigación, entre otros) (Attar & Aghvami, 2007).

En el primer caso, la concesión de frecuencias es el mecanismo por cual se gestiona la utilización del espectro radioeléctrico. El propósito fundamental de la licencia de radiocomunicaciones es el de limitar las características técnicas y de operación de las estaciones radioeléctricas (Llanos, 2013).

En el segundo, no se puede garantizar su eficiencia porque al no tener licencia ninguna entidad se responsabiliza por su uso; se controla que no exceda los límites permitidos y que no genere interferencias a otros sistemas (Attar & Aghvami, 2007). En la figura 3 se muestra esta diferencia con respecto al uso licenciado y no licenciado.

**Figura 3.** División del espectro-perspectiva regulatoria.



Nota: Tomado de (Cave M. , 2008)

### 4.3. Bandas ISM

Existen unas bandas de frecuencia, reservadas internacionalmente, que están libres de licencia. Estas bandas se pueden usar para objetivos no comerciales y, aunque no hay que pagar por usarlas, sí fijan unas condiciones de buen uso para garantizar la posible coexistencia de distintos sistemas. Aunque popularmente se llaman «bandas no reguladas», realmente sí están reguladas; lo que sucede es que están habilitadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas, sujetas a ciertas normas de buen uso (Zárate, 2017).

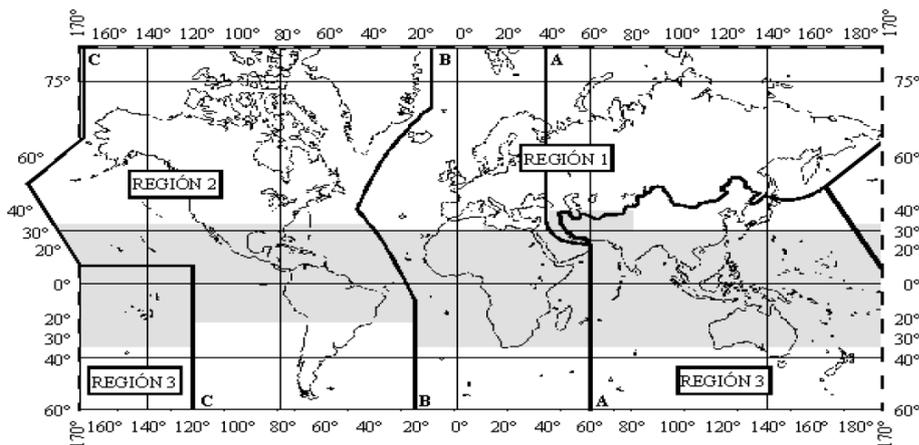
#### 4.3.1. Asignación de frecuencias de las bandas ISM

De acuerdo con (UIT-RR, 2020) las bandas ISM las determina la ITU (International Telecommunication Union) en los puntos 5.138 y 5.150 de las regulaciones radio (RR).

las regiones definidas por la ITU para gestionar el espectro radioeléctrico son 3:

- *Región 1:* Europa, África, la antigua Unión Soviética, Mongolia, y la parte oeste de Oriente Medio, incluyendo Irak.
- *Región 2:* América, Groenlandia, y las islas del este del Pacífico.
- *Región 3:* Asia (toda la parte no incluida en región 1) y Oceanía.

**Figura 4.** División del planeta en las tres regiones.



Nota: Adaptado del plan nacional de frecuencias. (ARCOTEL, 2021)

A partir de esta separación geográfica la (UIT-RR, 2020), plantea las bandas ISM más relevantes de uso para las comunicaciones en la industria 4.0:

- Banda centrada en 13,56Mhz, definida entre 13,553 MHz y 13,567 MHz, disponible en todo el mundo.
- Banda centrada en 27,12 MHz, definida entre 26,957 MHz y 27,283 MHz, disponible en todo el mundo.
- Banda centrada en 433,92 MHz, definida entre 433,05 MHz y 434,69 Mhz, disponible solo en la región 1 y bajo aceptación de gobiernos locales.
- Banda centrada en 915 MHz, definida entre 902 MHz y 928 MHz, disponible solo en la región 2, con algunas excepciones.
- Banda centrada en 2,45 Ghz, definida entre 2,4 y 2,5 Ghz, disponible en todo el mundo.
- Banda centrada en 5,8 Ghz, definida entre 5,725 GHz y 5,875 GHz, disponible en todo el mundo.
- Banda centrada 24,125 GHz definida entre 24 y 24,25 GHz
- Banda centrada en 61,25 Ghz, definida entre 61 Ghz y 61,5 Ghz, disponible en todo el mundo, pero sujeta a aprobación nacional.

#### **1.1.1.1. Banda de 915 MHz.**

Según (ARCOTEL, 2021) la banda de 902 - 928 MHz en la región 2 con frecuencia central de 915MHz, se destina para varios servicios:

- **Fijo:** incluye servicios de comunicación fija.

- **Móvil (excepto móvil aeronáutico):** Utilizado para comunicaciones móviles terrestres, salvo móvil aeronáutico a título primario.
- **Aficionados:** Permite el uso por parte de radioaficionados.
- **Radiolocalización:** Se usa para sistemas de localización por radiofrecuencia.

En el rango de 902 – 915 MHz, se ha identificado para su utilización por parte de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) de conformidad con las notas internacionales, atribuyendo servicios:

- *Fijo*
- *Móvil (salvo móvil aeronáutico)*

En el rango de 915 – 928 MHz, Operan a título secundario, sistemas que ocupan espectro radioeléctrico para uso determinado en Bandas Libres (UDBL), atribuyendo servicios:

- *Fijo*
- *Móvil (salvo móvil aeronáutico)*
- *Aficionados*
- *Radiolocalización*

Esta banda es conocida por su uso en sistemas de RFID (Identificación por Radiofrecuencia) y también es popular en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) debido a sus buenas propiedades de propagación y menor interferencia.

#### **1.1.1.2. Banda de 2.4GHz.**

La banda de 2.4 GHz abarca el rango de 2412-2483 MHz y se emplea según (ARCOTEL, 2021) para diversas aplicaciones como:

- **Fijo:** Incluye servicios de comunicación fija.
- **Móvil:** Permite servicios de comunicación móvil, utilización por las administraciones que deseen introducir las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT).
- **Aficionados:** Permite el uso por parte de radioaficionados.
- **Radiolocalización:** Se usa para sistemas de localización por radiofrecuencia.

La banda de 2.4 GHz es especialmente notable por su uso en sistemas Wi-Fi, Bluetooth y otros dispositivos inalámbricos, su popularidad se debe a su capacidad para ofrecer un buen equilibrio entre velocidad de datos y cobertura.

#### **4.4. Tecnologías emergentes**

Son tecnologías e innovaciones que provocan cambios radicales en los negocios, la industria o la sociedad. En ese sentido, no son necesariamente nuevas, pero su impacto suele ser distinto debido al nivel de avance y desarrollo que tenga cada lugar (Villegas y otros, 2022).

Las “tecnologías digitales emergentes”, han llegado para cambiar varios aspectos de nuestra vida en los últimos años, podemos encontrar: la Inteligencia Artificial (IA), Internet de las cosas (IoT), Internet de los servicios (IoS), Internet de los cuerpos (IoB) y Blockchain, las cuales son vistas como algunas de las principales tecnologías en las que se basa la Cuarta Revolución Industrial, la nueva economía digital y la innovación basada en datos (Villegas y otros, 2022).

##### **4.4.1. *Inteligencia artificial***

En términos generales, la inteligencia artificial se refiere a la ciencia y la ingeniería de fabricar máquinas inteligentes, esto es, máquinas y sistemas que imitan ciertas tareas que requerirían de inteligencia si fueran realizadas por seres humanos (Viteri et al., 2015).

La IA es una tecnología de múltiple propósito, también sirve como herramienta para la producción o realización de tareas complejas en el ámbito industrial, financiero, comercial, educativo, salud, traducciones, etcétera (Villegas y otros, 2022).

##### **4.4.2. *Internet de las cosas***

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T, 2012) establece que IoT puede ser considerada una infraestructura global para la sociedad de la información, permitiendo servicios avanzados para interconectar (física y virtualmente) cosas, basadas en tecnologías de la información y las comunicaciones interoperables presentes y futuras.

##### **4.4.3. *Internet de los servicios***

El Internet of Services es una evolución muy lógica en el campo del Internet of Things, generada por la multiplicación exponencial de dispositivos y funciones conectadas a la red. El valor añadido del Internet of Services no es tanto en la cantidad de dispositivos conectados, sino en los servicios que obtenemos gracias a una gestión eficiente de los dispositivos y en la capacidad de éstos para integrarse en nuestra vida cotidiana (Fractalia, 2016).

#### **4.4.4. Internet de los cuerpos**

El “IoB” se define como la utilización de dispositivos conectados a Internet que monitorizan y/o actúan sobre todas o algunas de nuestras constantes vitales y otros datos biométricos. Se convertirían así en indicadores de actividad física, calidad del sueño, actividad deportiva o sedentarismo (FUNIBER, 2021).

#### **4.4.5. Blockchain**

En términos sencillos, la idea detrás del blockchain o cadena de bloques implica la existencia de una red de servidores interconectados de forma descentralizada, es decir, localizados en diferentes lugares del mundo, que cooperan simultáneamente para registrar, de forma digital, una copia exacta de la información añadida en dicha cadena (Villegas y otros, 2022).

### **4.5. Red de área amplia de bajo consumo (LPWAN)**

Las redes LPWAN (Low Power Wide Area Networks) son las tecnologías de comunicación inalámbrica que permiten transmitir datos entre un dispositivo y una estación base/Gateway separados por centenares de metros o kilómetros con un muy bajo consumo energético (Becolve, 2020).

Por sus características, estas tecnologías están posibilitando el despliegue de las mayores iniciativas IoT actuales. Al ser diseñadas específicamente para este entorno, permiten instalar decenas o centenares de nodos distribuidos por una gran área, alimentados con baterías que duran años y sin necesidad de grandes infraestructuras o costosas tendidos de cable (Becolve, 2020).

Estas redes tratan de no estar sujetas a bandas licenciadas, lo que permite ofrecer una conectividad global económica y tener una implementación más flexible y rápida, la ventaja de estas redes es que, como su nombre lo dice, son de bajo consumo (Low Power), con lo que podemos implementarlas en proyectos donde se utilicen baterías para alimentar dispositivos que deban tener una autonomía medible en años (Sampaulo, 2020).

#### **4.5.1. Características**

Las redes LPWAN presentan características distintas que las diferencian de otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi, Bluetooth, redes celulares (GSM-3G-4G) y Zigbee, de acuerdo con (Porrás & Salah, 2019) sus principales atributos son los siguientes:

- **Bajo consumo de energía:** los dispositivos que integran la red pueden funcionar utilizando baterías económicas y pequeñas que pueden durar por muchos años.
- **Cobertura de un área amplia:** el rango de alcance puede superar los dos kilómetros en áreas urbanas, y abarcar más de 10 kilómetros en entornos rurales. Además, resulta una red óptima al generar una efectiva comunicación de datos en ubicaciones interiores y subterráneas.
- **Bajo costo:** gracias a los protocolos de un bajo consumo de recursos y largo alcance que se combina con una topología en estrella o malla, reducen la complejidad en el diseño de hardware e infraestructura de la red y reducen los costos de implementación.
- **Tasa de bits y ciclo de trabajo:** los entornos o ambientes en los cuales se aplica las redes LPWAN se caracterizan porque la variación de las mediciones obtenidas fluctúa gradualmente en el transcurso del tiempo gracias a ello es posible reducir la tasa de bits de la red y el ciclo de trabajo de los nodos sensores a alrededor del 1%.
- **Escalabilidad:** esta clase de redes demuestran un crecimiento considerable en un lapso corto, por ende, todos sus dispositivos, principalmente el gateway y servidor deben soportar el incremento de flujo de información o brindar la facilidad de acoplar nuevos dispositivos que permitan escalar la red.

#### 4.5.2. Tecnologías LPWAN

En la actualidad se puede encontrar distintas clases de tecnologías LPWAN que se diferencian de acuerdo con su aplicación.

##### **NB-IoT**

Se trata de una tecnología de banda estrecha especificada en la versión 13 y 14 del 3GPP. Puede coexistir con GSM (Sistema global para comunicaciones móviles) y LTE (Tecnología de evolución a largo plazo) ocupa un ancho de banda de 200 KHz, en bandas de frecuencia con licencia (Montes & Camacho, 2019).

Algunas características de esta tecnología que nos proporciona (Sampaulo, 2020)son:

- Velocidad de descarga máxima de 250 kbit/s y una velocidad de subida de 250 kbit/s con multitono o 20 kbit/s con monótono.
- La batería de un dispositivo NB-IoT puede durar 10 años.
- Usan la misma red de la telefonía celular, por lo que NB-IoT puede coexistir con equipos que operen en redes 2G, 3G y 4G.

- Excelente penetración en interiores y bajo tierra.

### **LTE-M**

También conocida por CaT-M1, utiliza las antenas LTE instaladas y está optimizada para un ancho de banda mayor (hasta 1 Mbps), y para conexiones de móvil que incluyan voz. Se trata de un protocolo para comunicaciones celulares de ancho de banda estrecho, que conectan a internet dispositivos de baja complejidad que transmiten pequeñas cantidades de datos en largos periodos de tiempo, con bajo consumo de energía (Sampaulo, 2020).

LTE-M dispone de un ancho de banda mayor, lo cual permite mayores velocidades de datos, menor latencia y un posicionamiento del dispositivo mucho más preciso. Este protocolo permite mayor cobertura y es ideal para soportar aplicaciones de muy baja velocidad de datos en condiciones de radio extremadamente difíciles (Sampaulo, 2020).

### **SIGFOX**

Este servicio aporta soluciones al mundo de las M2M (comunicación de máquina a máquina), permite comunicaciones a baja velocidad, la conexión entre equipos conectados es posible gracias a su tecnología de radio de banda ultra estrecha, Sigfox utiliza una tecnología patentada de banda ultra estrecha (UNB), que permite la comunicación de bajo consumo y largo alcance entre dispositivos, siendo el límite en el número de mensajes diarios por dispositivo de 140men (Sigfox-B, 2021)

Sigfox es en sí un operador de red global que también se asocia con operadores locales en varios países para expandir su cobertura de red. Estos operadores locales son responsables de implementar y mantener las estaciones base Sigfox en sus respectivos países. Sigfox actualmente tiene asociaciones con más de 70 operadores en todo el mundo, incluidas las principales empresas de telecomunicaciones como Telefónica, Altice y NTT Docomo. Estas asociaciones permiten a Sigfox brindar cobertura global para su red de área amplia y baja potencia (LPWAN), que está optimizada para dispositivos de Internet de las cosas (IoT) con bajos requisitos de datos (Rojas, 2023).

Las características según (Sigfox, 2017)son las siguientes:

- *Ultra-Narrow Band (UNB)*: Sigfox utiliza 192KHz de la banda pública disponible para el intercambio de mensajes.
- *Recepción cooperativa*: El mensaje emitido es recibido por cualquier estación base que esté cerca.

- *Mensajes pequeños*: El tamaño de los mensajes va de 0 a 12 bytes. Una carga útil de 12 bytes es suficiente para transferir datos de sensores, el estado de un evento como una alerta, coordenadas GPS o incluso datos de aplicaciones.

## **LoRa**

LoRa, que significa “Long Range”, es un sistema de comunicaciones inalámbricas de largo alcance, promovido por LoRa Alliance. LoRa comúnmente puede referirse a dos capas distintas: (i) una capa física que utiliza la técnica de modulación de radio Chirp Spread Spectrum (CSS); y (ii) un protocolo de capa MAC (LoRaWAN).

La capa física LoRa, desarrollada por Semtech, permite comunicaciones de largo alcance, bajo consumo y bajo rendimiento. Opera en las bandas ISM de 433 MHz para Asia, 868 MHz en Europa o 915 MHz en Estados Unidos, según la región en la que esté implementado.

La carga útil de cada transmisión puede oscilar entre 2 y 255 octetos y la velocidad de datos puede alcanzar hasta 50 Kbps cuando se emplea la agregación de canales. La técnica de modulación es una tecnología patentada de Semtech.

LoRaWAN proporciona un mecanismo de control de acceso al medio, que permite que muchos dispositivos finales se comuniquen con una puerta de enlace mediante la modulación LoRa. Si bien la modulación LoRa es patentada, LoRaWAN es un estándar abierto desarrollado por LoRa Alliance (Augustin y otros, 2016).

### **4.6. ¿Cómo las tecnologías emergentes aportan al desarrollo de Smart Cities?**

Las tecnologías emergentes ofrecen soluciones a algunos de los desafíos más apremiantes de la urbanización, al tiempo que abren puertas a nuevas posibilidades para el crecimiento de entornos urbanos más reactivos, eficientes y centrados en el bienestar de los ciudadanos (Fonseca, 2024).

1. **Inteligencia Artificial (IA)**: La IA está emergiendo como una fuerza transformadora en las ciudades inteligentes, desde algoritmos que optimizan el tráfico y reducen la congestión hasta sistemas que mejoran la respuesta de emergencia y la seguridad pública, la IA está en el corazón de la gestión urbana inteligente (Fonseca, 2024).
2. **Internet de las Cosas (IoT)**: El IoT conecta dispositivos cotidianos a la red, permitiendo una recolección y análisis de datos sin precedentes. Esta tecnología permite

desde el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire hasta sistemas avanzados de gestión de energía y agua (Fonseca, 2024).

3. **Realidad Aumentada (RA) y Virtual (RV):** Estas tecnologías están redefiniendo la interacción ciudadana con el espacio urbano. Desde aplicaciones de RA que enriquecen la experiencia del turismo urbano hasta simulaciones de RV utilizadas en la planificación y el diseño de ciudades, la RA y la RV están abriendo nuevas dimensiones en la vida urbana (Fonseca, 2024).
4. **Big Data y Analítica Avanzada:** El análisis de grandes conjuntos de datos está proporcionando insights cruciales para la toma de decisiones urbanas. La capacidad de analizar patrones complejos de movilidad, consumo de recursos y comportamiento humano está impulsando una planificación y gestión urbana más inteligente y orientada a datos (Fonseca, 2024).

Al aprovechar las innovaciones que traen las tecnologías emergentes y al hacer que trabajen de manera integrada con tecnologías existentes y nuevas, permiten crear entornos urbanos conectados y autónomos, donde los servicios públicos, la movilidad, la energía y la seguridad se gestionan de forma inteligente, adaptándose a las necesidades actuales y futuras de las ciudades lo que se conoce como una Smart City.

#### **4.7. Smart City**

Una Smart City o Ciudad Inteligente según (Bouskela y otros, 2016) es una ciudad que usa Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) para la toma de decisiones, la eficiencia de los procesos, la prestación de servicios urbanos y su competitividad. Además, quiere satisfacer los requerimientos de las nuevas generaciones con relación a los factores económicos, sociales y ambientales. Al mismo tiempo, se genera un interés en los ciudadanos, empresarios y trabajadores porque crea espacios más seguros en donde se incrementa la calidad de los servicios, incentiva la generación de empleos y disminuye las desigualdades.

##### **4.7.1. Características**

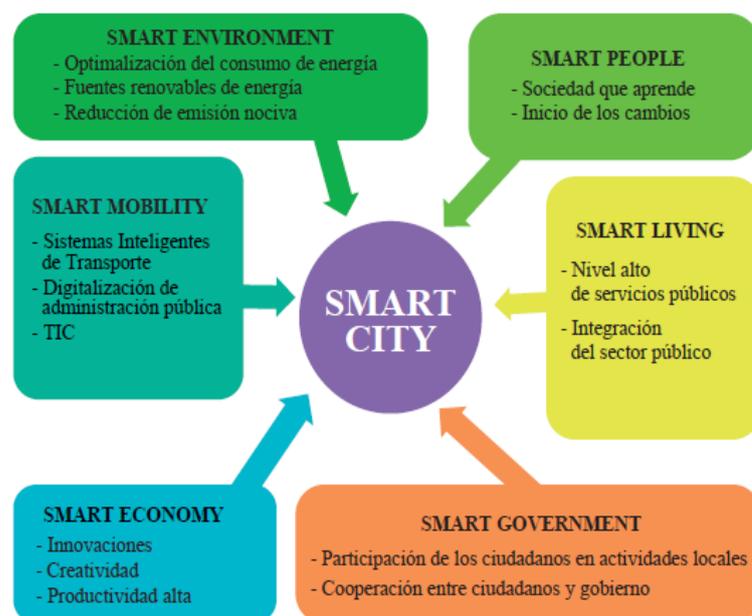
Las ciudades pueden definirse como Smart o ciudades inteligentes, si poseen los siguientes elementos (Celis y otros, 2021):

- *Economía Inteligente:* Tiene que ver con la competitividad, guiado hacia el espíritu innovador, el emprendimiento y la productividad.

- *Población Inteligente:* Está relacionado con el capital social y humano, en donde se tiene en cuenta el nivel de calificación de la población, la pluralidad social y étnica.
- *Gobernanza Inteligente:* La participación es la clave de esta característica ya que tienen que estar involucrado con la toma de decisiones, los servicios públicos y sociales, la transparencia del gobierno y las perspectivas y estrategias políticas.
- *Movilidad Inteligente:* Está guiado hacia el transporte y las TICs, es decir, que está relacionado con la accesibilidad, la disponibilidad de la infraestructura para las TIC, la innovación sustentable y los sistemas seguros de transporte.
- *Ambiente inteligente:* Es el uso racional de los recursos naturales y la energía. En otras palabras, está involucrado en la polución, protección ambiental y manejo de recursos sustentables.
- *Urbanización Inteligente:* Asociado a la calidad de la vida y comprende facilidades culturales, condiciones de salud, seguridad individual, facilidad de educación y atractivos turísticos.

Estas seis dimensiones presentadas en la Figura 5 de las Smart Cities se unen con teorías tradicionales y neoclásicas de crecimiento y desarrollo de áreas urbanas.

**Figura 5.** Dimensiones de la ciudad inteligente.



Nota: Tomado de (Fernández, 2017)

#### **4.8. Loja en el contexto de las Smart Cities**

El desarrollo de Loja como Smart City comenzó con el proyecto “regenerar”, cuya planificación inicio en 2006 con la elaboración de los estudios previos (Díaz-A, 2020). Posteriormente, su ejecución se llevó a cabo en marzo del 2015 y concluyo en junio del 2018 (Crónica, 2024), estableciendo un precedente clave para la transformación urbana de la ciudad.

Este proyecto consistió en la remodelación de áreas urbanas consolidadas en el casco urbano central de la ciudad, con el objetivo de mejorar las condiciones económicas, demográficas y sociales de las personas (UTPL, 2023). Entre las principales actividades se realizaron instalaciones de nuevos sistemas de agua potable, redes de alcantarillado pluvial y sanitario, pavimentación de vías, soterramiento de cables de energía eléctrica y telecomunicaciones, además de la regeneración de bordillos, aceras y mobiliario urbano (UTPL, 2023). Con estos antecedentes Loja empieza a alinearse con los seis ejes que permiten el desarrollo inteligente y sostenible de una ciudad.

Un hito fundamental en su evolución digital tuvo lugar en 2017, cuando la corporación nacional de telecomunicaciones (CNT EP) desplego en varias ciudades del país, incluyendo la ciudad de Loja, nuevos ejes de canalización de su red de fibra óptica con tecnología GPON, sobre la cual se comercializarán servicios de nueva generación e interactivos, que requieren de una disponibilidad de altos anchos de banda, facilitando el acceso a una conectividad robusta y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos (Conde y otros, 2017).

En el 2020, el Municipio de Loja suscribió un convenio interinstitucional con el Ministerio de Telecomunicaciones, el cual tiene por objeto fomentar la cooperación y coordinación para la elaboración de proyectos que promuevan la medición del nivel de madurez de ciudades inteligentes y sostenibles. Este acuerdo permitió definir estrategias para consolidar a Loja como una ciudad digital (Díaz-B, 2020).

Bajo el lema “Loja hacia una ciudad inteligente y sostenible”, en 2022 se impulsó el uso e implementación de Tecnologías de la Información y Comunicación para que los lojanos se proyecten hacia una ciudad próspera, inclusiva y sostenible. La implementación del programa LoRaWAN, facilito la instalación progresiva de puntos Wi-Fi gratuitos en parques y las plazas (Picoita, 2022), avanzando en su adopción tecnológica, contribuyendo a la reducción de la brecha digital y a la mejora de los servicios públicos (García, 2022).

En cuanto al emprendimiento y la movilidad inteligente, Loja ha sobresalido en iniciativas innovadoras. Por un lado, se ha promovido el uso de la tecnología en nuevos

negocios; por otro, se ha implementado un sistema de transporte público más eficiente (García, 2022). Desde el 2020, la empresa Clipp ha liderado la transformación de la movilidad urbana con buses que operan sin dinero en efectivo, el pago se lo realiza con tarjetas contactless (Primicias, 2022), adicionalmente estos buses cuentan con sistemas GPS que permiten a los usuarios conocer las rutas y tiempos de llegada a través de la aplicación Móvil, esta misma plataforma facilita el acceso a taxis asociados a la red de movilidad inteligente, permitiendo un pago digital (Jaramillo, 2022), además antes de finalizar el 2022, Clipp en su APP introdujo la funcionalidad de “parqueaderos inteligentes”, que permite a los conductores identificar espacios disponibles en tiempo real optimizando la movilidad y reduciendo el consumo innecesario de combustibles (Primicias, 2022). Las prácticas de movilidad inteligente son respetuosas con el ambiente siendo un ejemplo de los esfuerzos de los lojanos por convertir a su ciudad en la primera ‘Smart City’ de Ecuador.

La exministra de Telecomunicaciones, Vianna Maino, en el último trimestre del 2022 destaco a Loja como la primera ciudad del país en completar con éxito la medición del nivel de madurez tecnológica, gracias al convenio establecido en el año 2020, se verifico que la ciudad alcanzó cuatro sobre cinco en la escala mundial, lo que demuestra que está en el camino para convertirse en la primera ciudad inteligente y sostenible en el país (Jaramillo, 2022).

En el ámbito de la gestión ambiental en el 2023, se implementaron paneles solares en diversos espacios públicos urbanos, optimizando la iluminación y promoviendo la sostenibilidad energética en estas áreas (Hora32, 2023), por su parte, desde 2019, la Universidad Técnica Particular de Loja ha contribuido significativamente en esta campo con la implementación de 728 paneles solares en su infraestructuras, el cual genera 700kwh durante el día, si la misma institución no consume esta energía, es entregada a la red nacional (UTPL-C, 2024).

El compromiso de la ciudad de Loja con la innovación y la sostenibilidad la posiciona como un referente en el país y la región, consolidando su camino hacia una ciudad mas eficiente, conectada y amigable con el medio ambiente, la implementación de nuevas tecnologías junto con el fortalecimiento de la infraestructura digital y la participación del sector privado han sido clave para generar avances significativos en la modernización y desarrollo sustentable.

## 5. Metodología

La sección en curso detalla los materiales y métodos usados para llevar a cabo el presente trabajo de integración curricular, se abordan las herramientas y procedimientos utilizados para ejecutar un análisis exhaustivo sobre la gestión óptima del espectro radioeléctrico.

### 5.1. Procedimiento general.

El objetivo general del presente trabajo de integración Curricular consiste en: Realizar un estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas libres (915MHz y 2.4GHz) para evaluar y orientar futuras implementaciones de Redes LPWAN, permitiendo el desarrollo de la ciudad Loja como una “Smart City”. Para cumplir con el mismo se plantearon algunos objetivos específicos:

- 1. Analizar los conceptos teóricos y fundamentos técnicos relacionados con la ocupación del espectro radioeléctrico.**
  - a. Identificar fuentes confiables, incluyendo artículos científicos, libros especializados, normas y regulaciones tanto nacionales como internacionales.
  - b. Explorar bases de datos como IEE Xplore, ScienceDirect, Springer, Google Scholar y repositorios de tesis universitarias.
  - c. Revisar documentos oficiales de organismos reguladores como la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), la FCC (Comisión Federal de comunicaciones) y ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones).
  - d. Identificar desafíos actuales y tendencias al uso de tecnologías emergentes en proyectos urbanos consolidando ciudades inteligentes.
  - e. Organizar los hallazgos en categorías temáticas para facilitar su análisis.
- 2. Investigar el estado actual de la ciudad de Loja, respecto al uso y ocupación de las tecnologías emergentes que ocupan las bandas ISM en el casco urbano central.**
  - a. Solicitar al GAD-Loja u otras instituciones que tengan acceso a la infraestructura tecnológica, información detallada sobre proyectos y programas relacionados con tecnologías emergentes en el casco urbano central.
  - b. Indagar en fuentes digitales información adicional que permitan obtener una visión más clara del estado actual de la ciudad con respecto al uso de las tecnologías emergentes.

- c. Clasificar y organizar los proyectos según su impacto tecnológico, social y contribución al desarrollo urbano.
  - d. Elaborar con la información obtenida, parte del documento detallando el estado actual, incluyendo ejemplos de proyectos implementados y su impacto en el casco urbano central.
- 3. Evaluar la saturación del espectro radioeléctrico en puntos estratégicos de concentración y disposición de dispositivos que operan en las bandas (915MHz y 2.4GHz), en el casco urbano central de la ciudad de Loja.**
- a. Inspeccionar el estado del equipo (analizador de espectro radioeléctrico) y sus accesorios.
  - b. Realizar pruebas de funcionamiento para asegurar la operatividad del equipo.
  - c. Realizar pruebas preliminares para establecer valores de referencia y determinar las métricas de evaluación.
  - d. Selección de ubicaciones representativas para la toma de muestras, considerando distintos parámetros como la cobertura, tránsito peatonal y uso del espacio residencial o comercial.
  - e. Ejecución de las mediciones en las ubicaciones representativas previamente definidas.
  - f. Analizar los datos en cada punto, para determinar el nivel de ocupación del espectro en las bandas de 915MHz y 2.4GHz.
- 4. Crear un mapa de calor como elemento de visualización del porcentaje de ocupación actual del espectro radioeléctrico en las bandas ISM del casco urbano central de la ciudad de Loja.**
- a. Investigación y selección del formato digital adecuado para presentar los datos, considerando la accesibilidad, interactividad y la visualización.
  - b. Familiarización con el formato seleccionado, revisión y estudio de herramientas y funcionalidades.
  - c. Implementar en el mapa digital de la ciudad de Loja, los datos de ocupación del espectro, asegurándose de que se integren adecuadamente.

## **5.2. Recursos metodológicos**

- **Revisión documental**

Se enfoca en la revisión bibliográfica relacionada con el uso eficaz del espectro radioeléctrico y su relevancia en la aplicación para tecnologías emergentes, que influyen directamente al desarrollo de una Smart City. Se utilizó para la búsqueda aspectos como la gestión del espectro, bandas ISM, tecnologías que hacen uso de bandas libres y formas de medir y evaluar la ocupación del espectro.

- **Método analítico**

Este método de estudio está presente en gran parte del proyecto, se utiliza para desarrollar una estructura segmentada y ordenada que permita un análisis detallado de los pasos a seguir para un adecuado estudio espectral, desde determinar la zona de medición hasta obtener el porcentaje del nivel de ocupación.

- **Método empírico**

Permite obtener conocimiento a partir de la observación de la realidad, se divide en tres tipos principales: observación, experimentación y medición. En el siguiente proyecto de titulación se utilizaron los tres tipos de métodos.

- a. Observación: método necesario para el trabajo de campo llevado a cabo para determinar las zonas de medición, en las cuales se va a levantar datos de potencia de los diferentes equipos que funcionan en 2.4GHz o 915MHz.
- b. Experimentación: utilizado para realizar mediciones de prueba y determinar los valores de duración de la observación, tiempo de medición de muestras, tiempo de iteración, la resolución del ancho de banda (RBW), la resolución del ancho de banda de video (VBW) y el margen dinámico adecuado.
- c. Medición: método usado para tabular los datos obtenidos previas mediciones realizadas, y determinar la ocupación del canal de frecuencias (FCO) y la ocupación de la banda de frecuencias (FBO).

### 5.3. Recursos técnicos

- **Gestión de datos:** se utilizaron las hojas de cálculo de Excel para el almacenamiento de los datos de potencia obtenidos en los espectrogramas generados por el analizador de espectro, facilitando la creación de diagramas y gráficos estadísticos.
- **Procesamiento de datos:** se utilizó el lenguaje de programación Python en Google Colab, manipulado los archivos Excel con bibliotecas como Pandas y Openpyxl para trabajar con grandes cantidades de datos.

- **Entorno de desarrollo de software:** para el desarrollo de la página web, se emplearon tecnologías estándar de desarrollo frontend, incluyendo HTML, CSS y JavaScript. Estas tecnologías permiten la estructuración, diseño y funcionalidad interactiva de la aplicación, el entorno de desarrollo utilizado fue el IDE Visual Studio Code, un editor de código.

#### 5.4. Procedimiento

Complementando el procedimiento general expuesto en la sección 5.1 para desarrollar el objetivo específico 3; en este apartado de detalla todo el proceso.

##### 5.4.1. Selección de dispositivos

###### 5.4.1.1. Analizador de espectro

Su función básica es representar las señales en una pantalla gráfica como amplitud (o como nivel de potencia) en el eje y frente a la frecuencia en el eje x, las amplitudes de las señales detectadas se representan en el dominio de la frecuencia (rohde&schwarz, s.f.). en la tabla 2 se detallan los parámetros a considerar para la selección de este equipo.

**Tabla 2.** Parámetros a considerar de un analizador de espectro

	ANRITSU MT8212B	AARONIA HF-6065
		
<b>Rango de frecuencias</b>	100 KHz -3.0 GHz	10 MHz – 6.0 GHz
<b>Sensibilidad</b>	-135 dBm con pre-amp	-150 dBm con pre-amp
	-115 dBm sin pre-amp	-135 dBm sin pre-amp
<b>Ancho de banda de resolución</b>	100 Hz – 1 MHz	3 KHz – 50 MHz

<b>Alimentación</b>	DC 12V	DC 12V
<b>Batería</b>	1800 mA NiMH	Aaronia 1300mAh NiMH
<b>Software</b>	Compatible con Handheld Software Tools	Compatible con Aaronia RTSA Suite
<b>Espectrograma</b>	Incorporado en el equipo, portabilidad	Necesario conectar a la PC, sin portabilidad
<b>Almacenamiento</b>	Hasta 200 trazos	Requiere conectar a la PC
<b>Comunicación con PC</b>	USB – RS232 DB9 NULL MODEM	Mniconector USB B
<b>RF IN</b>	Tipo N 50 ohm	Tipo SMA 50 Ohm
<b>Disponibilidad</b>	Accesible (convenio UNL – CNT)	Accesible (laboratorio de telecomunicaciones)

Nota: Elaboración propia.

Para escoger el analizador de espectro se realizó una tabla en la que se consideran varias métricas que permitieron seleccionar el equipo usado para el estudio en la etapa de medición.

- **Criterios para la selección del equipo**

Las características de los equipos son similares, por lo que se plantearon 3 criterios para la selección, los cuales se detallan a continuación.

1. Método de análisis (espectrograma): el equipo debe tener incorporado el espectrograma, para mejorar la portabilidad del equipo, ya que, el estudio se lo plantea realizar en exteriores.
2. Aplicaciones: el equipo a usar debe ser de uso profesional, con características avanzadas en la precisión de la toma de datos.
3. Almacenamiento: el equipo debe contar con almacenamiento interno para los trazos, con lo que se evitaría llevar un equipo externo conectado al analizador.

En la tabla 3 se detalla la valoración considerada para cada equipo propuesto para el estudio del nivel de ocupación espectral.

**Tabla 3.** Valoración de criterios para la selección de equipo

<b>Criterios de selección</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>
<b>Método de análisis (espectrograma)</b>	100%	0%
<b>Aplicación profesional</b>	100%	50%
<b>Almacenamiento</b>	100%	0%

Nota: Elaboración propia

El equipo MT8212B de la marca ANRITSU se presenta como la mejor opción para el desarrollo del trabajo, ya que, incluye mejores características en el tema de portabilidad y almacenamiento, permitiendo una movilidad efectiva en el área planteada para las mediciones, para ver más características del equipo revisar el **Anexo 1**.

#### **5.4.1.2. Antena**

Para lograr una correcta asimilación de la radiación dispersa en el medio ambiente, se precisa de una antena que tenga una buena ganancia y considerable ancho de banda, que se relaciona con el alcance o la superficie que puede cubrir, permitiendo obtener mayor precisión y mejorando la calidad de los datos presentes en el estudio, en la tabla 4 se presenta los parámetros de comparación para la selección del equipo radiante.

**Tabla 4.** Características de la antena

	<i>HyperLOG 7060</i>	GRA-D3000
		
<b>Directividad</b>	Direccional	Omnidireccional
<b>Diseño</b>	Log-periodical	Discono

<b>Ganancia(typ.)</b>	5dBi	3 dBi
<b>Conexión RF</b>	SMA (f) o N con adaptador	SO239 o RG58A/U10M
<b>Rango de frecuencia</b>	700 MHz – 6 GHz	75 MHz – 3GHz
<b>Impedancia nominal</b>	50 ohm	50 ohm
<b>VSWR (typ.)</b>	< 2	<1.5

Nota: Elaboración propia

- **Criterios para la selección de la antena**

El uso de la antena esta soportada bajo los siguientes criterios, que se detallan a continuación.

1. Multibanda: el aditamento debe ser capaz de hacer barridos espectrales en un amplio rango de frecuencias, con la facilidad de modificar este rango a beneficio propio.
2. Ganancia: la antena debe tener una buena ganancia para ampliar su alcance y disminuir los puntos de medición.
3. Disponibilidad y accesibilidad: la antena al ser usada para un estudio técnico debe contar con buenas características de construcción, además de la posibilidad de que se encuentre en la localidad, sin esperar a que sea traída de otro país.
4. Directividad: Según la recomendación de la (UIT-R, 2016) para que los resultados sean válidos dentro de un determinado radio respecto del lugar de observación, es necesario utilizar una antena no direccional.

En los casos que se indican a continuación se habrá de utilizar una antena de medición direccional:

- La medición debe mostrar la ocupación de una ubicación y servicio específicos que también utilizan antenas direccionales.
- El resultado de la medición debe ser válido para una zona no distribuida uniformemente alrededor del lugar de observación.

En la tabla 5 se detalla la valoración considerada para cada equipo propuesto para el estudio del nivel de ocupación espectral.

**Tabla 5.** Valoración de criterios para la selección de la antena

<b>Criterios de selección</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>
<b>Multibanda</b>	100%	100%
<b>Ganancia</b>	100%	50%
<b>Disponibilidad y accesibilidad</b>	100%	0%
<b>Directividad</b>	70%	100%

*Nota.* Elaboración propia

En vista de las condiciones planteadas para el uso de antenas direccionales, se ha considerado la geografía de la ciudad de Loja, su superficie irregular con elevaciones pronunciadas provoca variaciones significativas en la propagación de la señal, esto hace que el uso de la antena Hyper-LOG HF-7060 de la marca AARONIA, se considere como la mejor opción para obtener mediciones precisas, ya que, permite enfocar la señal en zonas específicas, destacando además que el implemento se encuentra dentro de las instalaciones de la Universidad Nacional de Loja en el laboratorio de Telecomunicaciones, facilitando el acceso a este equipo receptor, para revisar sus características técnicas, véase el **Anexo 2**.

#### **5.4.1.3. Tipo de cable**

El cable tiene un impacto directo en la calidad de la señal y la precisión de las mediciones, un buen cable lleva las señales captadas por la antena al analizador sin degradaciones significativas, lo que reduce errores asociados a la interferencia o pérdidas excesivas.

**Tabla 6.** Características de los cables de radiofrecuencia.

	<b>RPM 517 6906/01</b>	<b>LMR-400</b>	<b>LMR-240</b>
			
<b>Tipo de cable</b>	Coaxial de alto rendimiento	Coaxial de baja pérdida	Coaxial de baja pérdida

<b>Frecuencia</b>	Hasta 6 GHz	Hasta 6 GHz	Hasta 6 GHz
<b>Impedancia</b>	50 ohm	50 ohm	50 ohm
<b>Perdidas (dB/m)</b>	0.14 dB/m – 0.25 dB/m	0.13 dB/m – 0.27 dB/m	0.12 dB/m – 0.59 dB/m
<b>Pantalla de blindaje</b>	Alta (cobre trenzado + hoja de cobre)	Excelente (lamina + malla trenzada)	Buena (lamina + malla trenzada)
<b>Flexibilidad</b>	Moderada	Moderada	Excelente
<b>Conectores</b>	N - TNC	N - SMA	N - SMA
<b>Aplicaciones</b>	Medición de precisión en altas frecuencias	Conexiones RF de baja perdida	Espacios reducidos y conexiones cortas
<b>Disponibilidad</b>	Accesible (convenio UNL – CNT)	Adquisición	Adquisición

Nota: Elaboración propia.

Para escoger el tipo de cable de radiofrecuencia para la conexión de la antena y el analizador de espectro fue necesario realizar una tabla de valoración en la que se consideraron varias características propias de cada cable, que permitieron seleccionar la mejor opción para la línea de transmisión.

- **Criterios para la selección del cable**

Para la selección del cable o línea de transmisión se plantean varios criterios, que se detallan a continuación.

1. **Compatibilidad:** el sistema de medición debe incluir una línea de transmisión que sea compatible con el puerto RF IN del analizador y el puerto de la antena.
2. **Blindaje:** los materiales del blindaje para este tipo de cable deben estar compuesto por materias más absorbentes como la malla trenzada de cobre o laminas metálicas que aíslen contra interferencia electromagnéticas.

3. Aplicaciones: debe contar con una buena precisión para trabajar en altas frecuencias y con pocas pérdidas.
4. Disponibilidad y accesibilidad: el cable por las características técnicas que debe poseer, debe tener una disponibilidad local, evitando contratiempos al traerlo desde otra localidad.

**Tabla 7.** Valoración de criterios para la selección del cable

<b>Criterios de selección</b>	<b>Alternativa 1</b>	<b>Alternativa 2</b>	<b>Alternativa 3</b>
<b>Compatibilidad</b>	100%	100%	100%
<b>Blindaje</b>	100%	90%	90%
<b>Aplicaciones</b>	100%	80%	80%
<b>Disponibilidad</b>	100%	0%	0%

*Nota.* Elaboración propia

Se ha seleccionado el cable RPM 517 6906/01 de cobre trenzado y hoja de cobre, para implementarlo en el sistema como línea de transmisión, dicha selección se sostiene por ser la opción más coherente y con mejores prestaciones al reducir las pérdidas en altas frecuencias, además, el cable se encuentra en una empresa local como lo es CNT-Loja, que, gracias al convenio con la Universidad Nacional de Loja, favoreció el uso del mismo.

#### ***5.4.1.4. Unidad de procesamiento externo***

La gestión de las mediciones realizadas con el ANRITSU, necesitan una unidad externa que realice la función de procesamiento y almacenamiento de datos, esta unidad debe ser compatible con el analizador de espectro, ya que, el modelo MT8212B funciona con el programa Handheld Software Tools desarrollado y soportado hasta el año 2007, compatible con los sistemas operativos Windows XP y Windows Vista de 32 bits (Anritsu, 2015), a continuación, se detallan algunos requerimientos del sistema operativo.

**Figura 6.** Microsoft Windows XP



*Nota.* Tomado de (Ros, 2020)

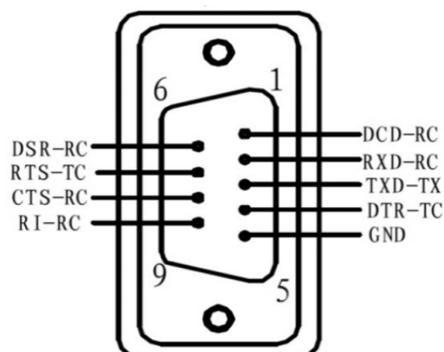
Según (López, s.f.) los requisitos mínimos de hardware para Windows XP Professional son:

- Procesador Pentium a 233 megahercios (MHz) o mayor velocidad (se recomienda 300 MHz)
- Al menos 64 megabytes (MB) de RAM (se recomienda 128 MB)
- Un mínimo de 1,5 gigabytes (GB) de espacio disponible en el disco duro
- Unidad de CD-ROM o DVD-ROM
- Adaptador de vídeo y monitor con una resolución Super VGA (800 x 600) o mayor

#### ***5.4.1.5. Cable adaptador USB a SERIE***

El cable adaptador permite tener una comunicación bidireccional entre el analizador de espectro y la computadora encargada del almacenamiento y procesamiento de las mediciones, el cable debe tener la característica de ser Null Modem véase la figura 7, sin esta característica el analizador no puede entrar al funcionamiento remoto, y los archivos .SPG no se pueden descargar.

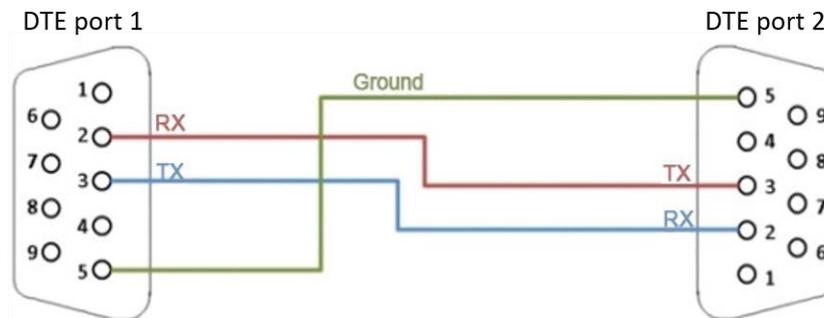
**Figura 7.** Pines del cable Null-Modem



*Nota:* Tomado de (Tripp-Lite, 2015)

Un punto a tener en consideración es la disponibilidad del cable a nivel local, nacional o internacional, este tipo de cable se lo puede adquirir bajo pedido en otros países, por esta razón, se realizó una adaptación utilizando un cable genérico, ajustando la conexión de los pines mediante el cruce de los pines de TX -RX y RX-TX que se lo puede ver en la figura 8.

**Figura 8.** RS232 db9 - Null-Modem



Nota: Tomado de (Bies, s.f.)

#### 5.4.2. Proceso de evaluación

Para el proceso de medir y evaluar la ocupación en las bandas 915MHZ y 2.4GHz, en el presente estudio se implementó la recomendación de la (UIT-R, 2016), la cual plantea una estructura detallada para el proceso, con diferentes parámetros a considerar para presentar los datos de la utilización racional, equitativa y eficaz del espectro. A continuación, se detallan los parámetros que influyen de forma directa en el estudio.

##### 5.4.2.1. Área de estudio

El presente Trabajo de Titulación, se desarrolló en el casco urbano central de la ciudad de Loja (regeneración urbana), abarcando aproximadamente 170 hectáreas, esta área se caracteriza por la convergencia de la mayoría de actividades comerciales, educativas y culturales de la ciudad (UTPL, 2023), que comprende las calles: Av. Universitaria, Chile, 18 de Noviembre, Av. Gobernación de Mainas, Eduardo Kigman, Sozoranga, Gonzales Suarez, José Joaquín de Olmedo, Andrés Bello, Juan José Peña, Catacocha y la Av. Emiliano Ortega. A continuación, se define y delimita el área de estudio y se presentan las calles más relevantes que encierran esta superficie geográfica.

**Figura 9.** Delimitación geográfica del casco urbano central



Nota: Tomado de (Google Earth Pro, 2024)

#### **5.4.2.2. Verificación operativa y manipulación de equipos y accesorios.**

En este apartado se detalla el manejo de los diferentes elementos que se van a usar, luego de que la empresa CNT en convenio interinstitucional suministrara algunos de estos implementos, de acuerdo al oficio N.º UNL-FEIRNNR-CTELEC-2024-03 (ver **Anexo 3**), además, del apoyo por parte de la Universidad que, a través del laboratorio de Telecomunicaciones, facilita el uso de accesorios extras necesarios en el presente estudio.

En la figura 10 se establecen las condiciones del equipo tanto de hardware como de software, contando con una funcionalidad íntegra, que permite una excelente manipulación del mismo, además de visualizar los diferentes elementos que componen el sistema global de monitoreo.

**Figura 10.** Elementos que comprenden el sistema.



Nota: Elaboración propia.

Verificado el estado del analizador, conectamos la antena HF-7065 con el acoplador de TNC a SMA en el extremo que va conectado a la antena y en otro extremo directo al equipo con el conector tipo N figura 11, configurando ciertos parámetros como la frecuencia inicial y final para empezar el escaneo, los demás parámetros los vamos configurando conforme se visualice la señal y espectrograma en la pantalla del analizador.

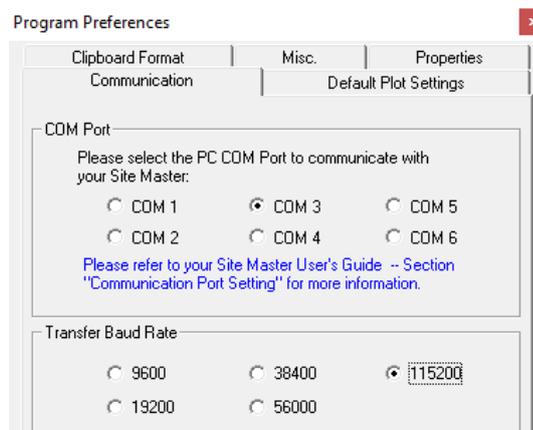
**Figura 11.** Conexiones de la antena y del analizador de espectro



Nota: Elaboración propia.

Como paso siguiente se estableció la comunicación bidireccional entre el analizador de espectro y la unidad de almacenamiento externa, como base debe tener el Sistema Operativo Windows XP o Windows Vista de 32 bits y el programa Handheld Software Tools, en el cual se debe configurar el puerto COM y el número de baudios como se puede ver en figura 12, esto para que el analizador pueda entrar en modo remoto y permita descargar los trazos que se encuentran guardados en la memoria interna en formato .SPG.

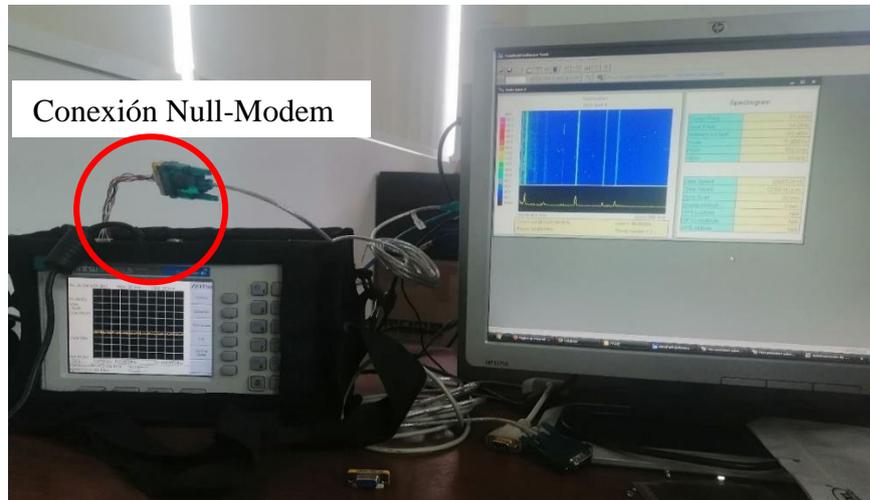
**Figura 12.** Configuración del programa HHTS



Nota: Elaboración propia

Para esta comunicación como se mencionó en el apartado 5.4.1.5 el cable USB a Serial debe poseer una configuración específica en los pines, por lo que se realizó una adaptación a un cable genérico con el cual se pudo establecer el intercambio fluido de datos, esta conexión se puede ver en la figura 13.

**Figura 13.** Conexión del MT8212B y la computadora



Nota: Elaboración propia

Una vez solventados todos los inconvenientes, se llevaron a cabo las pruebas preliminares ver la figura 14, con el objetivo de establecer valores de referencia y determinar las métricas de evaluación.

**Figura 14.** Instalación de equipos y monitoreo experimental del espectro

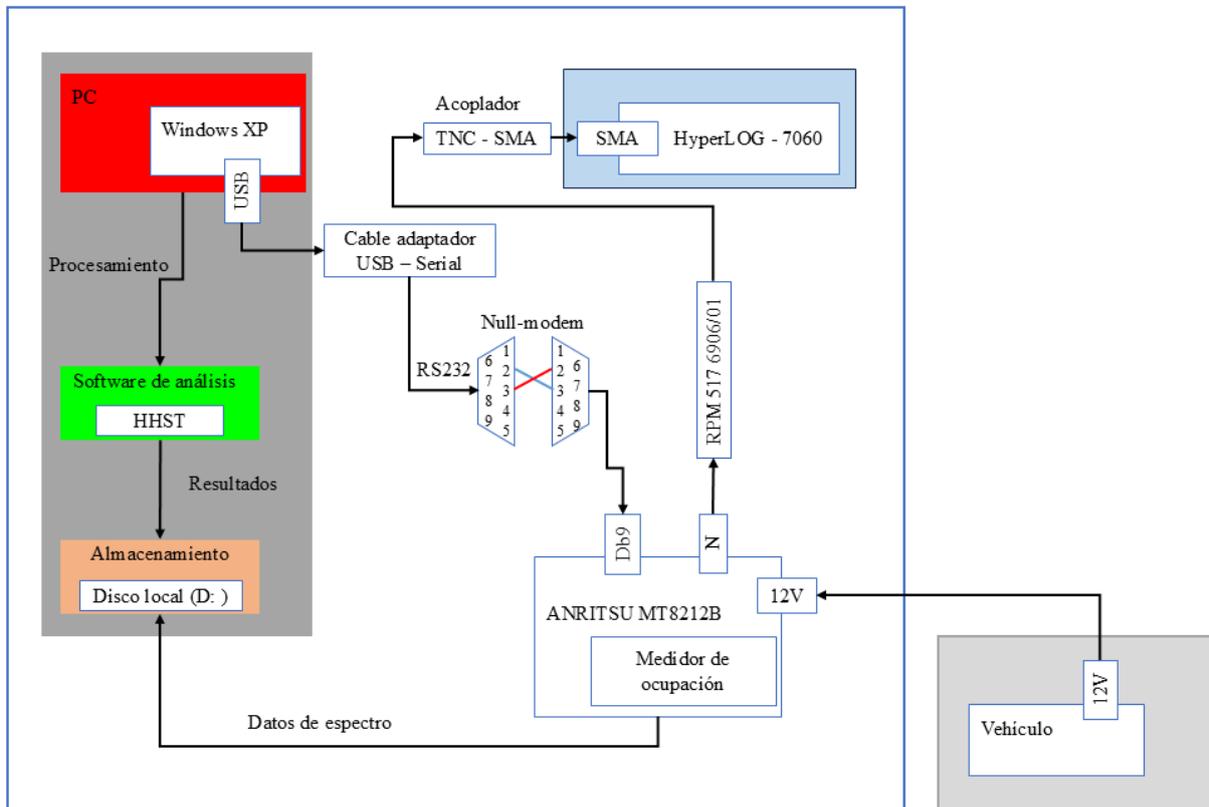


Nota: Elaboración propia

### 5.4.2.3. Diagrama de la arquitectura del sistema

El sistema completo de monitoreo se lo detalla en la figura 15, en donde se plantea las diferentes interconexiones que se van a tener para el correcto desempeño de los equipos.

**Figura 15.** Arquitectura del sistema de monitoreo



Nota: Elaboración propia

### 5.4.2.4. Zona de medición

Tal como indica la (UIT-R, 2016), por zona de medición se entiende la zona en la que los resultados de la ocupación son válidos, es decir, el grado de la ocupación se considera representativo de cualquier lugar dentro de la zona de medición, no solamente del lugar donde se encuentra la antena de comprobación técnica.

Para determinar la ocupación dentro del área de estudio, se la dividió en diferentes puntos que vendrían a ser las zonas de medición, considerando varios parámetros, como la actividad comercial, el tránsito peatonal, el uso del espacio (comercial o residencial) y la cobertura de los instrumentos de medición.

- **Cobertura de los instrumentos de medición**

La cobertura de los instrumentos, se lo determinada aplicando el modelo de propagación Walfisch-Bertoni también conocido como “modelo de pantallas de difracción”, este modelo permite estimar las pérdidas de propagación en ambientes urbanos considerando la difracción de la señal en el techo de los edificios. El modelo de Walfisch-Bertoni es aplicable para las frecuencias comprendidas entre 300 MHz y 3 GHz (Pérez et al., 2012).

$$L(dB) = 89.55 + A + 21 \log(f) + 38 \log(d) - 18 (h_{eb} - h_{ed}) - 18 \log \left[ 1 - \frac{d^2}{17(h_{eb} - h_{ed})} \right] \quad (1)$$

Donde **A** es el factor que incorpora las perdidas por efecto de los edificios y se determina de la siguiente manera:

$$A = 5 \log \left[ \left( \frac{w}{2} \right)^2 + (h_{ed} - h_m)^2 \right] - 9 \log(w) + 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{2((h_{ed} - h_m))}{w} \right] \right\} \quad (2)$$

Con  $h_{eb}$  siendo la altura de la antena de la estación radio base (en metros),  $h_m$  la altura de la antena móvil (en metros),  $h_{ed}$  es la altura promedio de los edificios (en metros) y  $w$  la separación entre los edificios (en metros).

El modelo de propagación determina las perdidas considerando cierta distancia, estas pérdidas en comparación con el presupuesto del enlace van a ser menores o iguales.

$$P_e = P_{TX} - P_{ctx} + G_{TX} + G_{RX} - P_{RX} - S_{RX} \quad (3)$$

$P_{TX}$ : Potencia del transmisor [dBm]

$P_{ctx}$ : Pérdida en el cable de TX [dB]

$G_{TX}$ : Ganancia de antena de TX [dBi]

$G_{RX}$ : Ganancia de antena de RX [dBi]

$P_{RX}$ : Pérdidas en el cable de RX [dB]

$S_{RX}$ : Sensibilidad del RX [dBm]

Esta relación se la puede justificar con el margen de desvanecimiento que es la potencia extra de señal que un enlace necesita para asegurarse que continuara en funcionamiento, aunque sufra efectos anómalos (Monachesi et al., 2013). Sin embargo, este valor en algunos

casos puede ser despreciable y no aportar significativamente a la estabilidad o rendimiento general del enlace.

$$M_d = P_{TX} - P_{ctx} + G_{TX} + G_{RX} - P_{RX} - S_{RX} - L(dB) \quad (4)$$

O,

$$M_d = \text{presupuesto del enlace} - L(dB) \quad (5)$$

Donde:

$L(dB)$ : Pérdidas en la propagación en espacio libre [dB]

$M_d$ : Margen de desvanecimiento [dBm].

### **Primer paso**

Como primer paso calculamos el presupuesto del enlace que debería tener el sistema considerando los parámetros establecidos en la tabla 8, para lo cual usamos la formula (3).

**Tabla 8.** Parámetros usados en el presupuesto del enlace

Parámetros	$P_{TX}$	$P_{ctx}$	$G_{TX}$	$G_{RX}$	$P_{RX}$	$S_{RX}$
					0.142	-135dBm
Valores	20dBm	-0dBm	3dBi	5dBi	dB/m	
					0.25	-115dBm
					dB/m	

Nota: Elaboración propia

### **Para 915MHz**

$$P_e = 20dBm - 0 + 3 dBi + 5dBi - 0.284 dB - (-135dbm)$$

$$P_e = 162.71 dB$$

### **Para 2.4GHz**

$$P_e = 20dBm - 0 + 3 dBi + 5dBi - 0.5 dB - (-115dbm)$$

$$P_e = 142.5 dB$$

### Segundo paso

Obtenido el presupuesto para cada una de las bandas se podría empezar con estimación de las pérdidas de propagación formula (1), para lo cual, primero se va a calcular las pérdidas por efecto de los edificios (A):

**Tabla 9.** Parámetros considerados en las perdidas por efecto de los edificios

Parámetros	Valores
$w$	11m
$h_{ed}$	9m
$h_m$	4m

*Nota.* La separación entre edificios  $w$  se la puede promediar con ayuda de la memoria técnica del plan de la regeneración urbana en la sección de descripción por cada tramo de intervención (**Anexo 4**) y  $h_{ed}$  por medio de la observación se determina el promedio de altura de las estructuras civiles.

$$A = 5 \log \left[ \left( \frac{11}{2} \right)^2 + (9 - 4)^2 \right] - 9 \log(11) + 20 \log \left\{ \tan^{-1} \left[ \frac{2(9 - 4)}{11} \right] \right\}$$

$$A = 31.21dB$$

### Para 915MHz

Una vez calculado el factor de pérdidas por los edificios, se procede a obtener las pérdidas por propagación, como no se sabe la distancia que se puede cubrir, se va a iterar a los 200m, 300m, 400m, 500m, 600m, 700m, 800m y 900m, tratando de que se cumpla la condición de que las pérdidas de propagación  $\leq$  presupuesto del enlace.

**Tabla 10.** Parámetros a considerar en las pérdidas de propagación en 915MHz

Parámetros	Valores
$h_{eb}$	10m
$h_{ed}$	9m
$f$	915MHz

*Nota:*  $h_{eb}$  se considera mas alto que el promedio de los edificios, en la banda de 2.4GHz el valor sería más bajo que la altura de los edificios, al promediar con la altura que vendría a tener una antena en la banda 915MHz este valor aumenta.

$$L(dB) = 89.55 + 31.21 + 21 \log(915) + 38 \log(0.2) - 18 (10 - 9) - 18 \log \left[ 1 - \frac{0.2^2}{17(10 - 9)} \right]$$

$$L(dB) = 138.39$$

**Tabla 11.** Perdidas de propagación en la banda 915MHz al iterar con diferentes distancias

Parámetros	Valores					
$d$	200m	300m	400m	....	800m	900m
$L(dB)$	138.39dB	145.11dB	147.20dB	....	161.55dB	163.59dB
$P_e$	162.71 dB					

Nota. Elaboración propia

$$M_d = \text{presupuesto del enlace} - L(dB)$$

$$M_d + L(dB) = \text{presupuesto del enlace}$$

$$161.55 \text{ dB} \leq 162.71 \text{ dB}$$

### Para 2.4GHz

En el caso de esta banda se va a iterar a los 100m, 150m y 200m tratando de que se cumpla la condición de que las pérdidas de propagación  $\leq$  presupuesto del enlace.

**Tabla 12.** Parámetros a considerar en las pérdidas de propagación en 2.4GHz

Parámetros	Valores
$h_{eb}$	10m
$h_{ed}$	9m
$f$	2.4GHz

Nota.  $h_{eb}$  se considera mas alto que el promedio de los edificios, en la banda de 2.4GHz el valor sería más bajo que la altura de los edificios, pero al promediar con la altura que vendría a tener una antena en la banda 915MHz este valor aumenta.

$$L(dB) = 89.55 + 31.21 + 21 \log(2400) + 38 \log(0.1) - 18 (10 - 9) - 18 \log \left[ 1 - \frac{0.1^2}{17(10 - 9)} \right]$$

$$L(dB) = 135.74$$

**Tabla 13.** Perdidas de propagación en la banda 2.4GHz al iterar con diferentes distancias

Parámetros	Valores		
$d$	100m	150m	200m
$L(dB)$	135.74dB	142.44dB	147.20dB
$P_e$	142.5		

Nota. Elaboración propia

$$M_d + L(dB) = \text{presupuesto del enlace}$$

$$142.44 \leq 142.71$$

### **Tercer paso**

En base a las distancias correspondientes con las que se iteraron y los demás criterios que se consideraron para determinar una zona de medición adecuada, para las dos bandas de frecuencias ISM. En el caso de la banda 915MHz, aunque la superficie a cubrir puede llegar hasta los 800m, se ha determinado por la geografía del área, limitar esta superficie hasta los 300m y 320m, dividiendo la zona de estudio en siete puntos como se lo puede ver en la figura 16, y cuyas coordenadas se las detalla en la tabla 14.

**Figura 16.** Puntos de medición de la banda 915MHz



Nota. Tomado de (Google Earth Pro, 2024)

La ubicación geográfica en coordenadas de longitud y latitud de los puntos o zonas de medición se los detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 14.** Coordenadas de las zonas de medición en la banda 915MHz

<b>Puntos de interés</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>
Punto 1	3°59'32.91"S	79°12'12.58"O
Punto 2	3°59'49.99"S	79°12'11.24"O
Punto 3	4°0'09.01"S	79°12'09.74"O
Punto 4	4°0'26.94"S	79°12'08.74"O
Punto 5	4°0'46.12"S	79°12'06.27"O
Punto 6	3°59'45.88"S	79°11'57.03"O
Punto 7	4°0'04.32"S	79°11'55.60"O

Nota. Elaboración propia.

En el caso de la banda 2.4GHz, la superficie a cubrir se limita aproximadamente hasta los 150m, por lo cual se usó distancias de 140m para zonas más comerciales con alta densidad de personas y los 150m se lo destino para zonas más residenciales con menor densidad de personas, dando un total de 24 puntos en toda el área de estudio, en este caso por el tamaño y la visibilidad se optó por dividir el mapa en dos figuras 17 y 18 cuyas coordenadas se detallan en la tabla 15.

**Figura 17.** Puntos de medición de la banda 2.4GHz (punto 1 – 21)



Nota: Elaboración propia

**Figura 18.** Puntos de medición de la banda 2.4GHz (punto 22 – 24)



Nota Elaboración propia

**Tabla 15.** Coordenadas de las zonas de medición en la banda 2.4GHz

Puntos de interés	Latitud	Longitud
Punto 1	3°59'27.28"S	79°12'15.76"O
Punto 2	3°59'29.63"S	79°12'10.60"O
Punto 3	3°59'36.07"S	79°12'15.71"O

---

Punto 4	3°59'35.30"S	79°12'08.51"O
Punto 5	3°59'43.42"S	79°12'15.14"O
Punto 6	3°59'42.80"S	79°12'07.90"O
Punto 7	3°59'42.34"S	79°12'01.15"O
Punto 8	3°59'50.32"S	79°12'14.59"O
Punto 9	3°59'49.57"S	79°12'07.33"O
Punto 10	3°59'49.20"S	79°12'00.62"O
Punto 11	3°59'48.68"S	79°11'53.33"O
Punto 12	3°59'57.84"S	79°12'13.95"O
Punto 13	3°59'57.24"S	79°12'06.89"O
Punto 14	3°59'56.84"S	79°12'00.03"O
Punto 15	3°59'57.31"S	79°11'52.50"O
Punto 16	4°00'05.25"S	79°12'13.37"O
Punto 17	4°00'04.91"S	79°12'06.32"O
Punto 18	4°00'04.51"S	79°11'59.49"O
Punto 19	4°00'07.77"S	79°11'49.41"O
Punto 20	4°00'11.21"S	79°11'59.03"O
Punto 21	4°00'13.46"S	79°12'09.48"O
Punto 22	4°00'22.85"S	79°12'09.08"O
Punto 23	4°00'32.19"S	79°12'08.28"O
Punto 24	4°00'41.41"S	79°12'06.59"O

---

Nota: Elaboración propia

#### ***5.4.2.5. Duración de la observación***

La recomendación de la (UIT-R, 2016), establece que es el periodo de tiempo total empleado para medir la ocupación:

El periodo de la observación para la obtención de información referida a la radiación electromagnética tuvo una duración aproximada de 2 meses y 2 días, estableciendo un horario de media aleatoria en cada uno de los puntos y en días distintos, la razón de elegir días diferentes y horas aleatorias, es para aumentar la precisión estadística al distribuir las mediciones, mejora la representatividad de los datos, reduciendo la influencia de eventos que pueden ocurrir en ciertos y únicos momentos, y también se pueden identificar comportamientos regulares o atípicos, generando datos fiables evidenciando las tendencias del espectro.

#### ***5.4.2.6. Número de muestras***

Para estimar el número de muestras en las mediciones, hay que tomar en cuenta que la banda de los 2.4GHz es mayormente ocupada por sistemas Wi-Fi, que en Ecuador dispone de 13 canales (2.412GHz - 2.483GHz) (ARCOTEL, 2021), gran parte de estos canales se interfieren por el solapamiento existente, de estos canales se tiene 3 que no se interfieren con otros el 1, 6 y 11 (Intel, 2023). Por lo que se estima que se observe más potencias altas en las frecuencias centrales de estos canales.

En la banda de 915 MHz para determinar este número de muestras se considera un Ancho de Banda de 1 MHz, contando con 26 canales, y dentro de cada canal encontrar los picos de energía que sobresalen y pueden representar envió de información y por lo tanto ocupación espectral.

Para conseguir una precisión con un intervalo de confianza estadístico fiable es necesario estimar un número mínimo de muestras, si las estaciones transmiten las 24 horas del día de forma fluida, bastaría con pocas muestras para conseguir datos confiables, cuando las transmisiones se reducen y por lo tanto la ocupación baja, es necesario un mayor número de muestras para obtener la misma precisión (Viteri et al., 2015).

El porcentaje de error con el que se va a trabajar al momento de escoger el número de muestras, se lo obtiene al despejar y resolver la formula (6), la cual es aplicada para tamaño de muestra de un grupo de una población conocida, en donde el rango de porcentaje de error en la muestra aceptable esta entre 0 - 5%, si se sobrepasa este porcentaje el número de muestras es insuficiente por lo que los datos no serán fiables (Viteri et al., 2015).

$$m = \frac{N}{(N - 1)k^2 + 1} \quad (6)$$

Donde:

N: es el ancho de banda (Hz)

k: es el porcentaje de error de la población

m: es el número de muestras.

Despejando k y realizando los cálculos pertinentes, se obtiene como valor del porcentaje de error en la población de 4.99%, encontrándose dentro del rango aceptable, por lo tanto, las 400 muestras serían suficientes para determinarse como datos fiables.

$$k = \sqrt{\frac{N - m}{m(N - 1)}}$$

**Para 915MHz**

$$k = \sqrt{\frac{26000000 - 400}{400(26000000 - 1)}}$$

$$k = 4.99\%$$

**Para 2.4GHz**

$$k = \sqrt{\frac{71000000 - 400}{400(71000000 - 1)}}$$

$$k = 4.99\%$$

#### ***5.4.2.7. Tiempo de iteración***

Lo que dice la recomendación de la (UIT-R, 2016), que el tiempo de iteración es el tiempo necesario para barrer todos los canales que se han de medir (estén o no estén ocupados) y volver al primer canal.

Durante las pruebas preliminares con el analizador de espectro, se obtuvieron diversas métricas que permitieron analizar el comportamiento del barrido en función del ancho de banda de resolución, se evidencio que la velocidad del barrido varía entre 3 y 6 segundos al usar un RBW (Ancho de Banda de Resolución) de 100KHz empleado en la banda de 2.4GHz. Sin

embargo, si el RBW se reduce a 10KHz aplicado en la banda de 915MHz, el tiempo de iteración aumenta significativamente llegando a alcanzar hasta 8seg.

#### 5.4.2.8. *Tiempo de medición de muestra ( $T_M$ )*

Siendo el tiempo de medición real de un canal o una banda, en el caso del presente estudio se determinó un tiempo total para obtener todas las muestras, en los puntos ubicados dentro del área de estudio, en la banda de 915MHz, se estimó una duración de 11 horas con 40 minutos y un tiempo de 40 horas para la banda de los 2.4GHz.

Se planteó un periodo de tiempo de 10 segundos de corte, es decir cada 10s aproximadamente se toma una muestra, este valor puede variar, debido al tiempo de iteración de cada barrido, entonces en el periodo de tiempo puede dar hasta 3 barridos antes de tomar la muestra lo que puede sumar más tiempo del que realmente está marcando, hasta demorarse unos 20 minutos para acabar el escaneo de las 80 muestras que nos permite hacer en el analizador en una sola medición.

#### 5.4.2.9. *Tiempo de observación ( $T_{Obs}$ )*

Es el tiempo que necesita el sistema para realizar las mediciones del caso, comprendido todo el procesamiento general, como el almacenamiento de los resultados en memoria/disco y la sintonización del receptor a la frecuencia deseada (UIT-R, 2016).

$$T_{Obs} = T_M + \text{tiempo de procesamiento} \quad (7)$$

El tiempo de procesamiento aumenta considerablemente al agregar cambios en los parámetros de medición y el guardar las mediciones, ya sea en la memoria interna o de forma remota en una unidad externa, este incremento de tiempo se debe a que el proceso de carga y almacenamiento consume bastantes recursos tanto de la computadora como del analizador.

Se va a considerar que por cada medición se aumentaron 10 minutos de procesamiento esto da como resultado un aumento considerable en el tiempo de medición, este cambio se lo puede ver en la tabla (16).

**Tabla 16.** Tiempo de observación en cada banda

	$T_M$	<i>tiempo de procesamiento</i>	$T_{Obs}$
915MHz	11h:40min	5h:50min	17h:30min

2.4GHz	40h:00min	20h: 00min	60h: 00min
--------	-----------	------------	------------

*Nota.* Elaboración propia

#### **5.4.2.10. Selectividad**

Uno de los aspectos a considerar al medir múltiples canales o bandas de frecuencia enteras es separar las emisiones de los canales adyacentes, si el ancho de banda de medición es demasiado grande y la emisión intensa, los canales adyacentes pueden parecer también ocupados (UIT-R, 2016).

Por lo tanto, la resolución en frecuencia del equipo de medición debe ser, como mínimo, tan pequeña como la separación del canal (más estrecha) de la banda de frecuencias considerada (UIT-R, 2016), es decir, el RBW (el ancho de banda de resolución) mientras más bajo permite distinguir señales que estén muy cercanas en frecuencia, aumentando la precisión en las mediciones, es por esto que en la tabla (17) se detallan los RBWs utilizados para cada una de las bandas.

**Tabla 17.** Ancho de banda de resolución para cada banda

<b>Banda</b>	<b>RBW</b>
915MHz	100KHz
2.4GHz	10KHz

*Nota:* Elaboración propia

#### **5.4.2.11. Margen dinámico**

Debe ser lo suficientemente sensible como para detectar las señales más débiles y debe ser capaz de medir señales muy intensas procedentes de transmisores cercanos (UIT-R, 2016), se podría decir que es el máximo y mínimo nivel de potencia detectable, que con la escala se podría aumentar este rango, en la siguiente tabla (18) se presentan las métricas utilizadas en las diferentes bandas.

**Tabla 18.** Margen dinámico para cada banda

<b>Banda</b>	<b>Margen dinámico</b>	<b>Escala</b>
--------------	------------------------	---------------

915MHz	-50 dBm a -100 dBm	5dB/Div
2.4GHz	-80 dBm a -140 dBm	6dB/Div

Nota. Elaboración propia

#### 5.4.2.12. *Umbral*

Uno de los parámetros de mayor relevancia en un estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico viene a ser el umbral, el cual debe ser lo suficientemente pequeño para poder detectar todas las señales que pueden emplear los receptores comerciales, pero sin ser demasiado pequeño, debido a que podría producir emisiones ficticias (UIT-R, 2016).

La recomendación (UIT-R, 2016) indica dos métodos para fijar el valor del umbral.

- Preestablecido: valor que permanece constante durante toda la comprobación técnica
- Dinámico: si la finalidad de la medición es detectar el mayor número posible de emisiones, con independencia de su nivel, se puede utilizar el umbral adaptable al nivel real de ruido.

Para el estudio realizado se definió el uso del umbral preestablecido que muestra exactamente la situación en el lugar donde se efectúa la comprobación técnica.

El valor umbral se debe establecer en base al siguiente criterio (UIT-R, 2016):

- La sensibilidad del receptor más la relación S/N mínima para el servicio de radiocomunicaciones específico.
- Si el ancho de banda de medición (RBW) es considerablemente inferior al ocupado por la emisión observada, el umbral debe reducirse por  $10\log\left(\frac{OBW}{RBW}\right)$ .

Por tanto, la formula a usarse para definir el umbral preestablecido vendría a quedar de la siguiente manera.

$$Umbral = S_R + \frac{S}{N} + 10 \log\left(\frac{OBW}{RBW}\right) \quad (8)$$

Donde:

$S_R$ : sensibilidad del receptor

$\frac{S}{N}$ : relación señal - ruido

*OBW*: ancho de banda de observación

*RBW*: ancho de banda de resolución

Para sistemas digitales la relación señal – ruido (S/N) mínima descrita en la recomendación (UIT-R, 2016) es de 15dB, excepto en sistemas espectro ensanchado por secuencia directa, con este dato esencial podemos calcular el umbral, considerando además que el analizador ANRITSU tiene dos niveles de sensibilidad -115dBm sin preamplificador y -135dBm con preamplificador.

### **Para 915MHz**

Para obtener mediciones con potencias bajas usamos el preamplificador, debido a que esta banda suele tener niveles de recepción muy tolerables, además el OBW se fijó en 1MHz que es el ancho de banda que se usó para obtener las muestras de cada canal.

$$Umbral = -135dBm + 15dB + 10 \log\left(\frac{1MHz}{10KHz}\right)$$

$$Umbral = -100 dBm$$

### **Para 2.4GHz**

Por lo general los sistemas que trabajan en estas frecuencias más elevadas, tienden a tener niveles de recepción altos, por lo que no se usara preamplificador, el OBW se fijó en 22MHz que es el ancho de banda de los sistemas Wi-Fi mayormente proliferantes en esta banda.

$$Umbral = -115dBm + 15dB + 10 \log\left(\frac{20MHz}{100KHz}\right)$$

$$Umbral = -76.99 dB$$

## **5.5. Procesamiento y análisis de datos**

Establecidos los parámetros de medición, se puede configurar el analizador de espectro ANRITSU MT8212B, para obtener las muestras en las distintas zonas de medición dentro del área de estudio, que van a servir para estimar el nivel de ocupación radioeléctrica que existe en la regeneración urbana, a continuación, en la tabla (19) se detallan estos parámetros

**Tabla 19.** Parámetros de configuración del analizador de espectro

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>	
Rango de frecuencias	902Mhz – 928Mhz	2,401Mhz – 2,473Mhz
Frecuencia de Span	26Mhz	72Mhz
Nivel de referencia	-80 dBm a -140 dBm	-50 dBm a -100 dBm
Escala	6 dB/Div	5 dB/Div
RBW	10Khz	100Khz
VBW	10Khz	3Khz
Preamplificador	Con preamp (-135 dBm)	Sin preamp (-115 dBm)
Tipo de medida radioeléctrica	Espectrograma	

*Nota.* Elaboración propia

En las configuraciones se menciona el VBW (el ancho de banda de video) es un filtro que suaviza la señal mostrada en la pantalla, eliminando variaciones rápidas, ruidos no deseados, armónicos o picos esporádicos, por lo que es recomendable mantener un VBW bajo que permita identificar señales pequeñas, es preferible un valor más bajo que el RBW dando como resultado un suavizado más efectivo (AARONIA).

### **5.5.1. Procesamiento de los datos**

En la medición previa realizada en la banda 2.4 GHz, que comprende 24 zonas de medición, y en la banda 915 MHz, con 7 zonas, se obtuvieron las 400 muestras por canal planteadas en la sección 5.4.2.6, el almacenar estos datos de los niveles de potencia dispersa de los distintos canales es una ardua tarea considerando que cada canal debe tener alrededor de 400 muestras para ser considerado un dato fiable, es por ello que se los almaceno en hojas de cálculo de Excel.

En la selección de estado se compara la potencia promedio con el umbral, si es mayor o igual, entonces el  $State_{i,j}$  toma el valor de 1 (ocupado), caso contrario 0 (desocupado), como se lo puede ver en la fórmula 9.

$$State_{i,j} = \begin{cases} 1; & P_{I,cij} \geq Umbral \\ 0; & OTROS \end{cases} \quad (9)$$

Considerando las hojas de cálculo de Excel como base de datos, y considerando los umbrales obtenidos en el punto 5.4.2.12 se puede realizar la exclusión de los datos que superan este umbral, quedando únicamente las potencias que están por encima del mismo y que son consideradas ocupación, para esto se diseñó un código en Python que se ejecuta en Google colab y utiliza diferentes bibliotecas propias para trabajar con grandes cantidades de datos como Pandas y Openpyxl que permite trabajar con archivos Excel y agregar relleno a las celdas (ver Anexo 5).

Como resultado se obtiene una nueva hoja de cálculo con las celdas remarcadas en los niveles altos de potencia que superan el umbral, y cada canal consta con la cantidad total de muestras que superan este umbral, facilitando el siguiente paso que es obtener los promedios de ocupación.

### 5.5.2. *Análisis de datos*

En la siguiente sección se especifica la forma principal que la (UIT-R, 2016) establece para calcular el porcentaje de ocupación, de un solo canal o en toda la banda de frecuencia.

#### 5.5.2.1. *Ocupación del canal de frecuencia*

Para determinar la ocupación por canal la recomendación UIT-R propone el uso de la siguiente fórmula con la que se podría hallar de forma rápida el nivel de ocupación.

$$FCO = \frac{N_o}{N} \quad (10)$$

Donde:

$N_o$ : el numero de muestras medidas en el canal considerado cuyo nivel es superior al umbral

$N$ : el numero de muestras tomadas en el canal durante el periodo de integración.

### ***5.5.2.2. Ocupación de la banda de frecuencia***

Para obtener la ocupación por banda la UIT-R plantea una fórmula similar a la de la ocupación por canal, pero en este caso aplicado a todas las muestras obtenidas que superen el umbral, la fórmula vendría representada de la siguiente manera.

$$FBO = \frac{N_o}{N} \quad (11)$$

Donde:

$N_o$ : número de muestras cuyo nivel es superior al umbral

$N$ : número total de muestras medidas durante el periodo de integración.

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados de la investigación sobre el uso del espectro radioeléctrico para tecnologías emergentes en Loja

El municipio de la ciudad de Loja fue establecido como la fuente primaria de información, la institución tiene como funciones principales la gestión, el control y la planificación de toda la infraestructura pública existente que se encuentre dentro del casco urbano, para lo cual, a través de la dirección de carrera se gestionó el envío del oficio UNL-FEIRNNR-CTELEC-2024-02, el cual fue ingresado a trámite el 02 de Noviembre del 2024 a través de la ventanilla municipal correspondiente el día 03 de Noviembre del 2024. Luego del tiempo prudente de atención al mencionado oficio, se obtuvo como respuesta que la Dirección de Tecnología del Municipio de Loja NO DISPONE de información relacionada a la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias involucradas en el desarrollo de este estudio, dentro del casco urbano de la ciudad específicamente en el Área de Regeneración Urbana (**ver Anexo 6, donde se incluye la respuesta oficial del oficio**).

Al no contar con la información técnica por parte del municipio, se definió el uso de fuentes secundarias, en busca de establecer cómo se encuentra siendo utilizado el espectro en la zona urbana de la ciudad.

En el artículo publicado en la revista eSMARTCITY.es, por (Samaniego, 2019), indica el uso progresivo de sistemas LPWAN en la red de telegestión de luminarias con LoRaWAN, El dispositivo inteliLIGHT Fre-220-M, trabaja en la banda 915MHz con una potencia máxima de radiación de 100mW, con un umbral de recepción de -148dBm. Este proyecto cubre el total de las 1000 luminarias LED instaladas en el área de la regeneración urbana, en la figura 19 se puede ver que actualmente siguen funcionales.

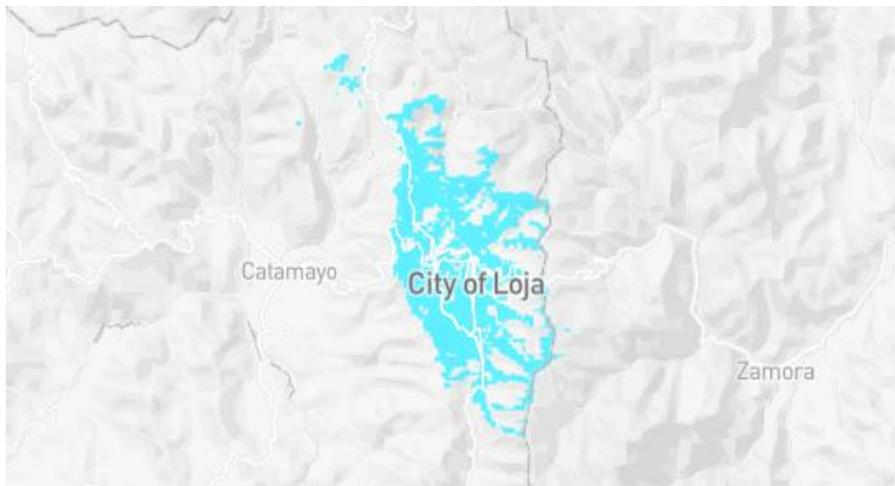
**Figura 19.** lampara LED con sistema LoRaWAN



Nota: Elaboración propia

El espectro de la urbe también se compone con la tecnología Sigfox, que actualmente dispone de una estación de acceso para la ciudad, como se puede ver en la figura 20, este mapa ilustra el nivel del servicio basada en simulaciones computarizadas, si bien esta cobertura no es completamente precisa, proporciona una idea general de la presencia de este servicio (Sigfox-B, 2021). Esta información se complementa con el estudio de Pablo Rojas, quien en su tesis realiza un análisis comparativo entre LoRaWAN y SIGFOX en la ciudad de Loja, en su simulación para SIGFOX usa una estación de acceso con una sensibilidad de  $-127\text{dBm}$  y con una potencia de transmisión de  $50\text{mW}$ , con un amplio rango frecuencial abarcando la banda de los  $915\text{MHz}$  (Rojas, 2023).

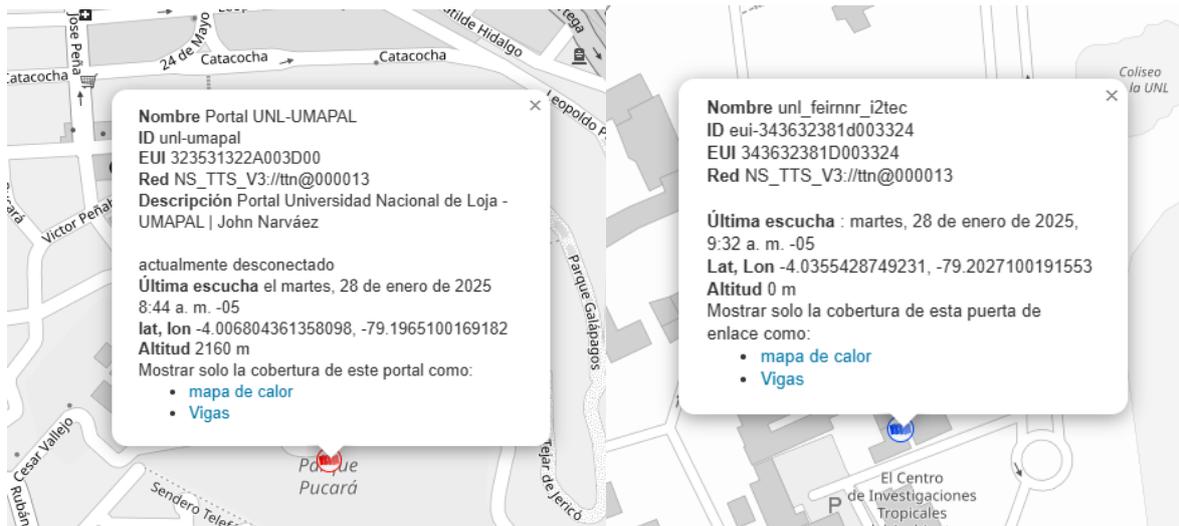
**Figura 20.** Cobertura Sigfox en Loja



Nota: Tomado de (Sigfox coverage, 2024)

Dentro de la urbe, se tiene otras fuentes radiantes, integrados en TTN Mapper, esta plataforma permite cargar información de ubicación, rssi y snr, proporcionando un mapa de la cobertura real de las puertas de enlace de TTN, los equipos que se pueden incluir son dispositivos LoRaWAN con un GPS capaz de transmitir sus coordenadas (Gateway), en las figuras 21 se puede ver los dos Gateway existentes en la ciudad de Loja y los cuales se encuentran operando con normalidad.

**Figura 21.** Ubicaciones de Gateways LoRaWAN en la ciudad de Loja



Nota: Tomado de (TTN coverage, 2024)

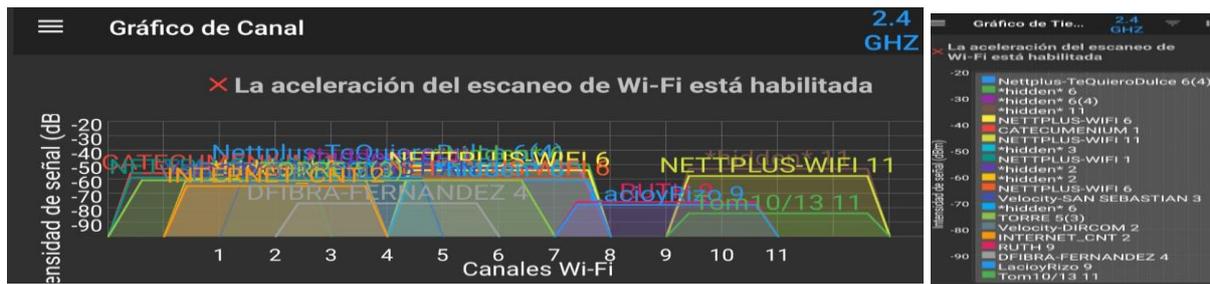
Además de los sistemas antes mencionados, actualmente existe un convenio entre el Municipio de Loja y siete empresas proveedoras de internet, mismo que permitió ofrecer servicio Wi-Fi gratuito en puntos estratégicos (Peña, 2024). Las empresas encargadas de brindar este servicio en la urbe lojana son:

- Netplus
- Xtrim
- Nodo
- Loja System-Velocity

Estas empresas tienen el compromiso de instalar y mantener puntos de acceso WiFi en una variedad de espacios públicos. Entre estos lugares se incluyen canchas deportivas, plazas, mercados, paradas de autobús y escuelas municipales, ampliando significativamente el acceso a internet para la comunidad (Peña, 2024).

Puntualizando el acceso a internet, para el año 2024 en Ecuador el porcentaje de personas que usan internet en el área urbana a llegado hasta un 85,1% (INEC, 2024), Loja no es la excepción en la figura 22 se puede ver la cantidad de sistemas radiantes con sus respectivos SSID que se comprenden en cada uno de los hogares, comercios, instituciones, redes personales, etc., demostrando la densidad que poseen los sistemas Wi-Fi y como estos llegan a ocupar parte de la banda 2.4GHz, con potencias de transmisión de 100mW cada una.

**Figura 22.** Redes Wi-Fi en el parque central



Nota: Elaboración propia

## 6.2. Resultados de la evaluación espectral

En este apartado se exponen los resultados obtenidos al realizar los barridos espectrales en las distintas zonas de medición, establecidos en el apartado 5.4.2.4, aplicando las métricas antes establecidas para definir las configuraciones del analizador.

### 6.2.1. Espectrogramas por zonas de medición.

Realizado el proceso de medición en toda el área de estudio, específicamente en los puntos establecidos para cada una de las bandas, el analizador de espectro proporcionó una visualización detallada de los niveles de energía dispersa en el aire, capturando la actividad generada por la diversidad de dispositivos radiantes que operan simultáneamente en 915MHz y 2.4GHz.

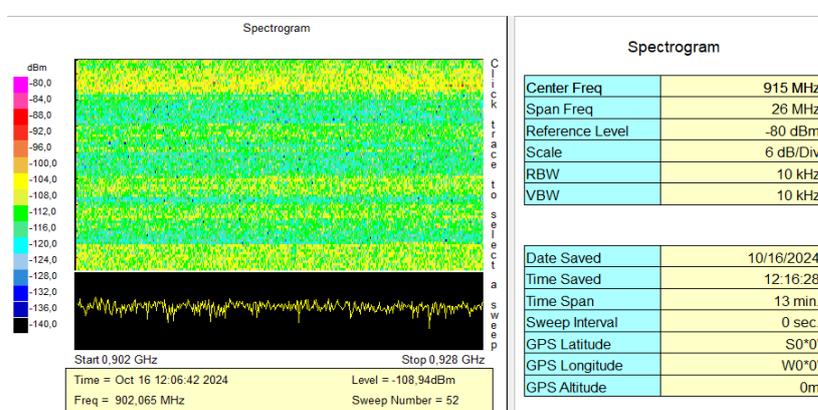
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las zonas delimitadas dentro del proyecto de regeneración urbana de la ciudad de Loja, en este apartado, se visualiza únicamente una de las cinco mediciones realizadas en cada punto, para revisar las mediciones restantes, véase el **Anexo 7**, los espectrogramas generados ilustran la variabilidad de la ocupación espectral a lo largo del tiempo de medición (representado por píxeles de color variable), donde una mayor intensidad cromática indica niveles más elevados de energía detectada, por el contrario, la ausencia de energía se representa con un color negro.

Adicionalmente, se integra un diagrama de dispersión que incluye las cinco mediciones realizadas, abarcando el total de las 400 muestras por canal, facilitando la interpretación visual de la distribución de la energía que se concentra en cada zona, proporcionando un análisis complementario sobre la densidad y la concentración de emisiones, este diagrama permite identificar patrones de ocupación, como la presencia de picos de alta energía en frecuencias específicas, lo que contribuye a una caracterización más precisa del entorno radioeléctrico.

## Banda 915MHz

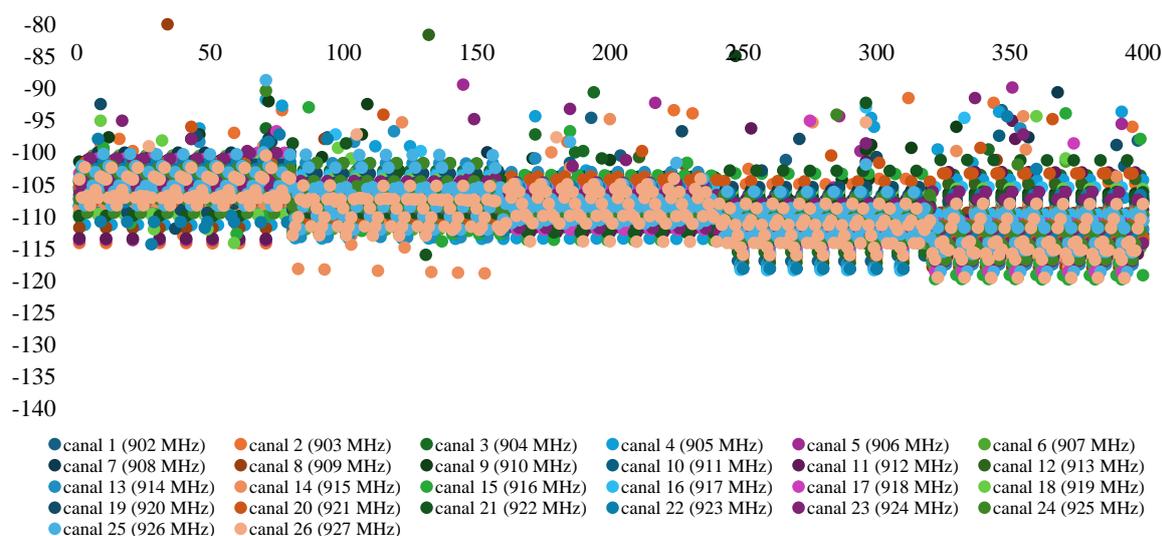
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 1			
	3°59'32.91"S	79°12'12.58"O	2059

**Figura 23.** Espectrograma 1 registrado en el punto 1 -banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

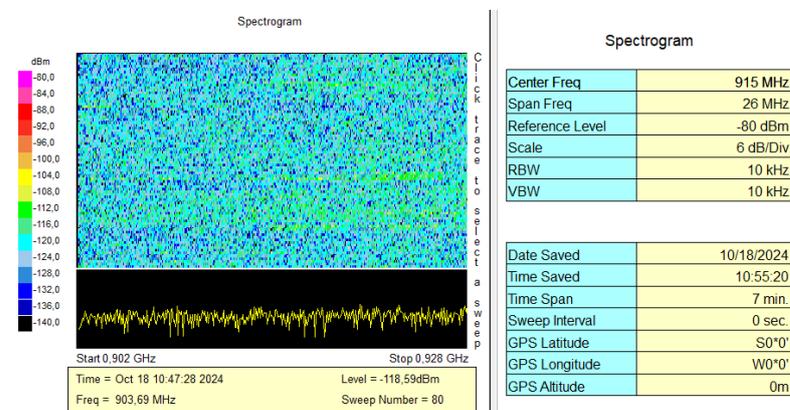
**Figura 24.** Diagrama de dispersión del punto 1 -banda de análisis 915MHz



Nota: En este diagrama se representan las 10400 muestras registradas para el punto 1.

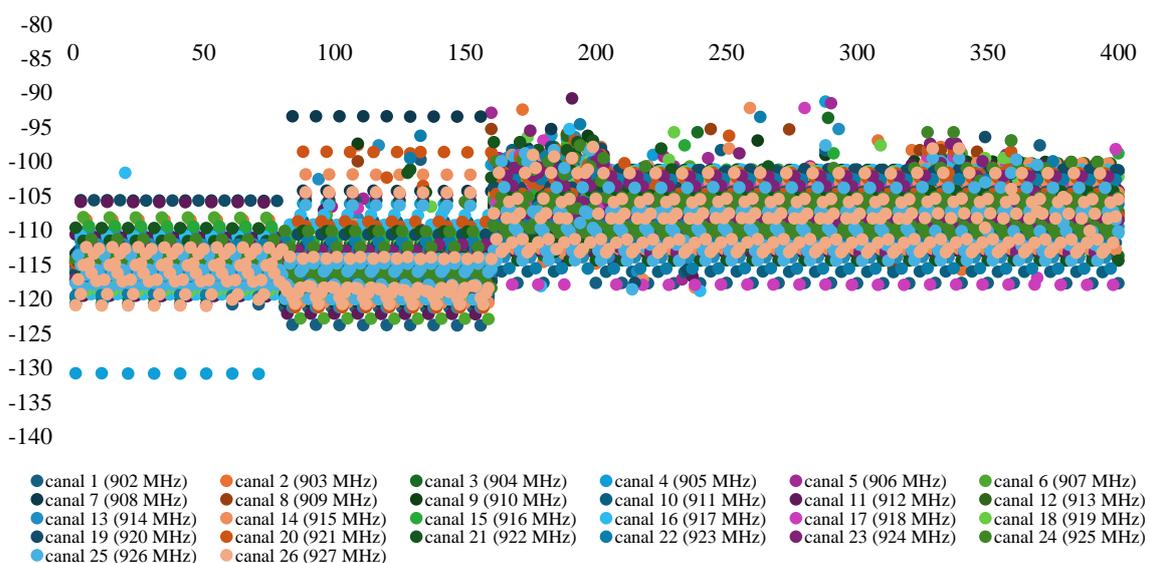
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 2			
	3°59'49.99"S	79°12'11.24"O	2068

**Figura 25.** Espectrograma 1 registrado en el punto 2 -banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

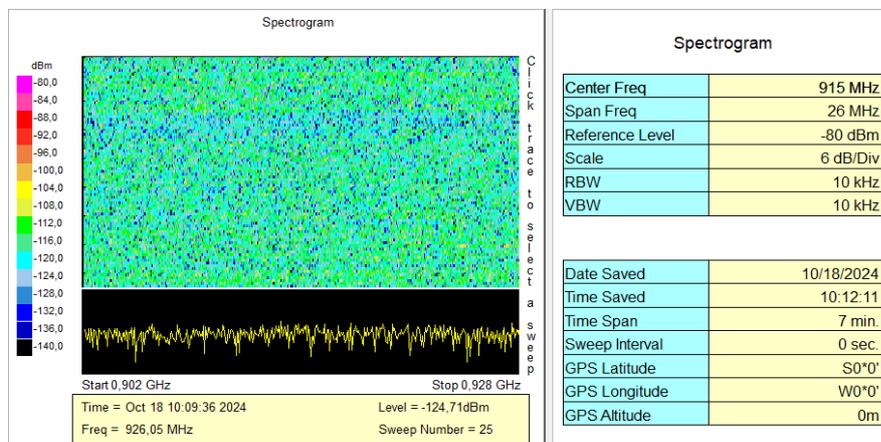
**Figura 26.** Diagrama de dispersión del punto 2 -banda de análisis 915MHz



Nota: En este diagrama se representan las 10400 muestras registradas para el punto 2.

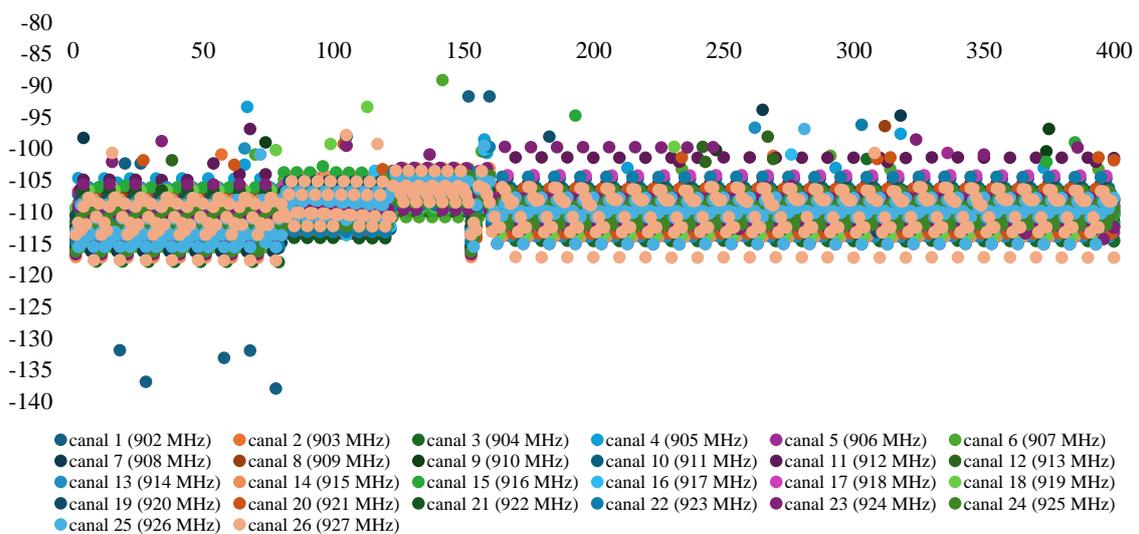
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 3			
	4°0'09.01"S	79°12'09.74"O	2078

**Figura 27.** Espectrograma 1 registrado en el punto 3 -banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

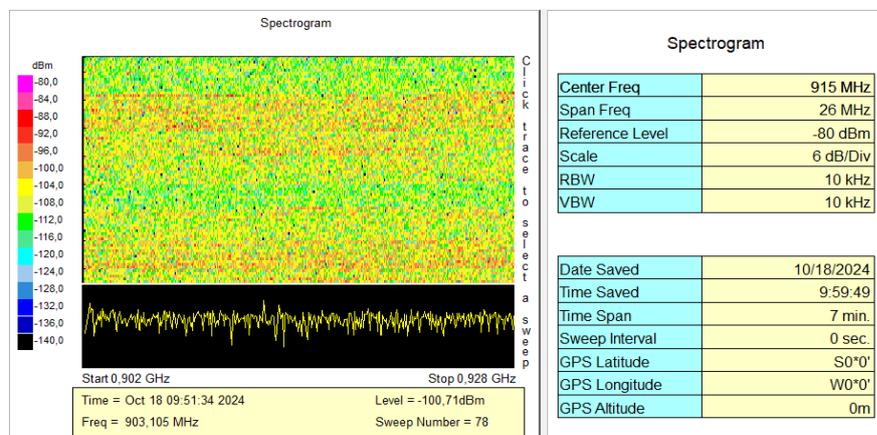
**Figura 28.** Diagrama de dispersión del punto 3 -banda de análisis 915MHz



Nota: En este diagrama se representan las 10400 muestras registradas para el punto 3.

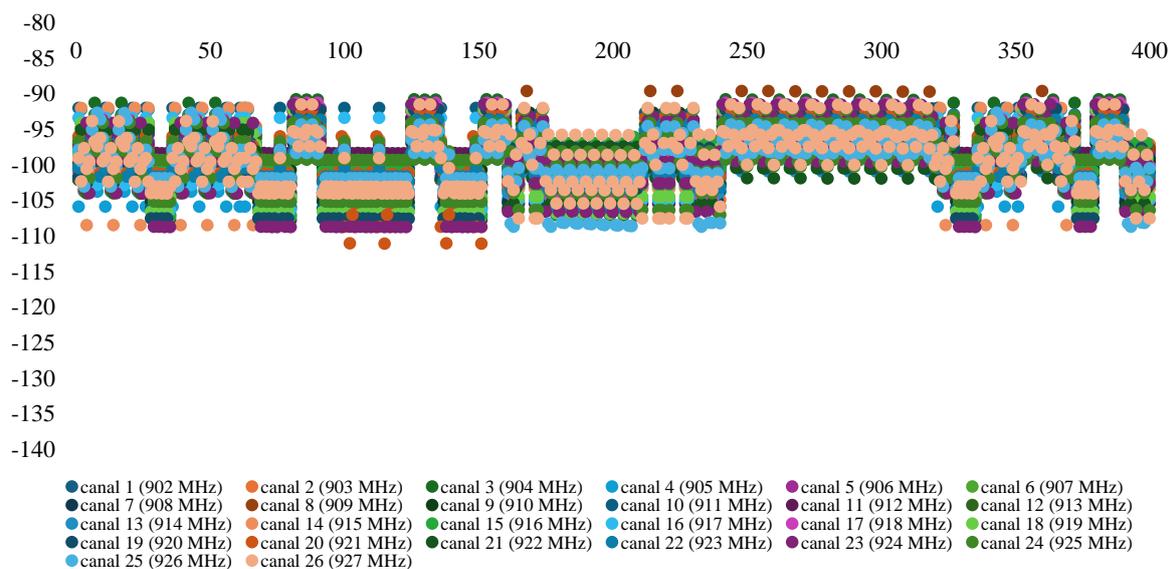
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 4			
	4°0'26.94"S	79°12'08.74"O	2088

Figura 29. Espectrograma 1 registrado en el punto 4 -banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

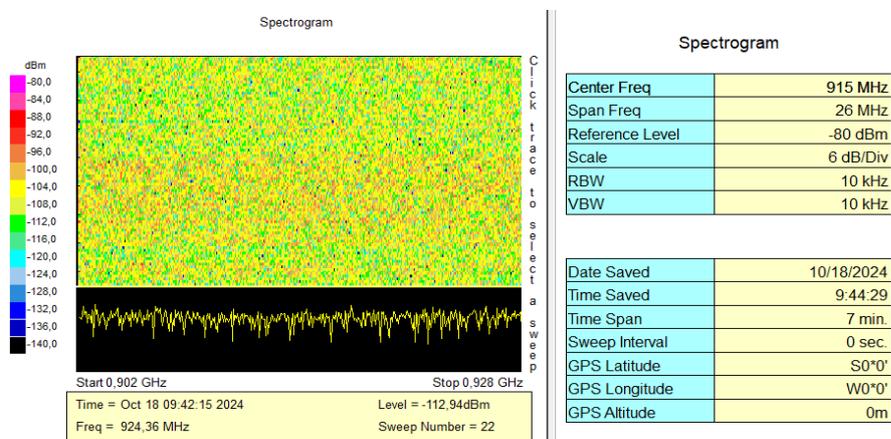
Figura 30. Diagrama de dispersión del punto 4 -banda de análisis 915MHz



Nota: En este diagrama se representan las 10400 muestras registradas para el punto 4.

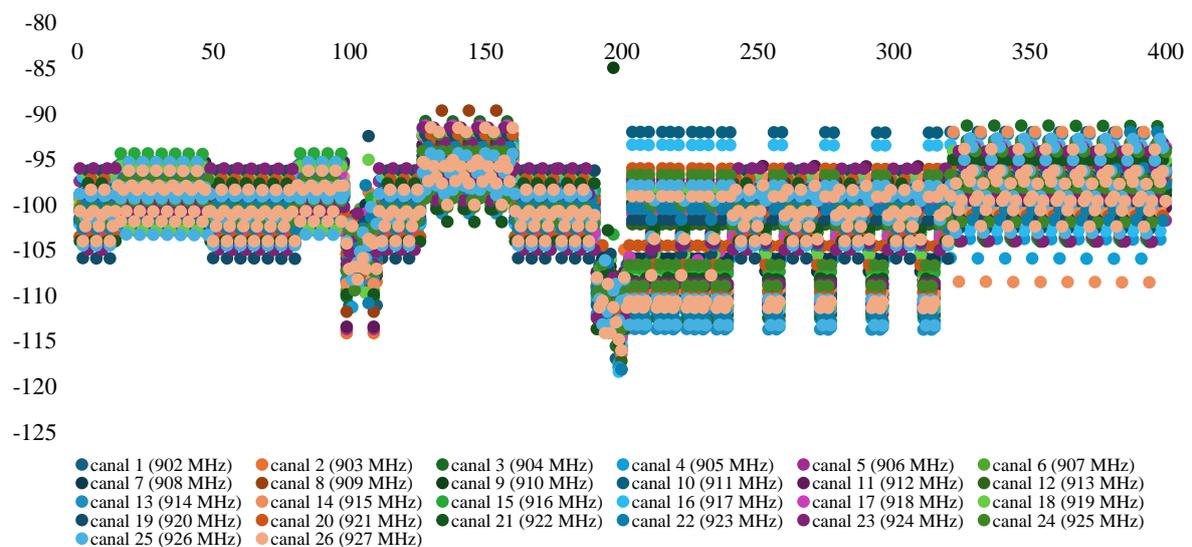
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 5			
	4°0'46.12"S	79°12'06.27"O	2104

Figura 31. Espectrograma 1 registrado en el punto 5 -banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

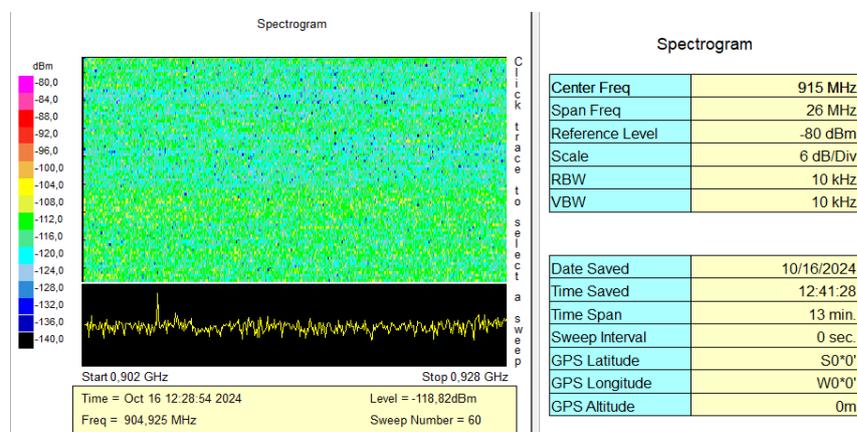
Figura 32. Diagrama de dispersión del punto 5 -banda de análisis 915MHz



Nota: En este diagrama se representan las 10400 muestras registradas para el punto 5.

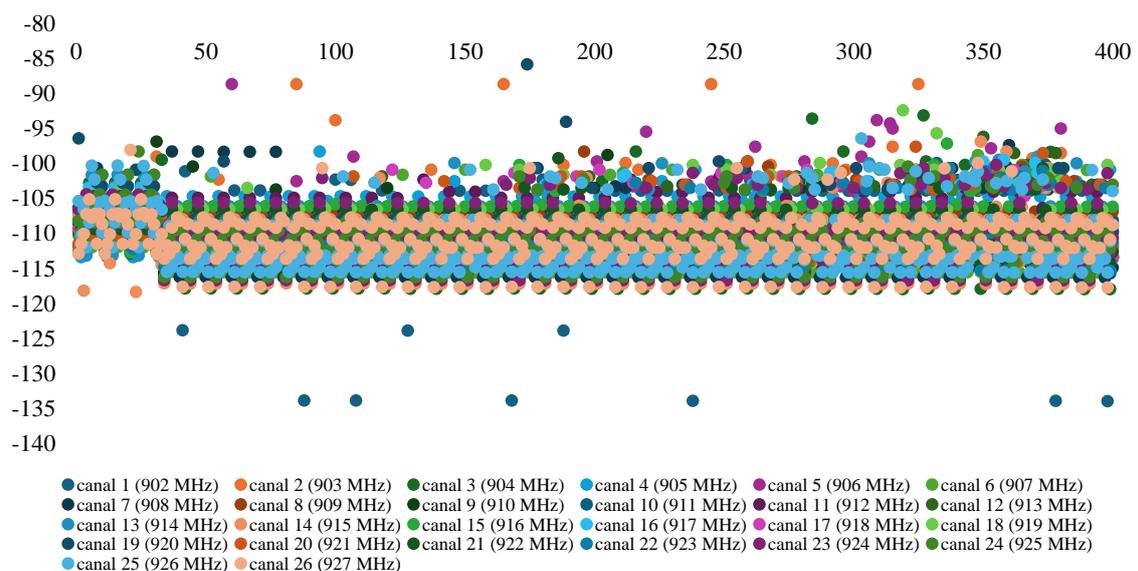
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 6			
	3°59'45.88"S	79°11'57.03"O	2066

**Figura 33.** Espectrograma 1 registrado en el punto 6 -banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

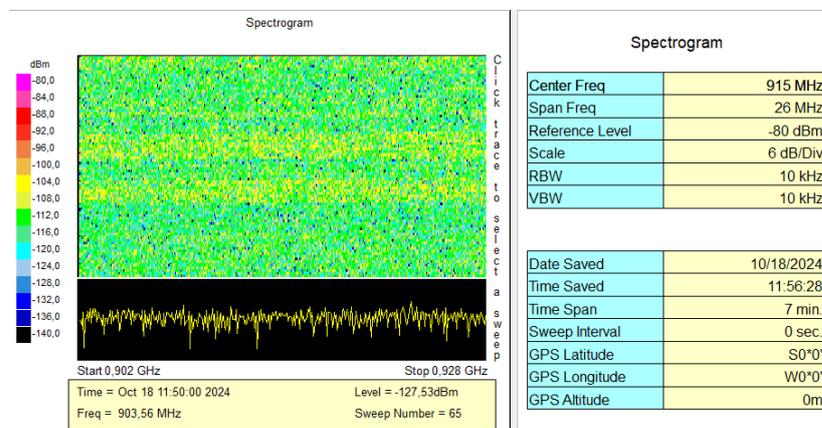
**Figura 34.** Diagrama de dispersión del punto 6 -banda de análisis 915MHz



Nota: En este diagrama se representan las 10400 muestras registradas para el punto 6.

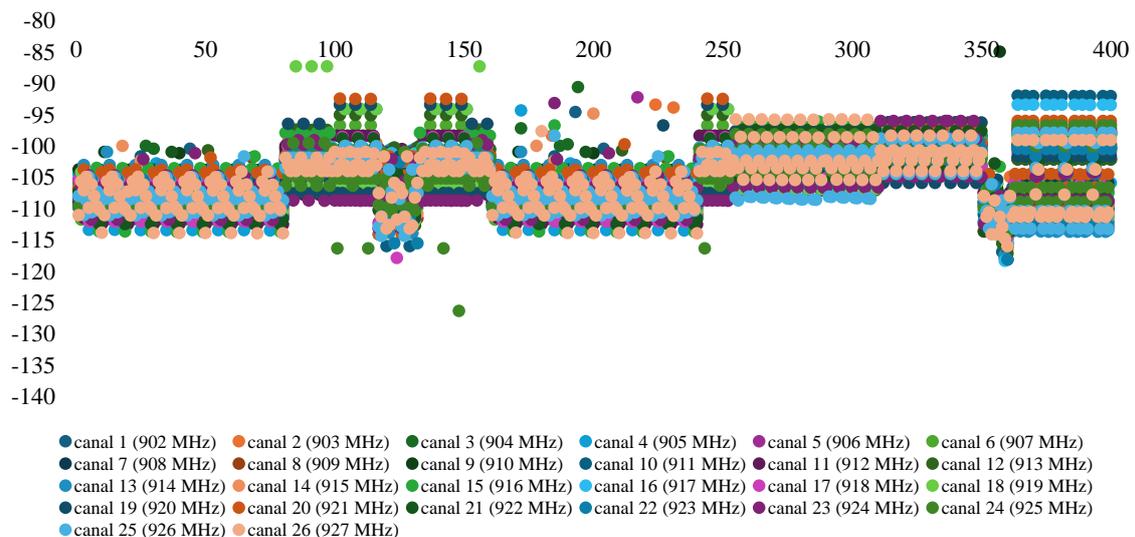
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 7			
	4°0'04.32"S	79°11'55.60"O	2078

**Figura 35.** Espectrograma 1 registrado en el punto 7 -banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

**Figura 36.** Diagrama de dispersión del punto 7 -banda de análisis 915MHz

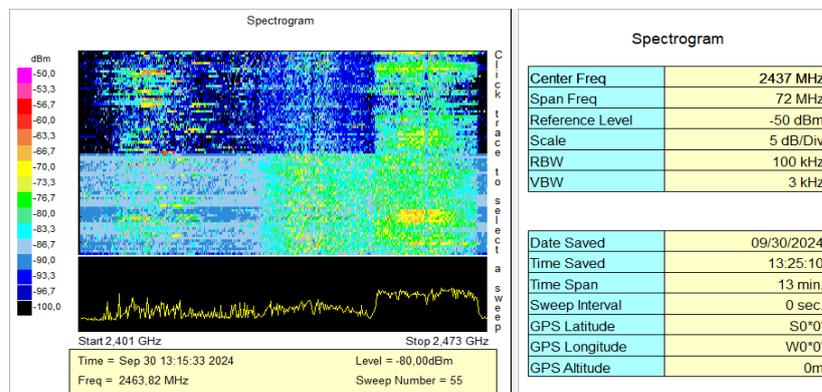


Nota: En este diagrama se representan las 10400 muestras registradas para el punto 7.

## Banda de 2.4GHz

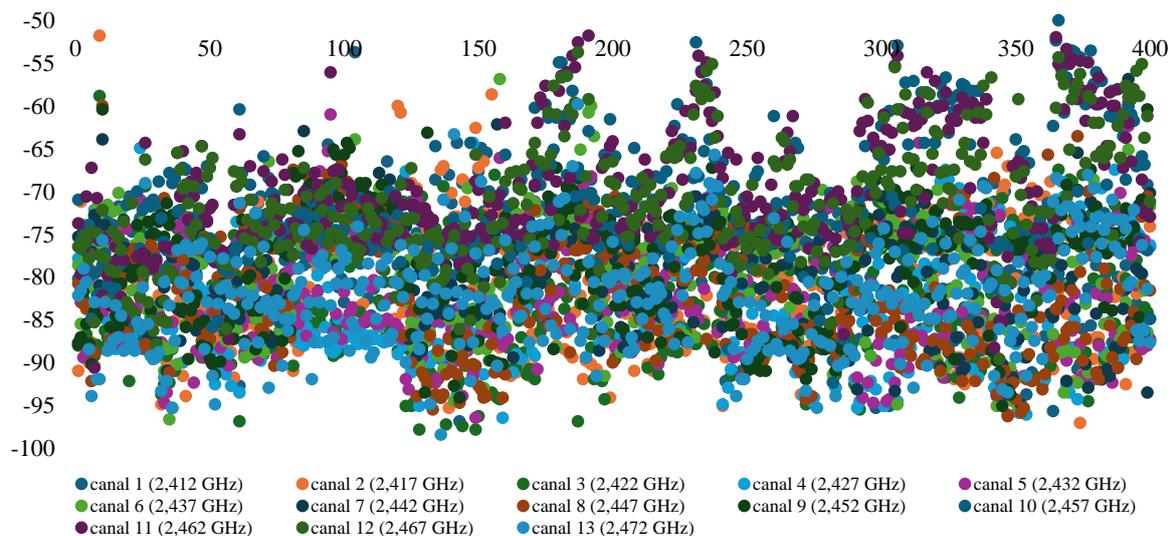
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 1			
	3°59'27.28"S	79°12'15.76"O	2056

**Figura 37.** Espectrograma 1 registrado en el punto 1 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

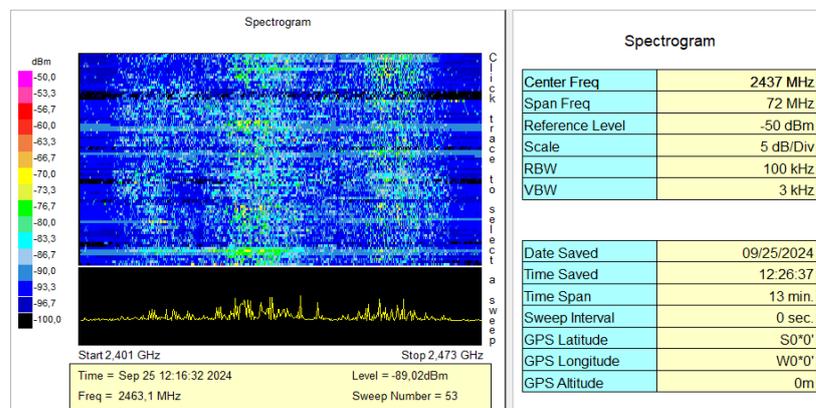
**Figura 38.** Diagrama de dispersión del punto 1 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 1.

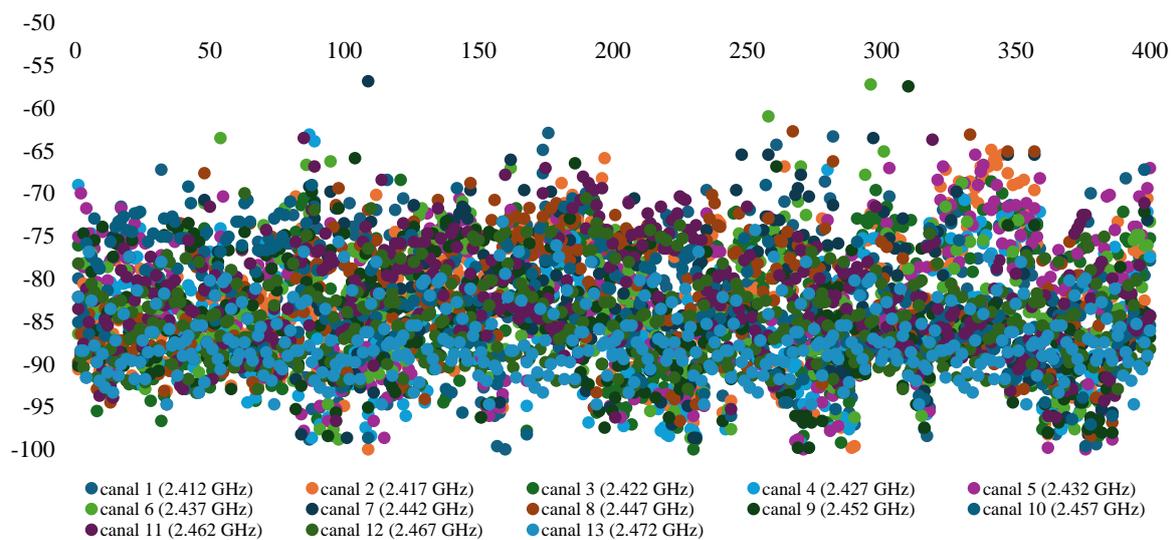
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 2			
	3°59'29.63"S	79°12'10.60"O	2059

Figura 39. Espectrograma 1 registrado en el punto 2 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

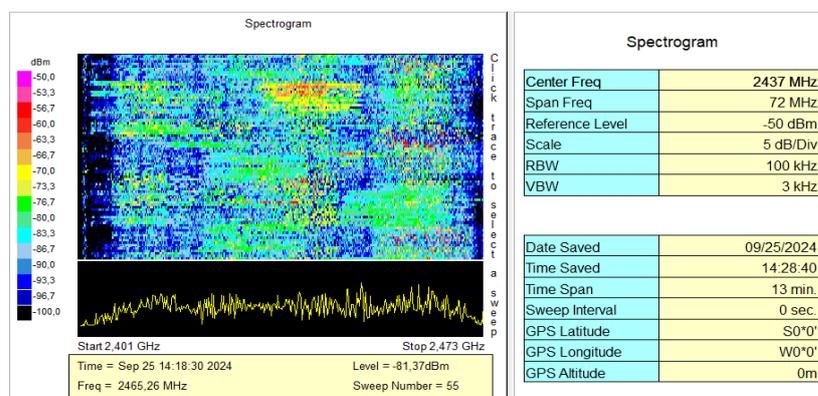
Figura 40. Diagrama de dispersión del punto 2 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 2.

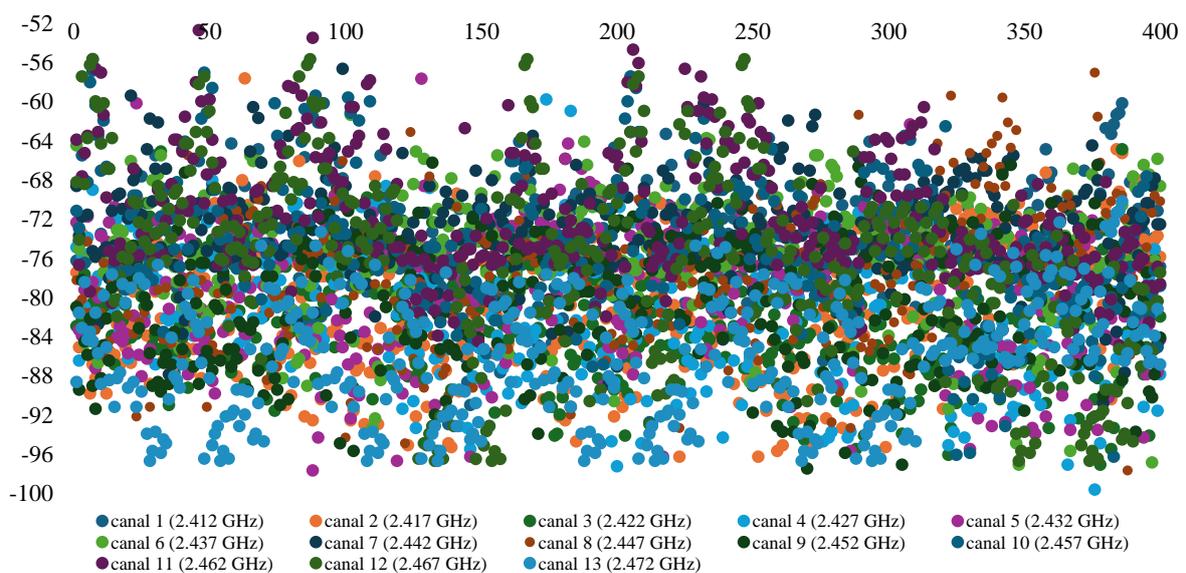
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 3			
	3°59'36.07"S	79°12'15.71"O	2061

**Figura 41.** Espectrograma 1 registrado en el punto 3 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

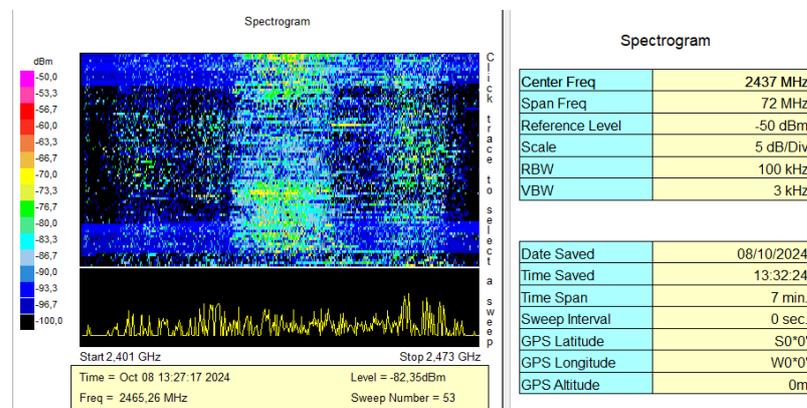
**Figura 42.** Diagrama de dispersión del punto 3 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 3.

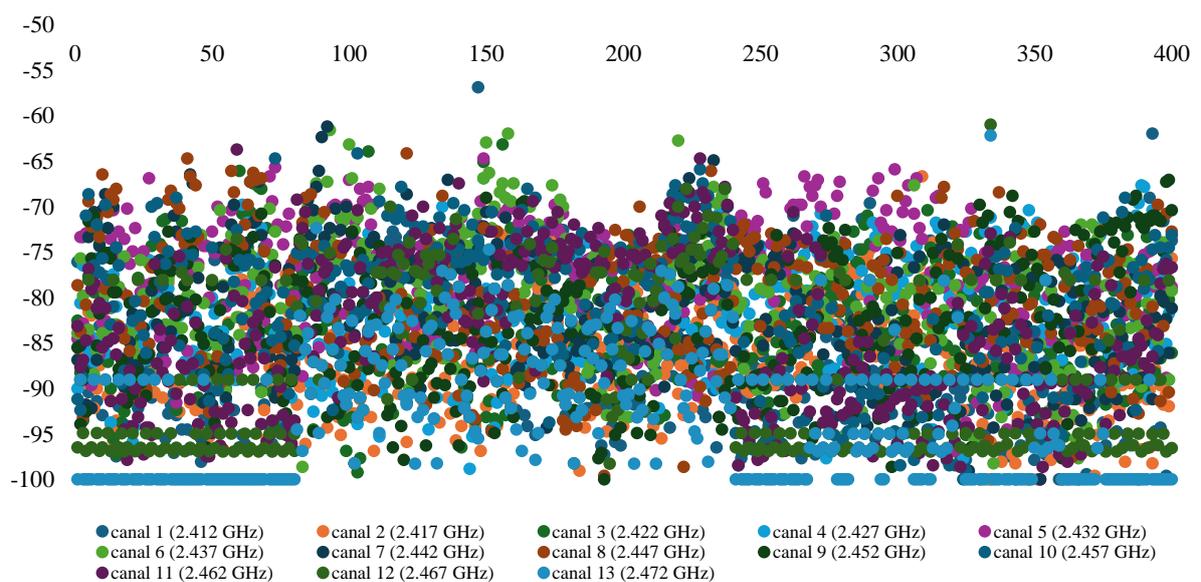
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 4			
	3°59'35.30"S	79°12'08.51"O	2061

Figura 43. Espectrograma 1 registrado en el punto 4 -banda de análisis 2.4GHz

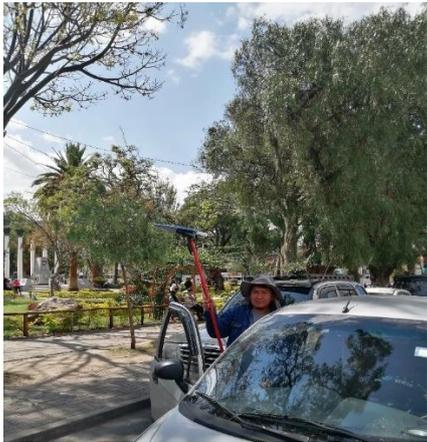


Nota: Elaboración propia

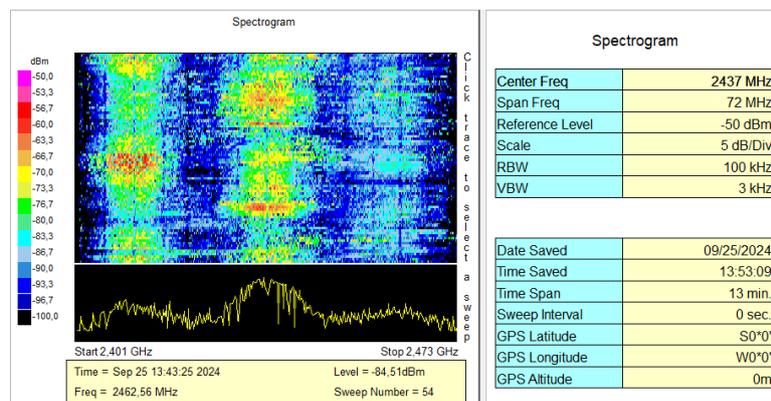
Figura 44. Diagrama de dispersión del punto 4 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 4.

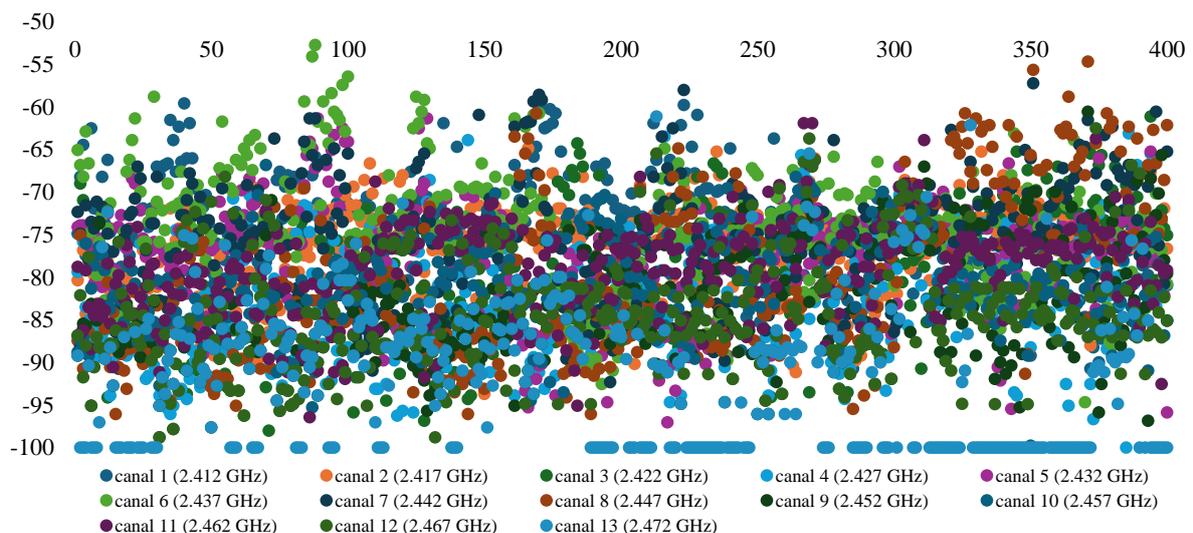
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 5			
	3°59'43.42"S	79°12'15.14"O	2064

**Figura 45.** Espectrograma 1 registrado en el punto 5 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

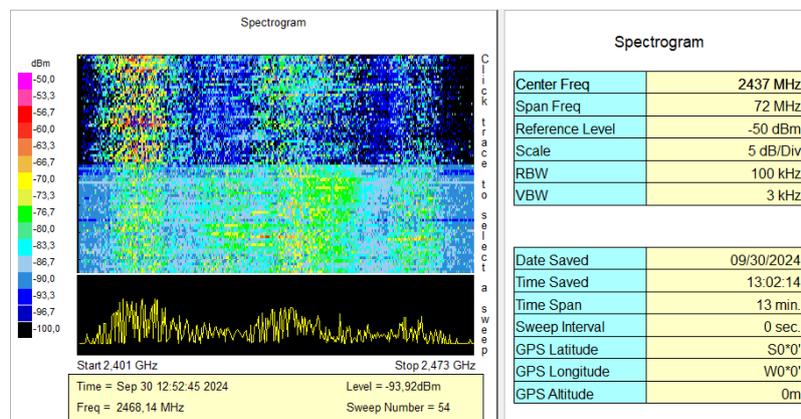
**Figura 46.** Diagrama de dispersión del punto 5 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 5.

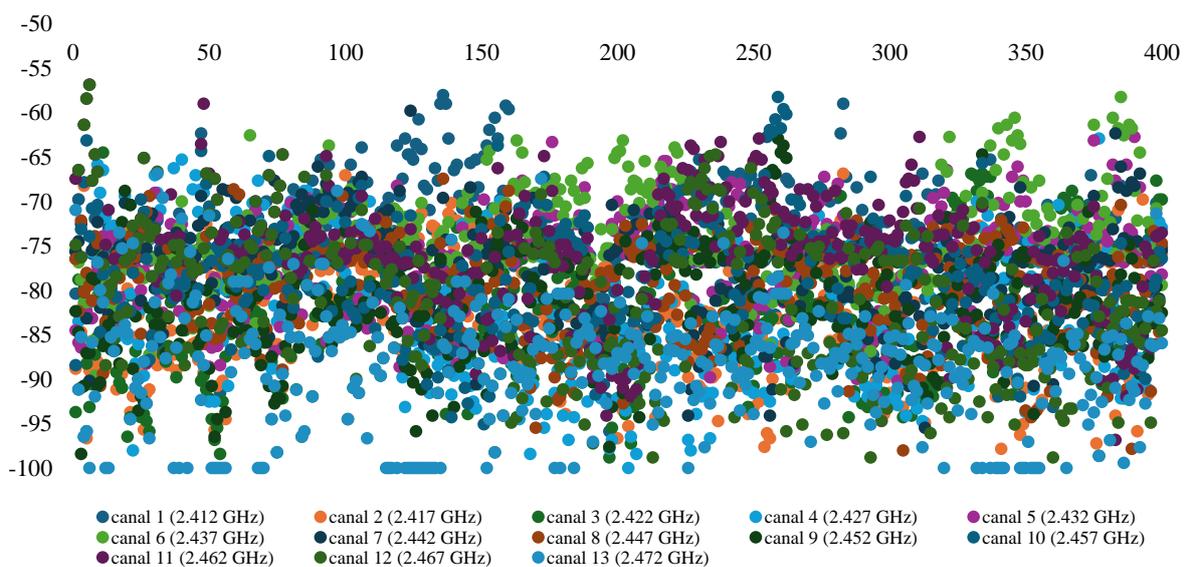
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 6			
	3°59'42.80"S	79°12'07.90"O	2065

**Figura 47.** Espectrograma 1 registrado en el punto 6 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

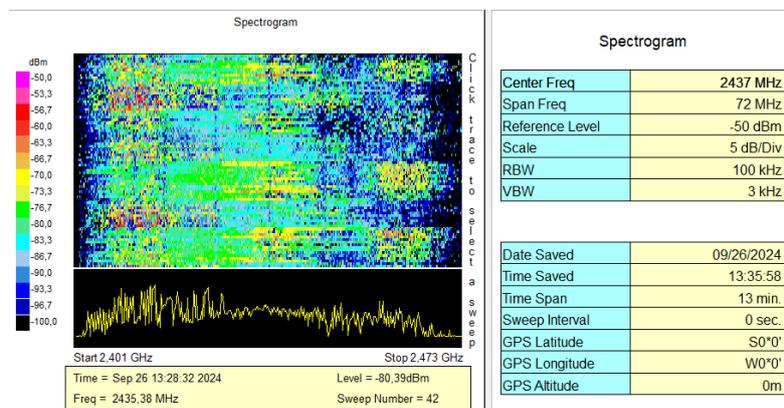
**Figura 48.** Diagrama de dispersión del punto 6 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 6.

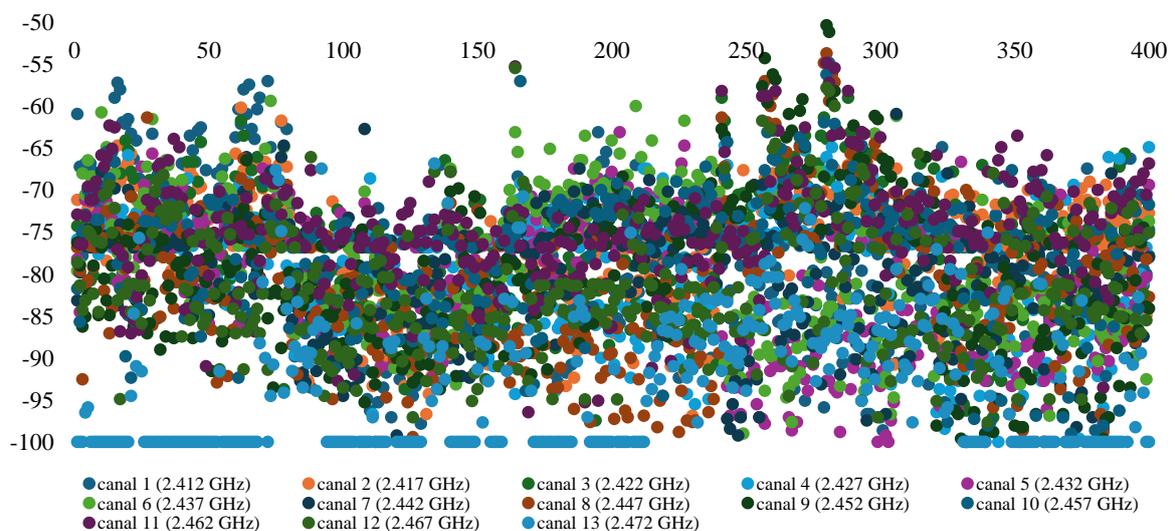
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 7			
	3°59'42.34"S	79°12'01.15"O	2065

**Figura 49.** Espectrograma 1 registrado en el punto 7 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

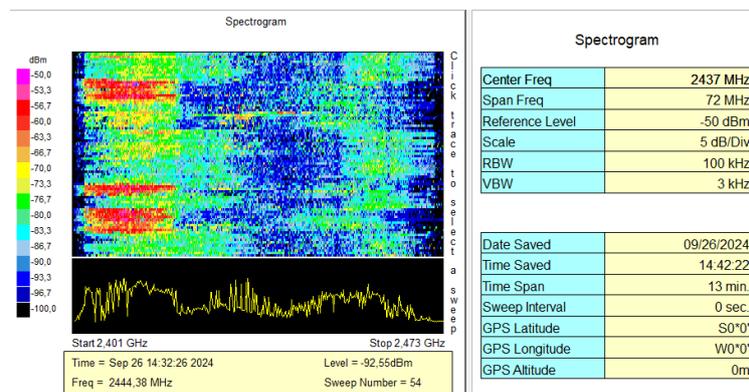
**Figura 50.** Diagrama de dispersión del punto 7 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 7.

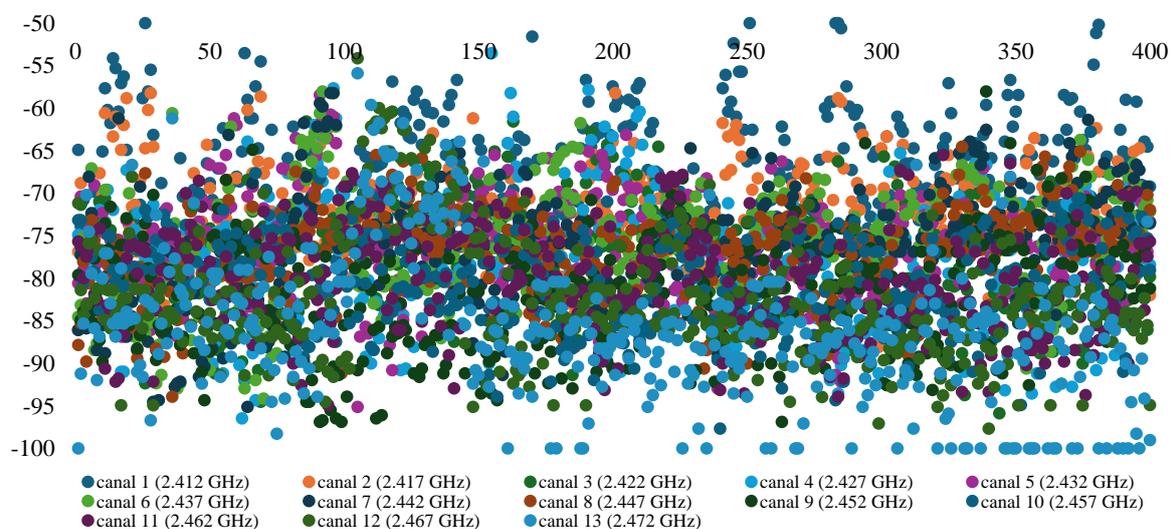
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 8			
	3°59'50.32"S	79°12'14.59"O	2068

**Figura 51.** Espectrograma 1 registrado en el punto 8 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

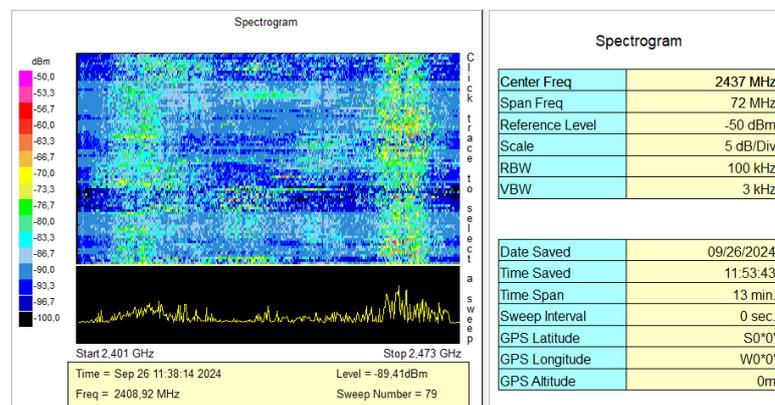
**Figura 52.** Diagrama de dispersión del punto 8 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 8.

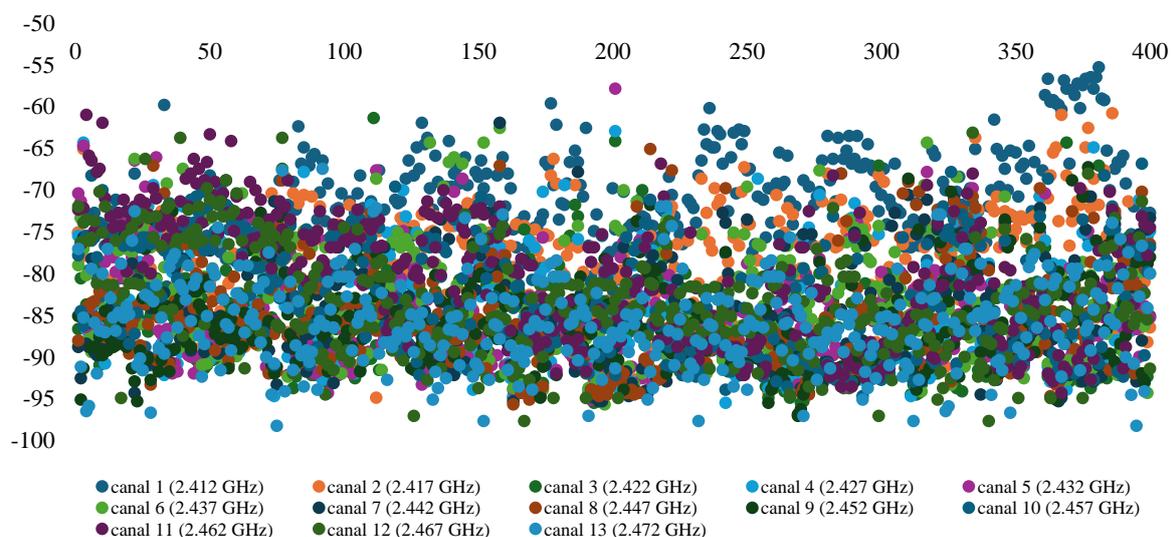
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 9			
	3°59'49.57"S	79°12'07.33"O	2068

**Figura 53.** Espectrograma 1 registrado en el punto 9 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

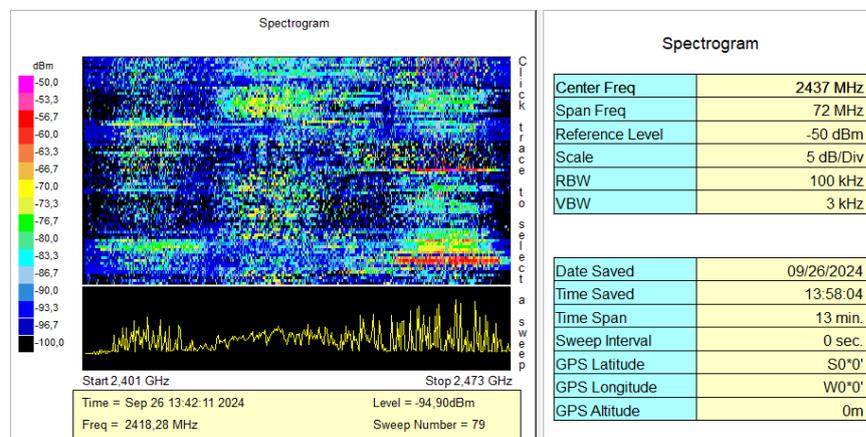
**Figura 54.** Diagrama de dispersión del punto 9 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 9.

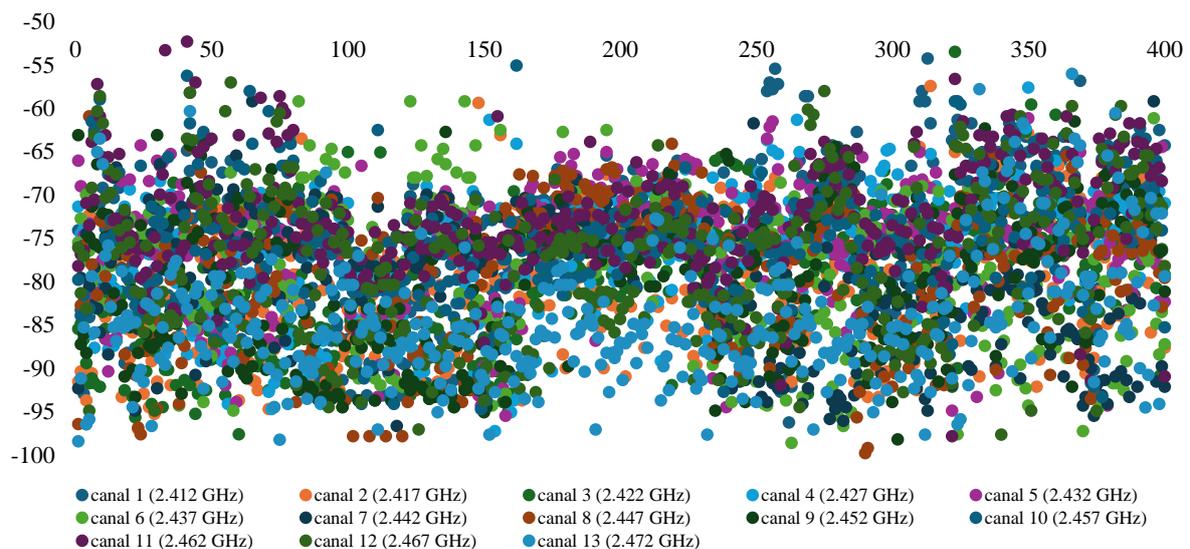
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 10			
	3°59'49.20"S	79°12'00.62"O	2069

Figura 55. Espectrograma 1 registrado en el punto 10 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

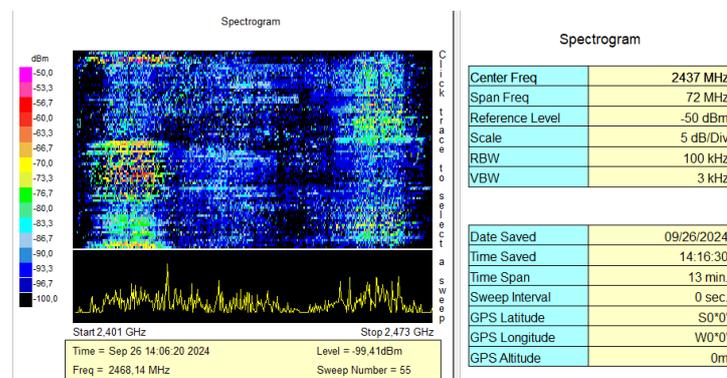
Figura 56. Diagrama de dispersión del punto 10 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 10.

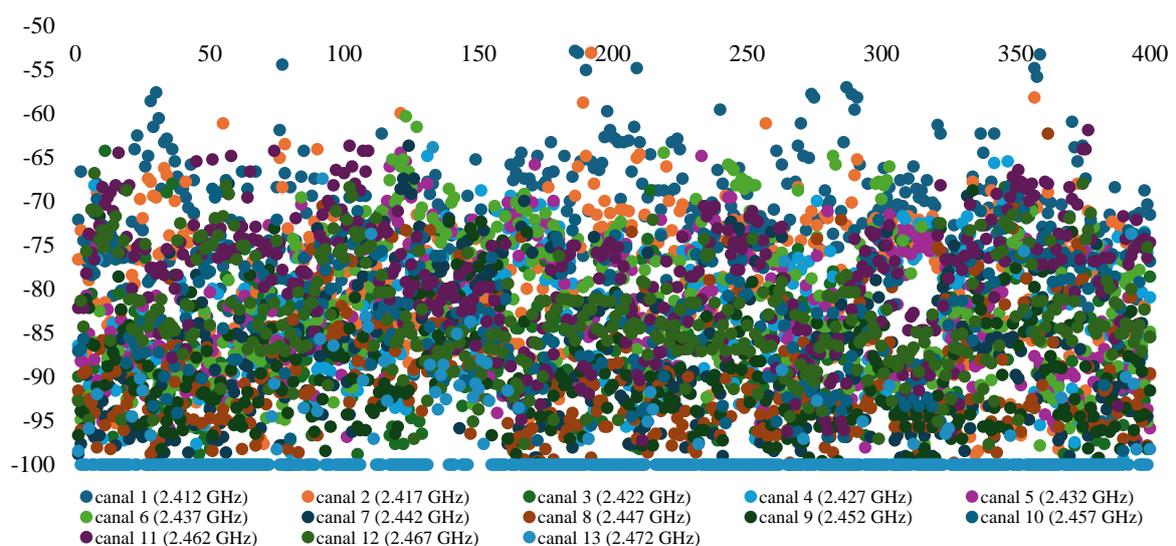
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 11			
	3°59'48.68"S	79°11'53.33"O	2068

**Figura 57.** Espectrograma 1 registrado en el punto 11 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

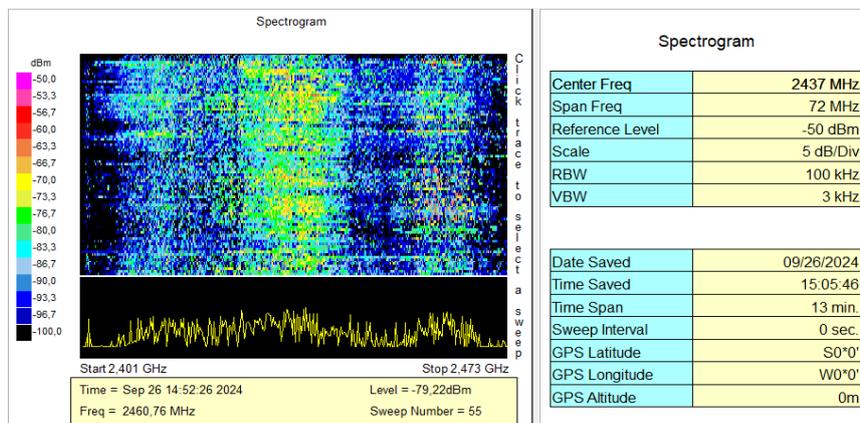
**Figura 58.** Diagrama de dispersión del punto 11 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 11.

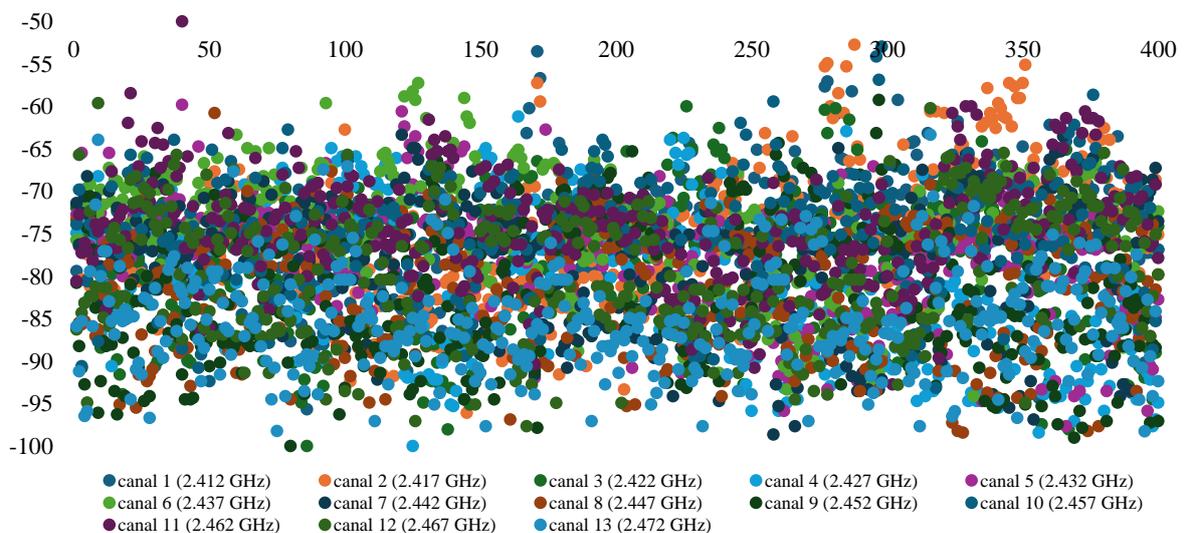
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 12			
	3°59'57.84"S	79°12'13.95"O	2071

**Figura 59.** Espectrograma 1 registrado en el punto 12 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

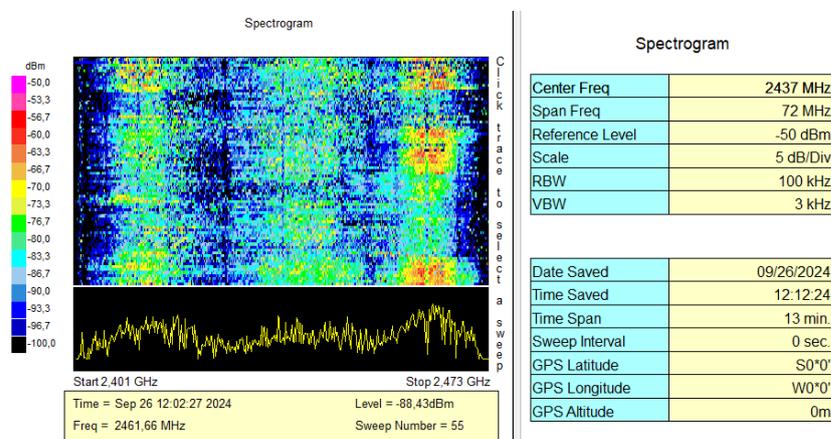
**Figura 60.** Diagrama de dispersión del punto 12 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 12.

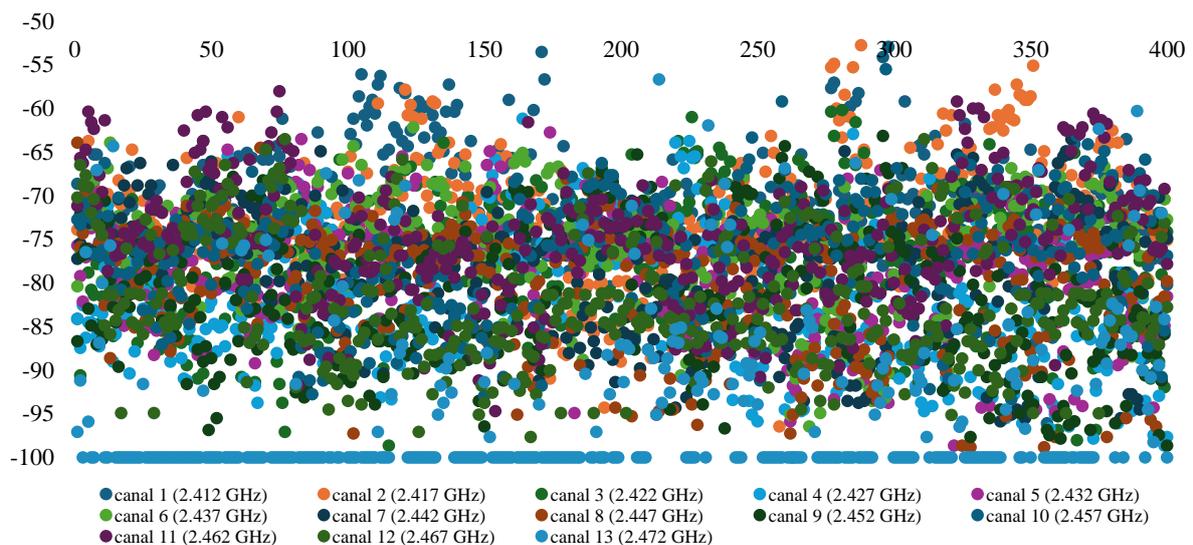
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 13			
	3°59'57.24"S	79°12'06.89"O	2073

**Figura 61.** Espectrograma 1 registrado en el punto 13 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

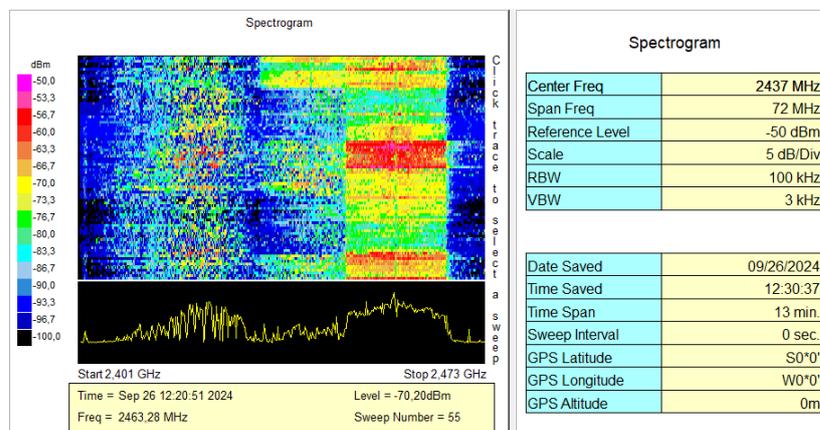
**Figura 62.** Diagrama de dispersión del punto 13 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 13.

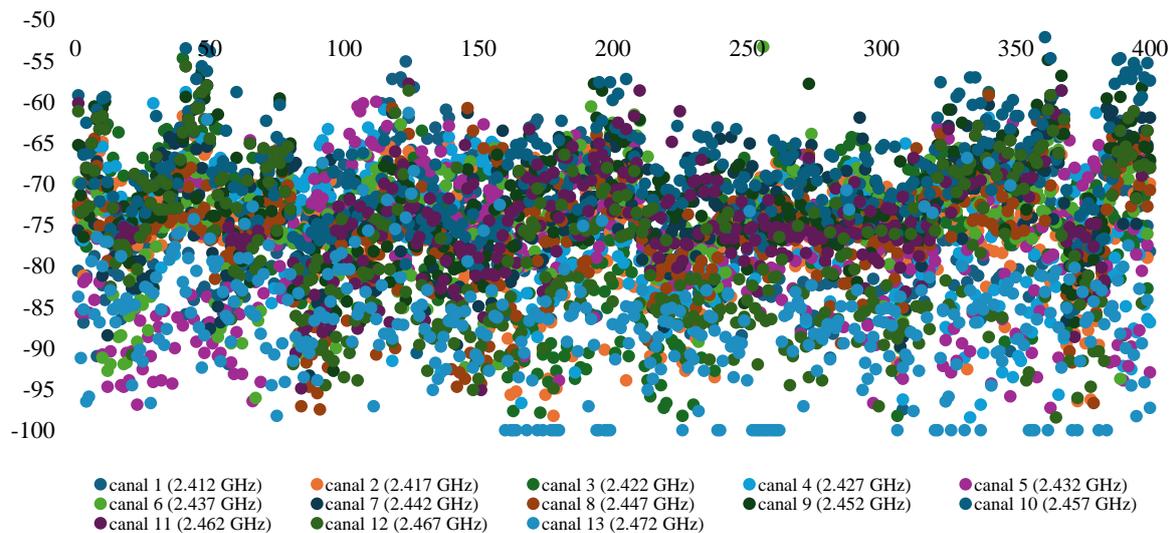
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 14			
	3°59'56.84"S	79°12'00.03"O	2073

**Figura 63.** Espectrograma 1 registrado en el punto 14 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

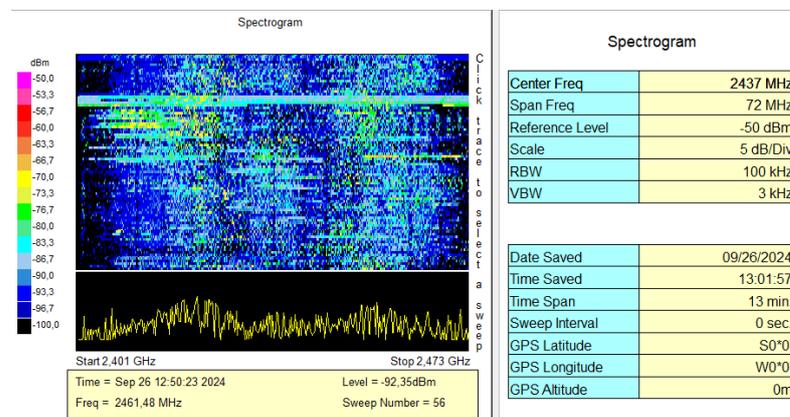
**Figura 64.** Diagrama de dispersión del punto 14 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 14.

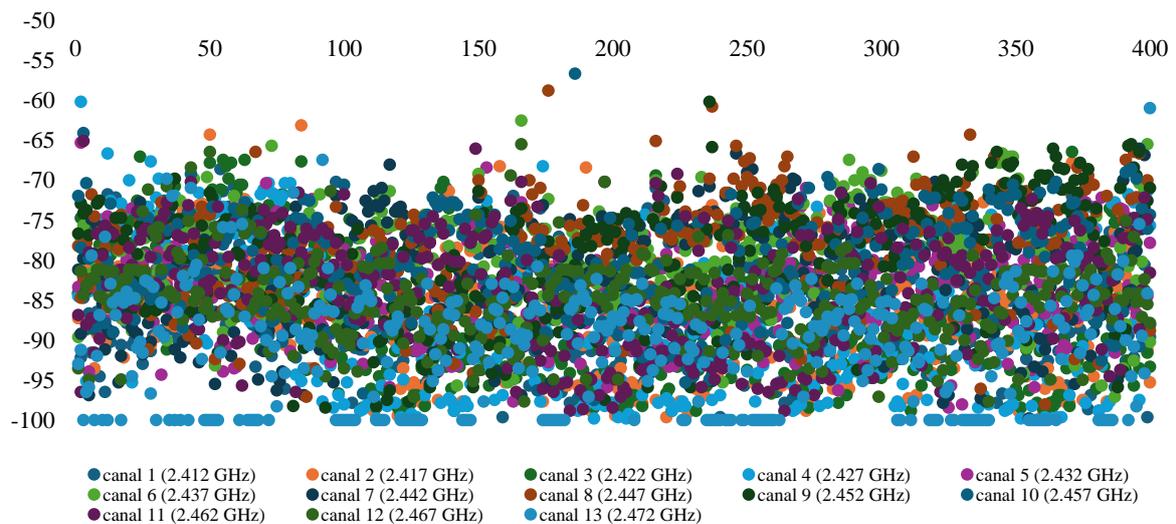
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 15			
	3°59'57.31"S	79°11'52.50"O	2071

Figura 65. Espectrograma 1 registrado en el punto 15 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

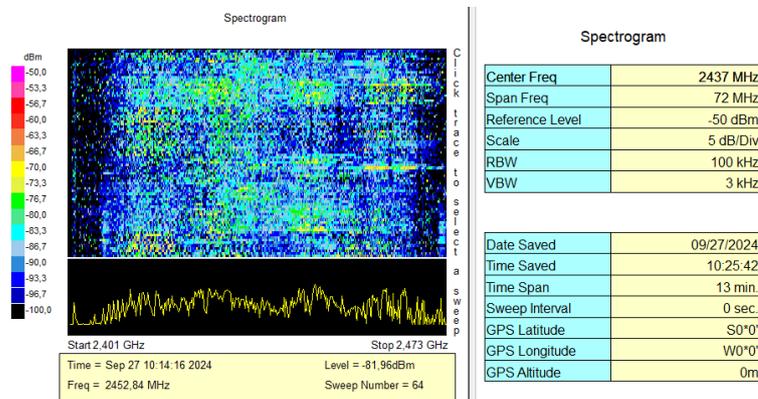
Figura 66. Diagrama de dispersión del punto 15 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 15.

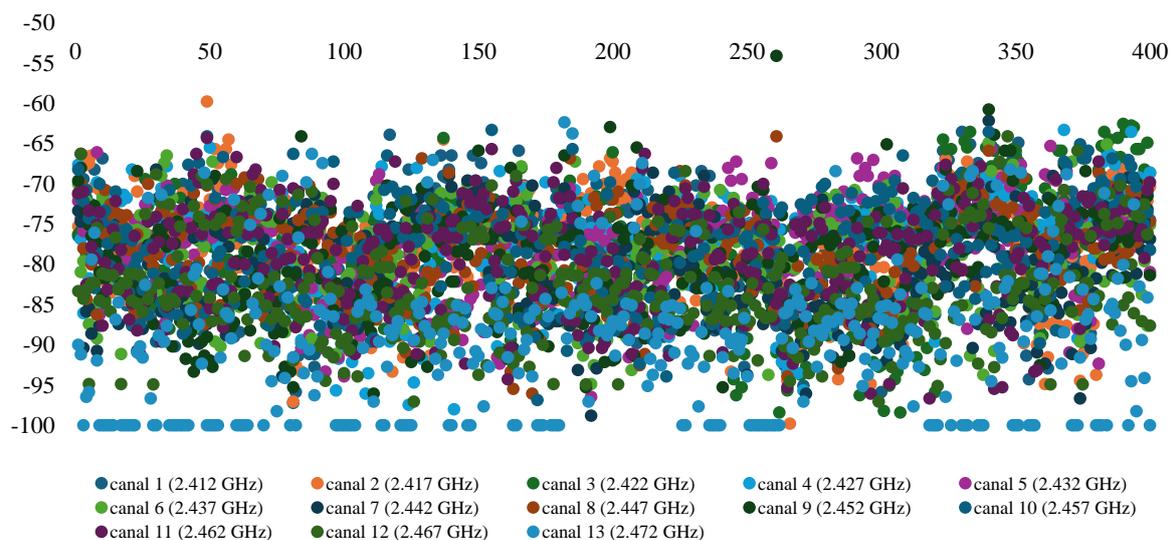
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 16			
	4°00'05.25"S	79°12'13.37"O	2074

**Figura 67.** Espectrograma 1 registrado en el punto 16 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

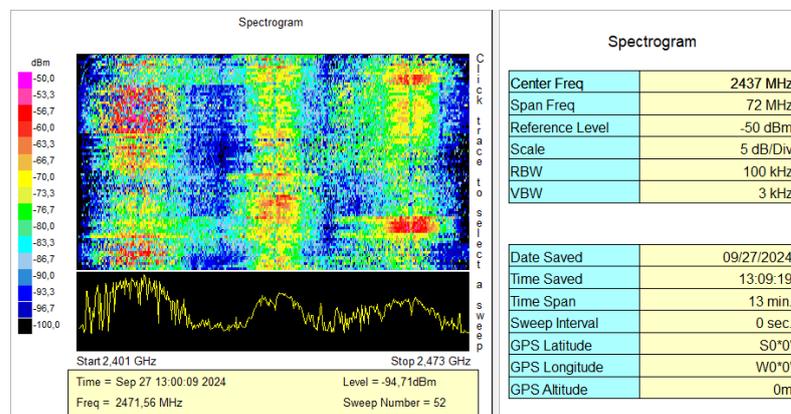
**Figura 68.** Diagrama de dispersión del punto 16 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 16.

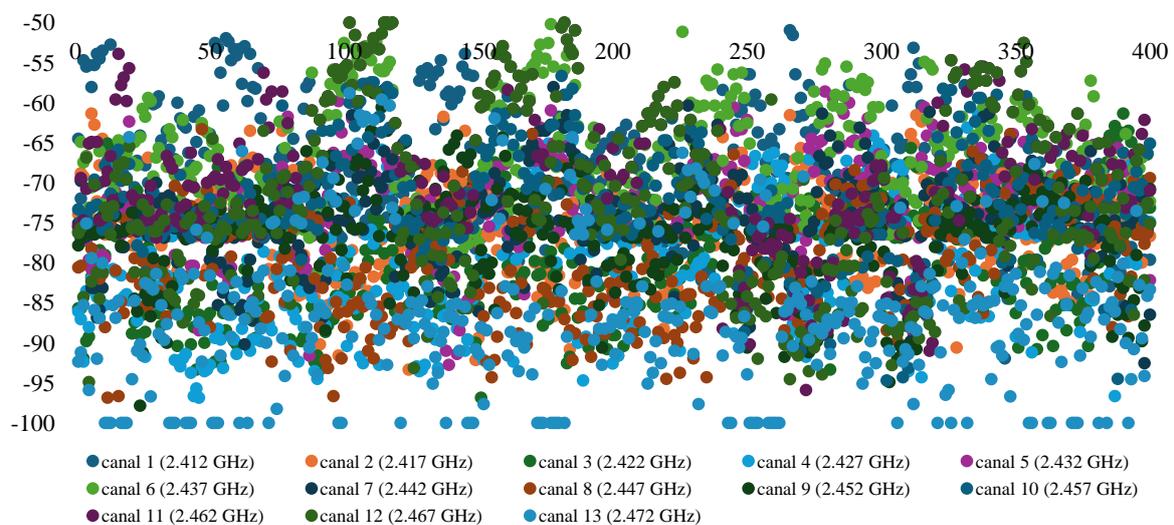
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 17			
	4°00'04.91"S	79°12'06.32"O	2077

**Figura 69.** Espectrograma 1 registrado en el punto 17 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

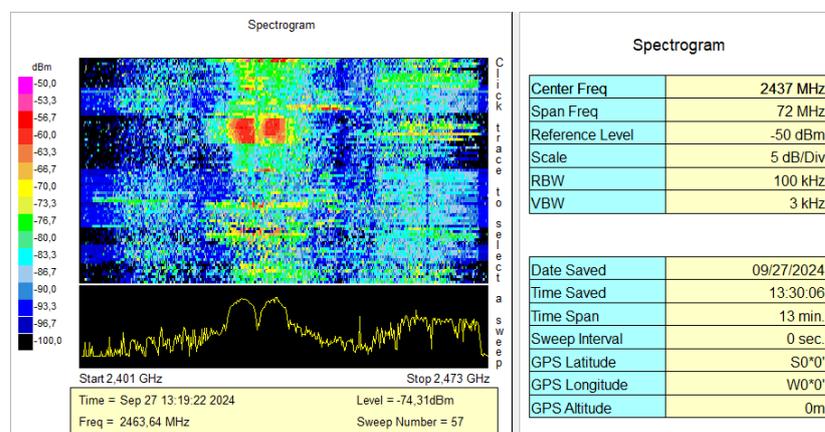
**Figura 70.** Diagrama de dispersión del punto 17 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 17.

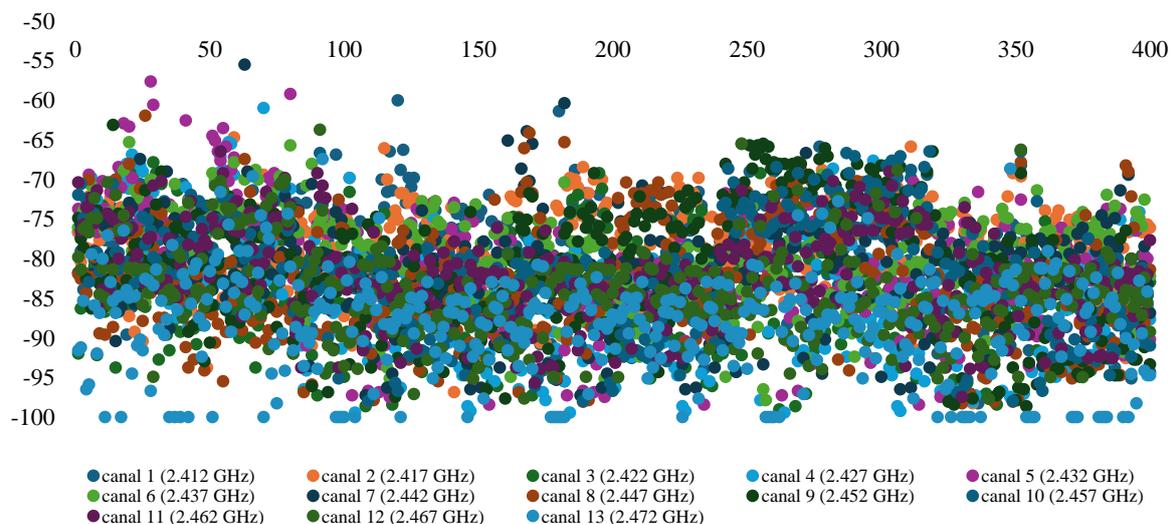
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 18			
	4°00'04.51"S	79°11'59.49"O	2078

**Figura 71.** Espectrograma 1 registrado en el punto 18 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

**Figura 72.** Diagrama de dispersión del punto 18 -banda de análisis 2.4GHz

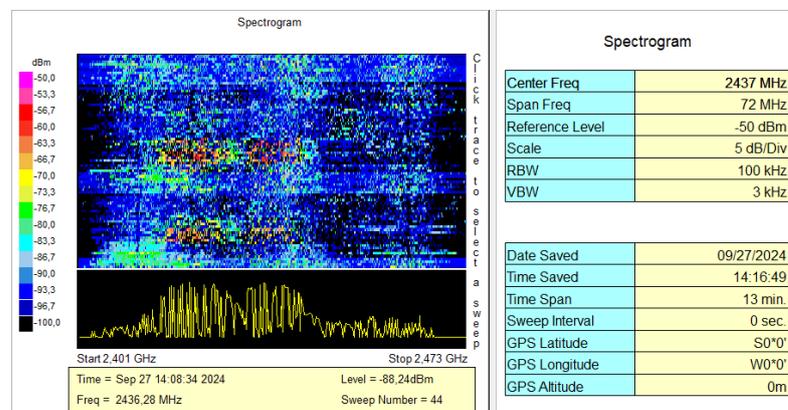


Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 18.

Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 19	4°00'07.77"S	79°11'49.41"O	2077

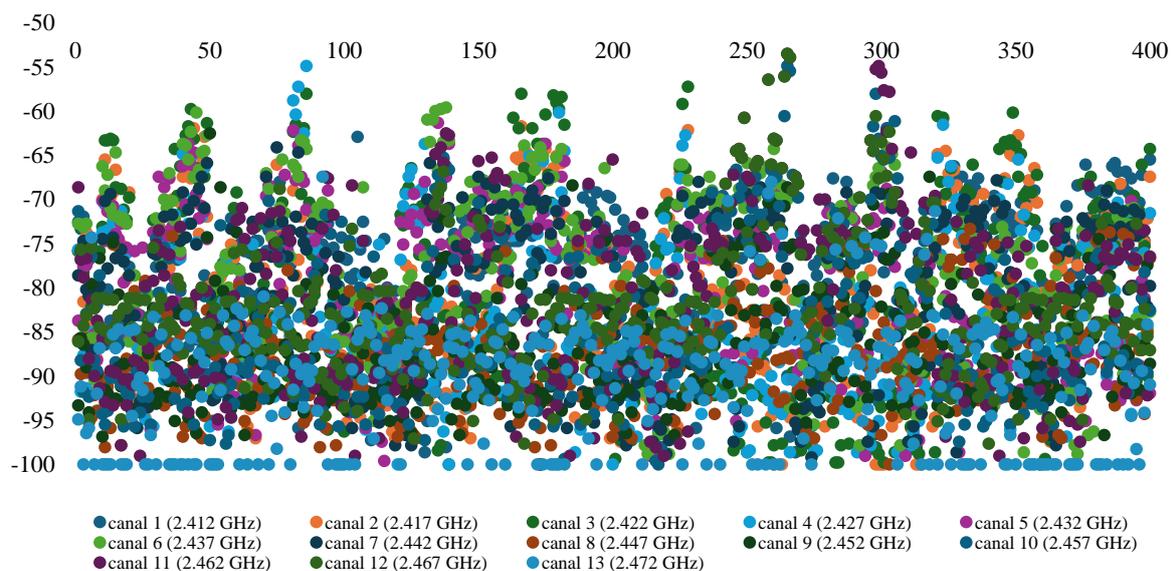


Figura 73. Espectrograma 1 registrado en el punto 19 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

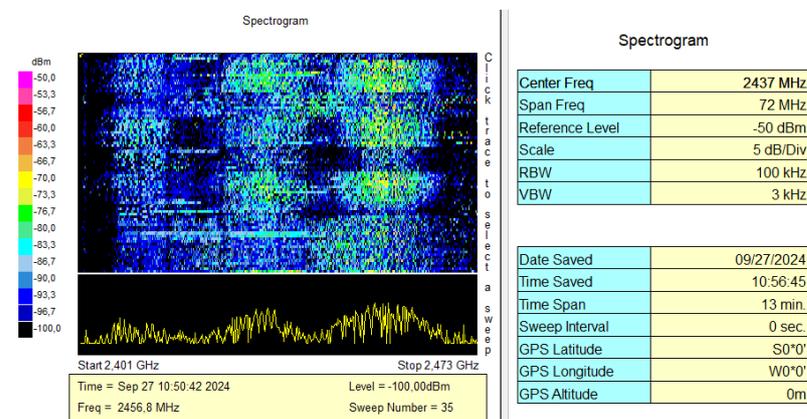
Figura 74. Diagrama de dispersión del punto 19 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 19.

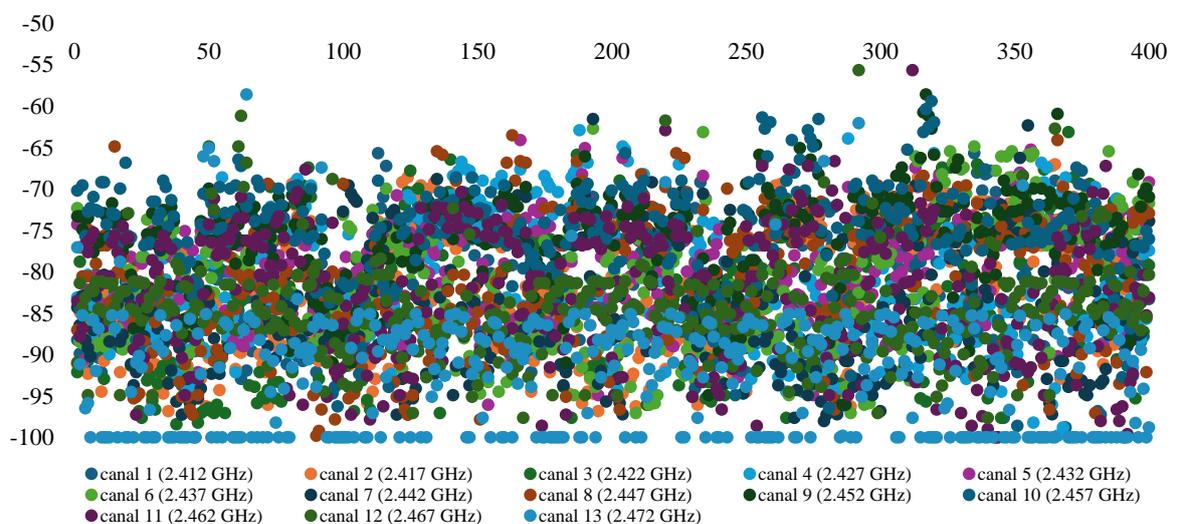
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 20			
	4°00'11.21"S	79°11'59.03"O	2087

**Figura 75.** Espectrograma 1 registrado en el punto 20 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

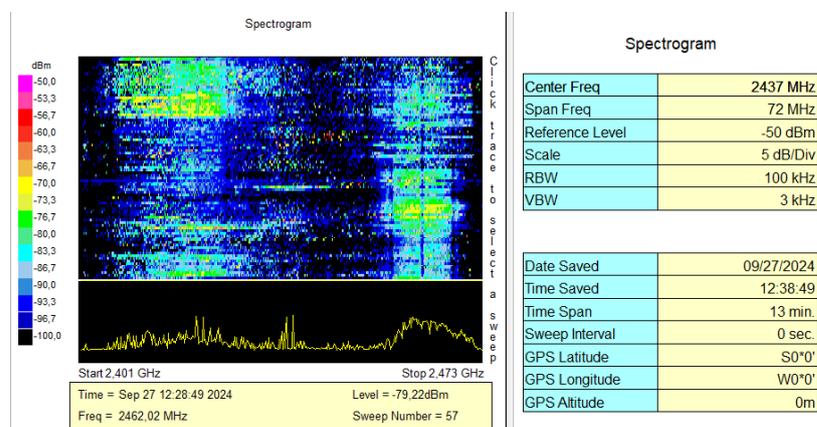
**Figura 76.** Diagrama de dispersión del punto 20 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 20.

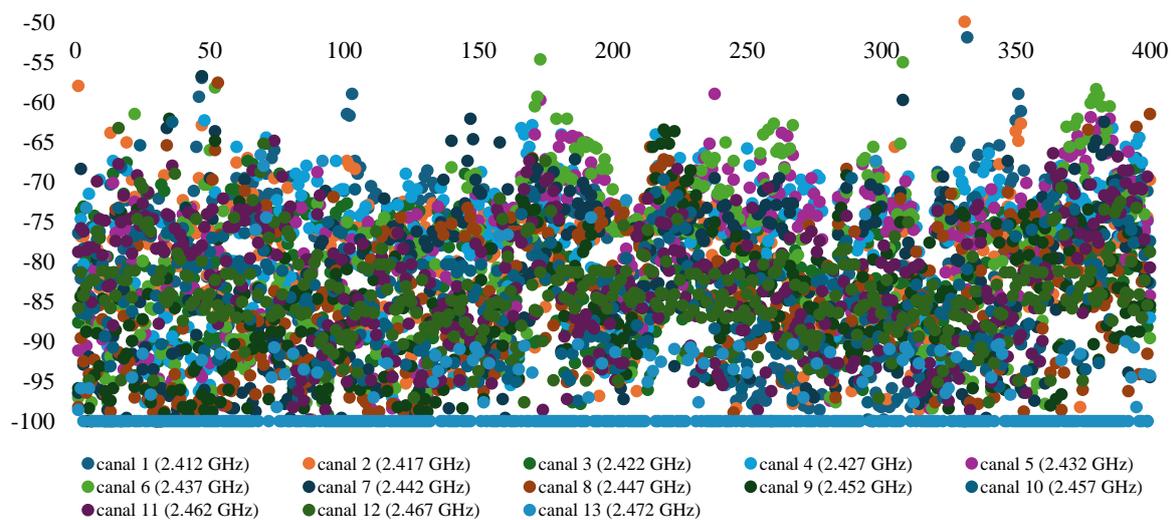
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 21			
	4°00'13.46"S	79°12'09.48"O	2080

Figura 77. Espectrograma 1 registrado en el punto 21 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

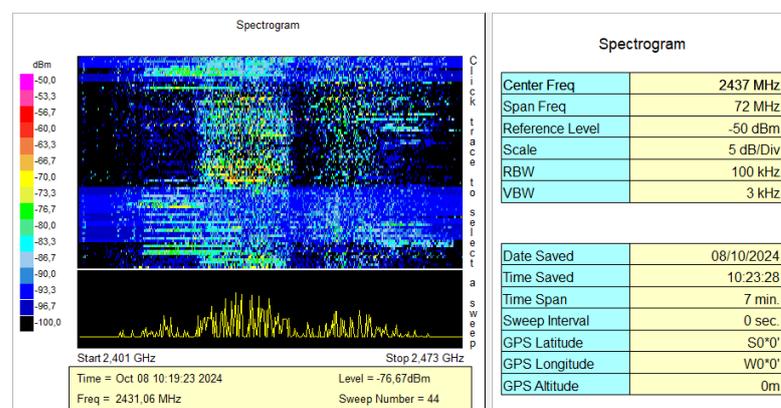
Figura 78. Diagrama de dispersión del punto 21 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 21.

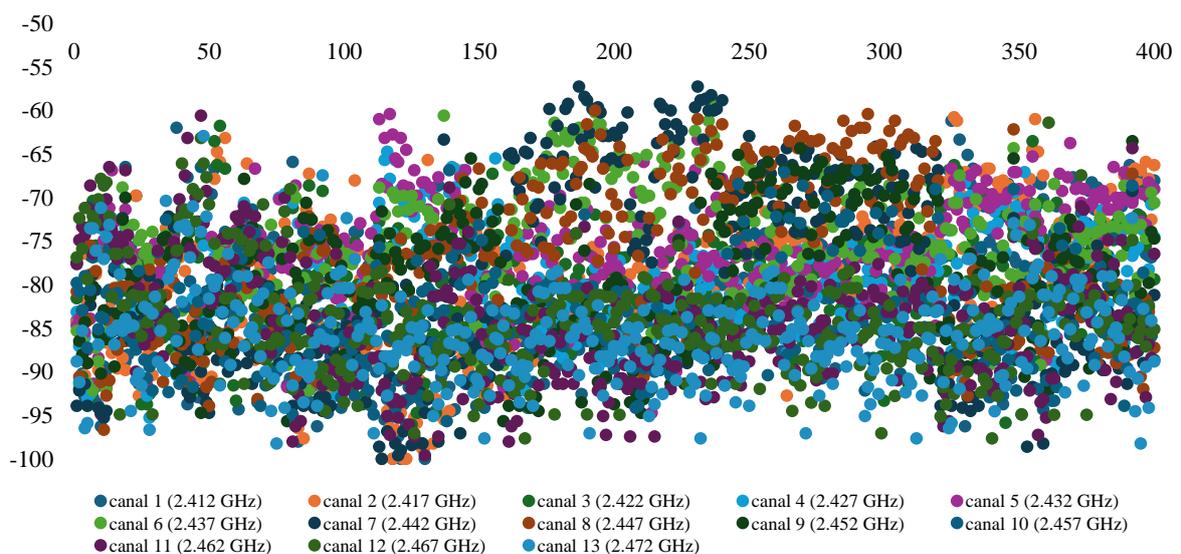
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 22			
	4°00'22.85"S	79°12'09.08"O	2081

**Figura 79.** Espectrograma 1 registrado en el punto 22 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

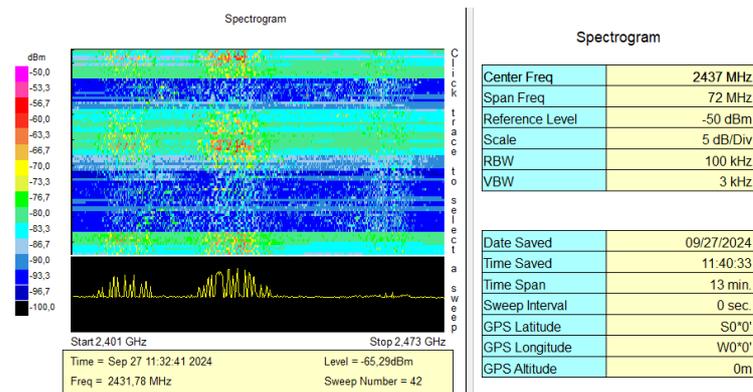
**Figura 80.** Diagrama de dispersión del punto 22 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 22.

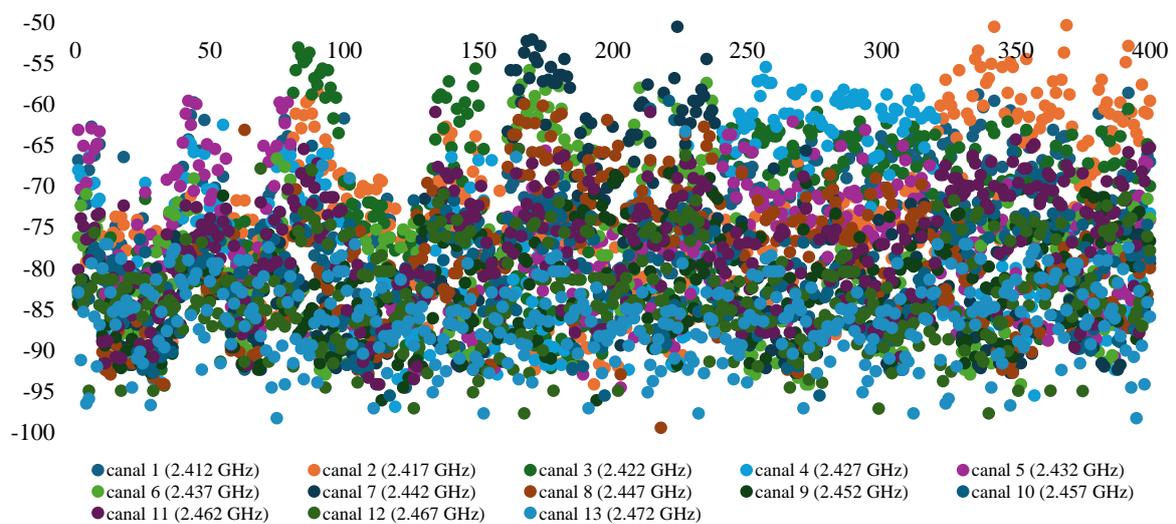
Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 23			
	4°00'32.19"S	79°12'08.28"O	2090

**Figura 81.** Espectrograma 1 registrado en el punto 23 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

**Figura 82.** Diagrama de dispersión del punto 23 -banda de análisis 2.4GHz

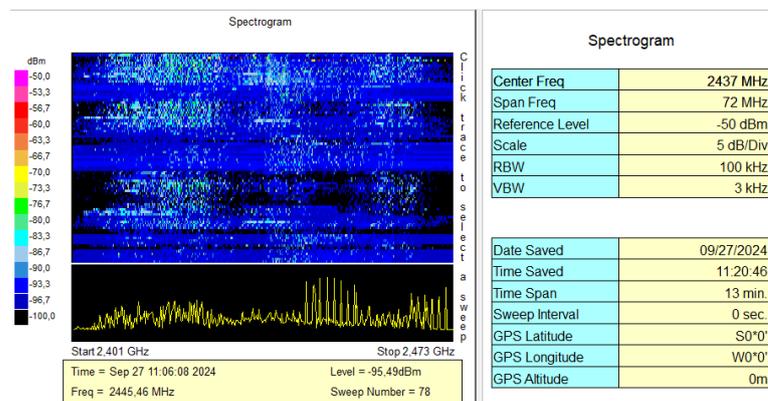


Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 23.

Zona de medición	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Punto 24	4°00'41.41"S	79°12'06.59"O	2102

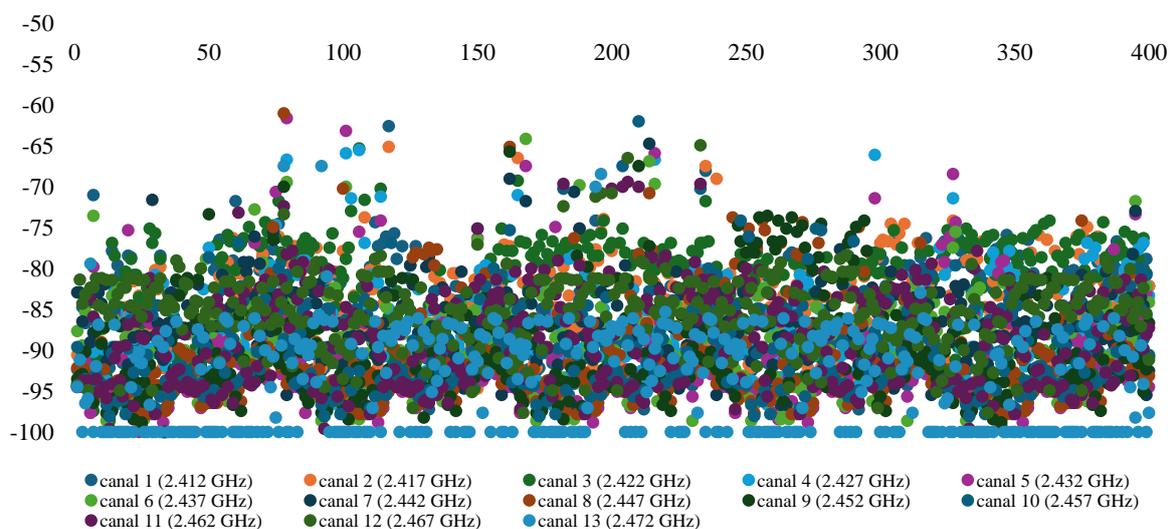


**Figura 83.** Espectrograma 1 registrado en el punto 24 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

**Figura 84.** Diagrama de dispersión del punto 24 -banda de análisis 2.4GHz



Nota: En este diagrama se representan las 5200 muestras registradas para el punto 24.

### 6.3. Resultados de ocupación del espectro radioeléctrico

Previa extracción manual de los datos en las hojas de cálculo de Excel de los niveles de potencia de los espectrogramas generados con ayuda del analizador, se pudo obtener los valores porcentuales de la evaluación del espectro radioeléctrico para cada una de las bandas, analizadas dentro de los puntos establecidos del casco urbano central de la ciudad de Loja. Los resultados alcanzados tienen como objetivo identificar la utilización actual del espectro en la banda de 915MHz y 2.4GHz consideradas como parte del espectro no licenciado, y de esta forma potenciar actividades de procesos de selección objetiva, estudios de convivencia, subasta del espectro y despliegue de infraestructura.

Como se lo menciono en el apartado 5.4.2.4, el estudio espectral se ejecuta para cada una de las zonas de medición; a continuación, se detallan los resultados alcanzados de esta evaluación, presentado la ocupación porcentual por canal y por banda.

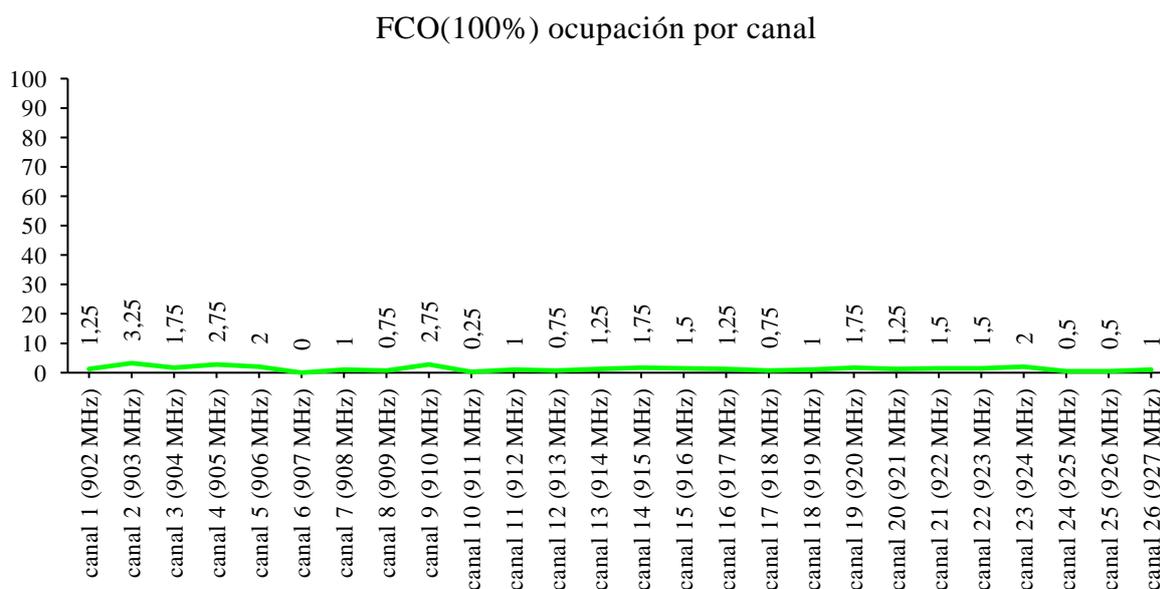
#### 6.3.1. Ocupación por canal en cada zona de medición

##### Banda de 915MHz

Como se lo menciono en el apartado 5.4.2.6, para analizar esta banda se dividió en 26 canales, con una división geográfica de 7 zonas de medición, a continuación, se presenta los valores porcentuales de cada canal.

##### Punto 1

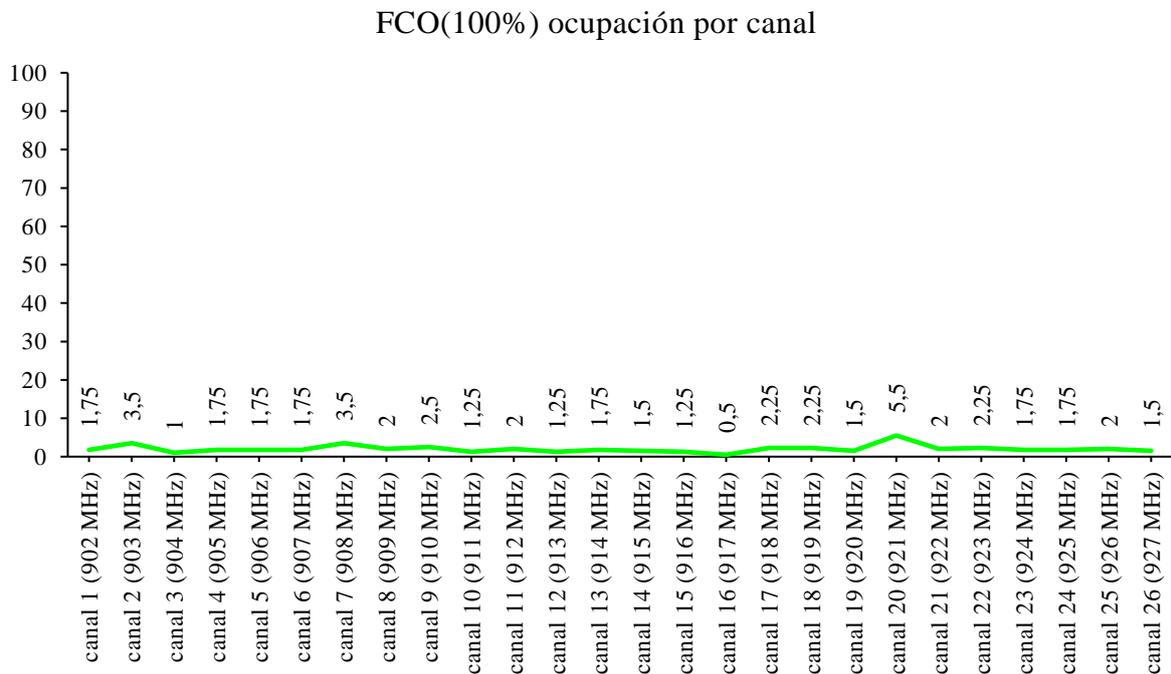
Figura 85. Ocupación en los canales del punto 1 - banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 2

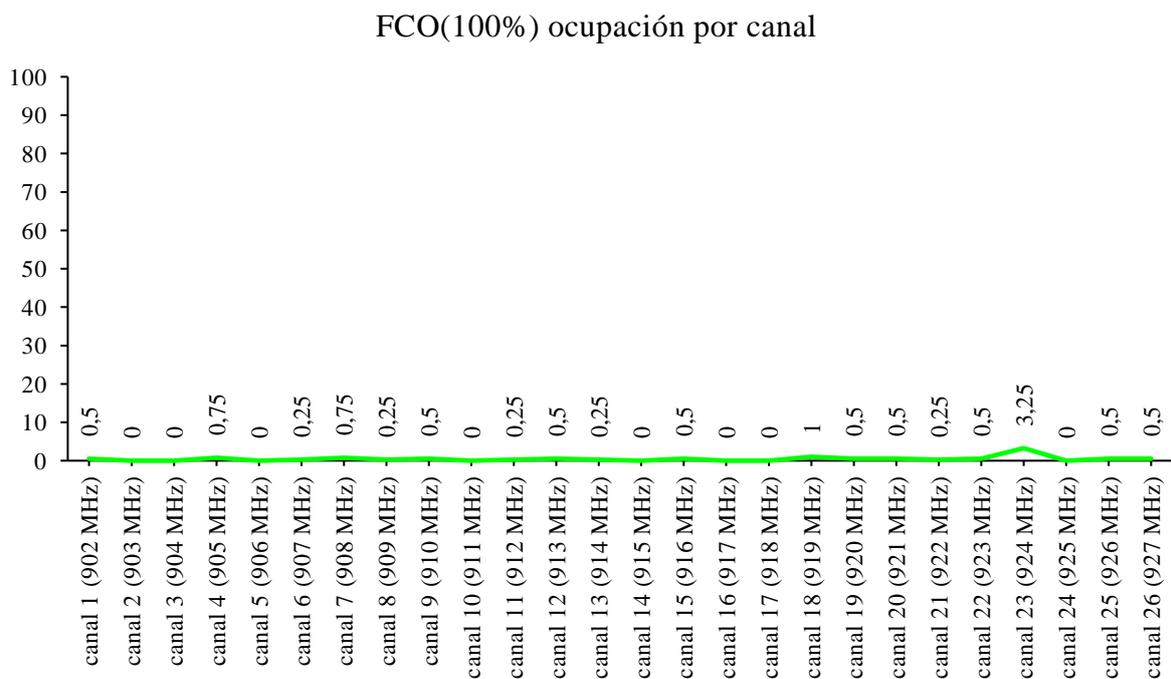
Figura 86. Ocupación en los canales del punto 2 - banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 3

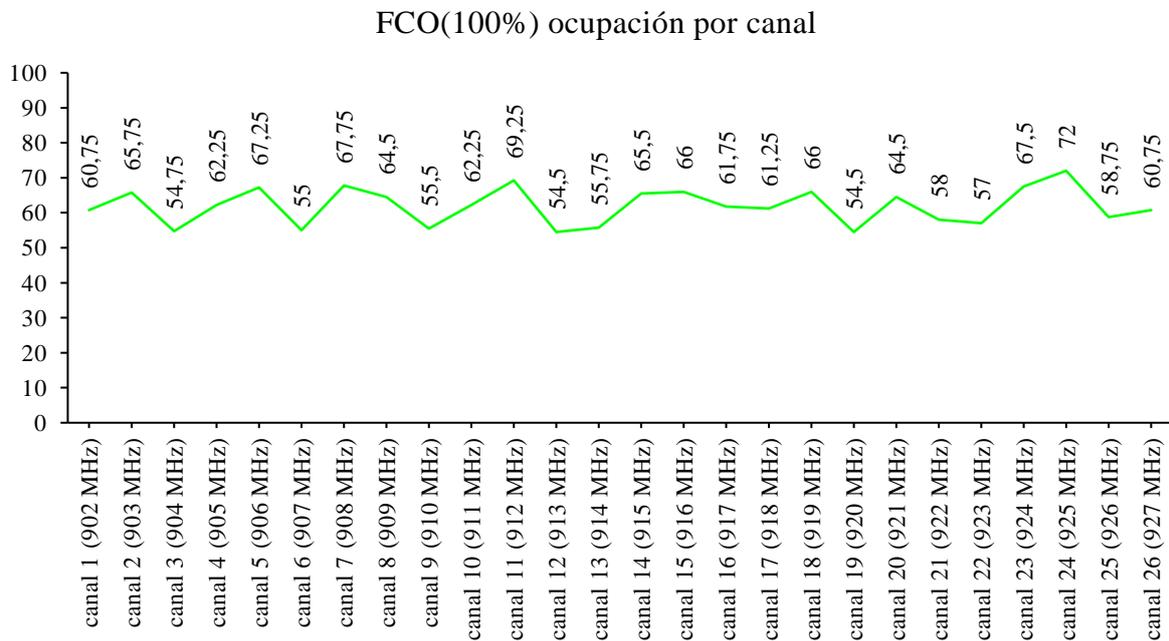
Figura 87. Ocupación en los canales del punto 3 - banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

#### Punto 4

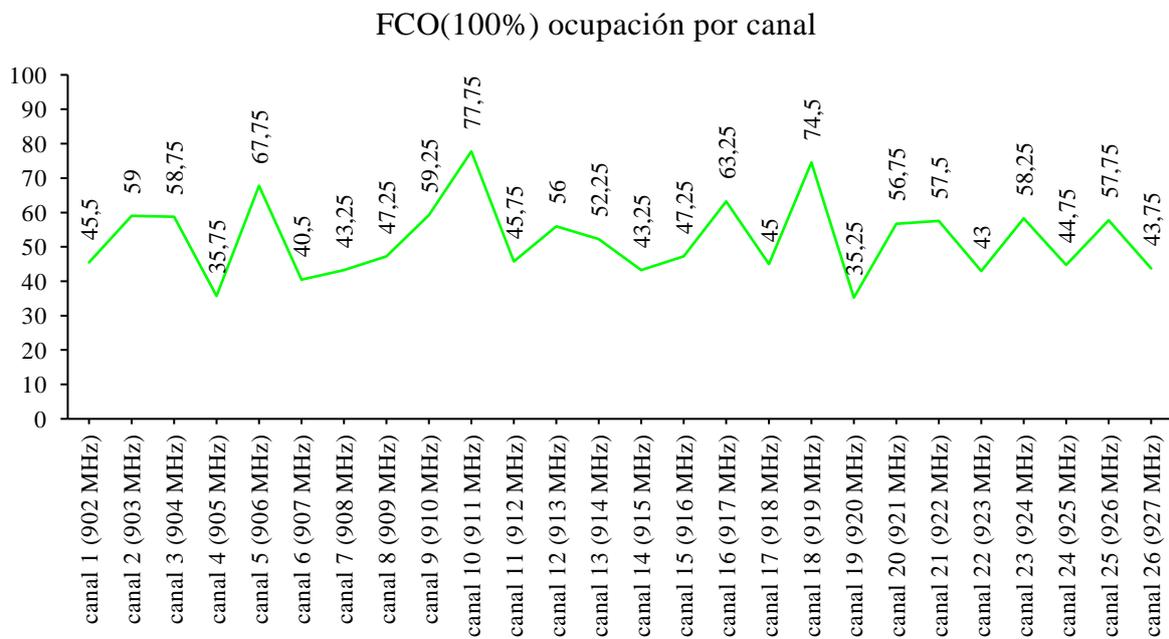
Figura 88. Ocupación en los canales del punto 4 - banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

#### Punto 5

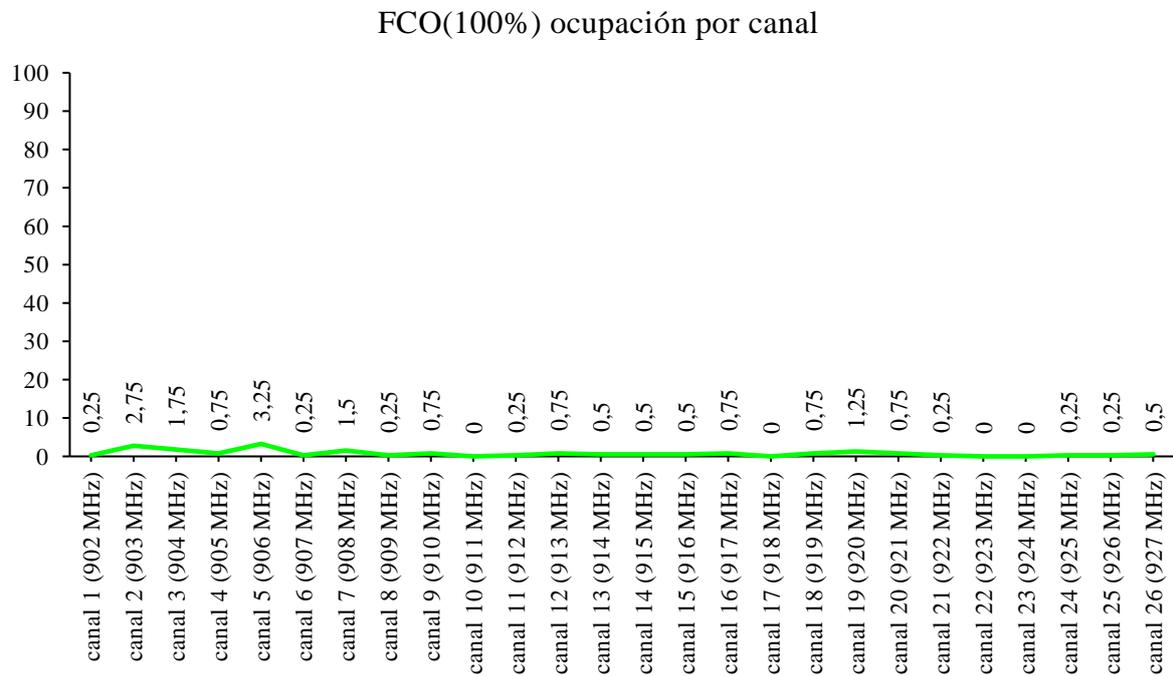
Figura 89. Ocupación en los canales del punto 5 - banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 6

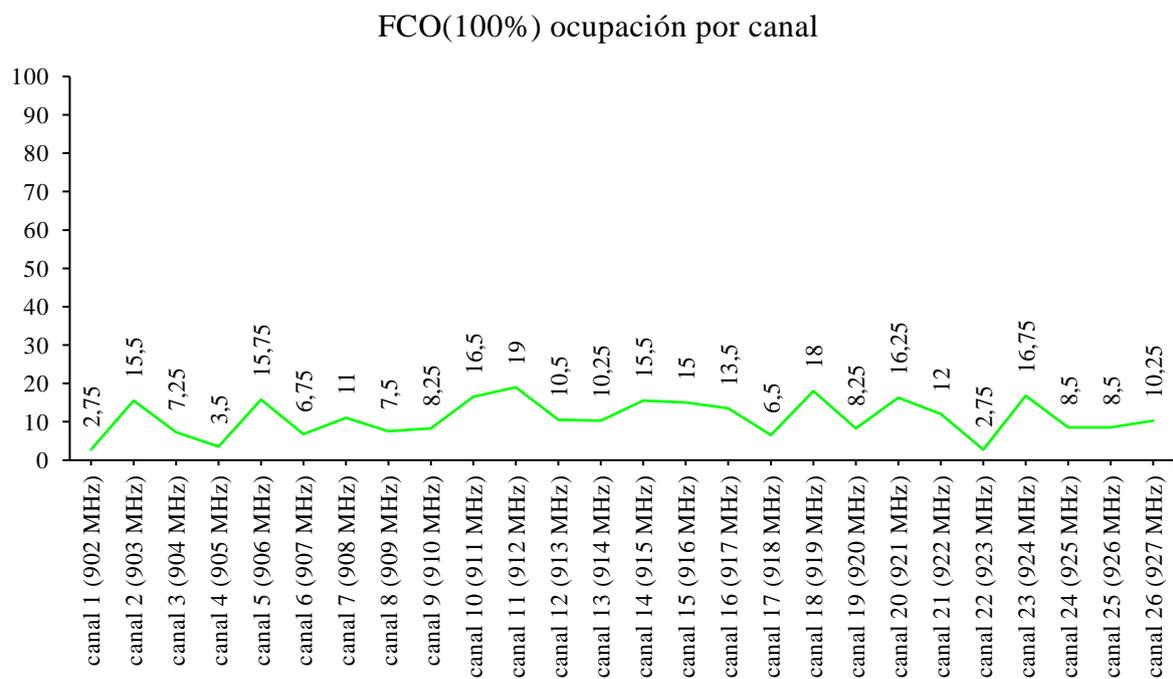
**Figura 90.** Ocupación en los canales del punto 6 - banda de análisis 915MHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 7

**Figura 91.** Ocupación en los canales del punto 7 - banda de análisis 915MHz



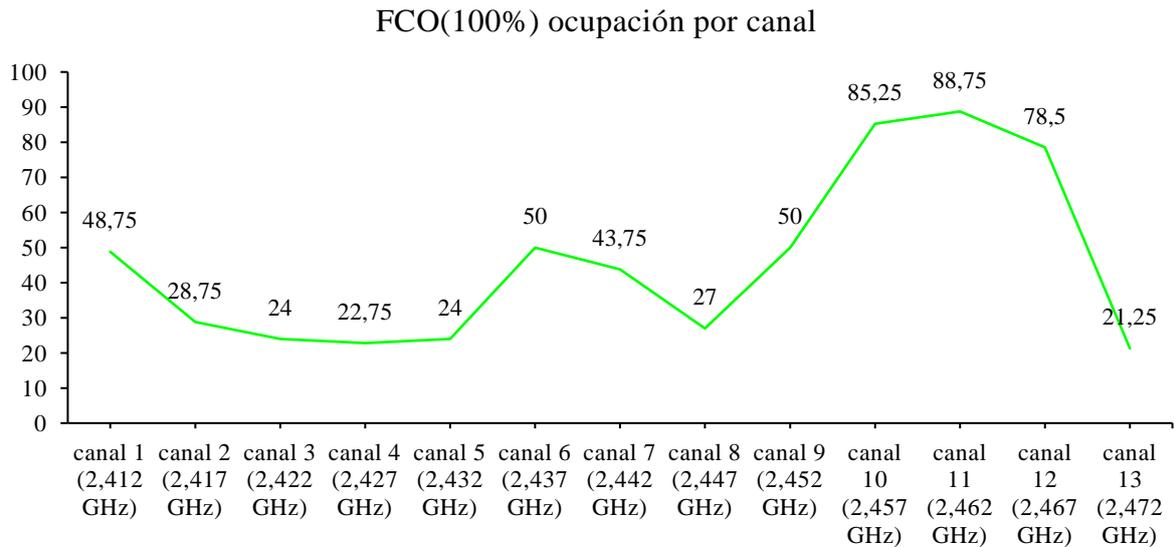
Nota: Elaboración propia

## Banda de 2.4GHz

Para analizar esta banda se dividió en 13 canales que corresponden a los canales Wi-Fi, con una división geográfica de 24 zonas de medición, a continuación, se presenta los valores porcentuales de cada canal.

### Punto 1

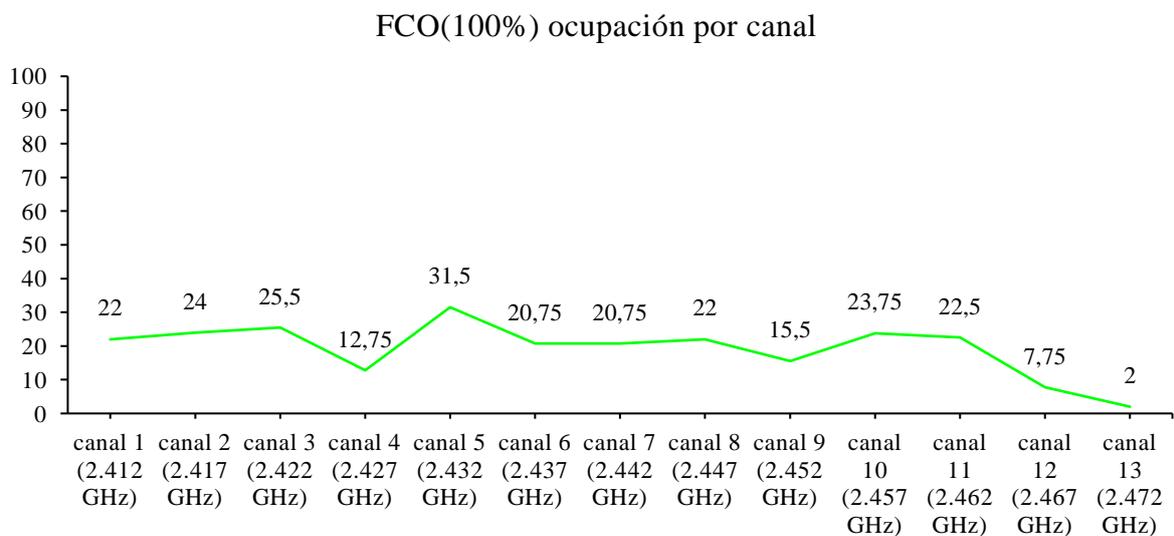
**Figura 92.** Ocupación en los canales del punto 1 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 2

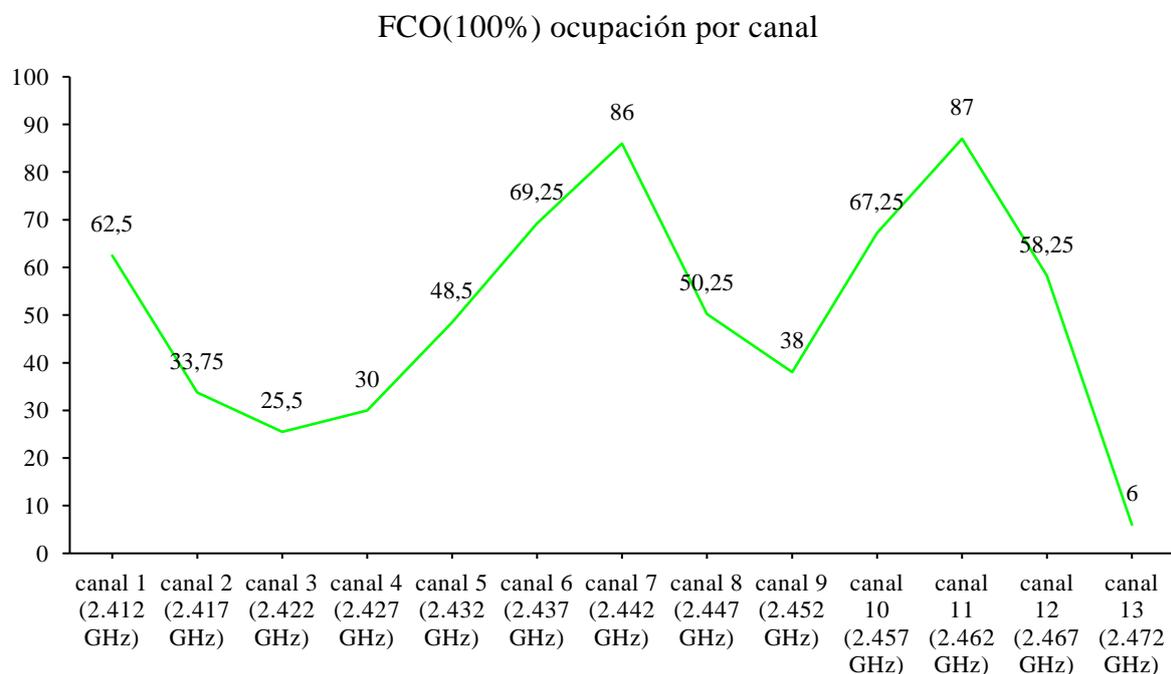
**Figura 93.** Ocupación en los canales del punto 2 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 3

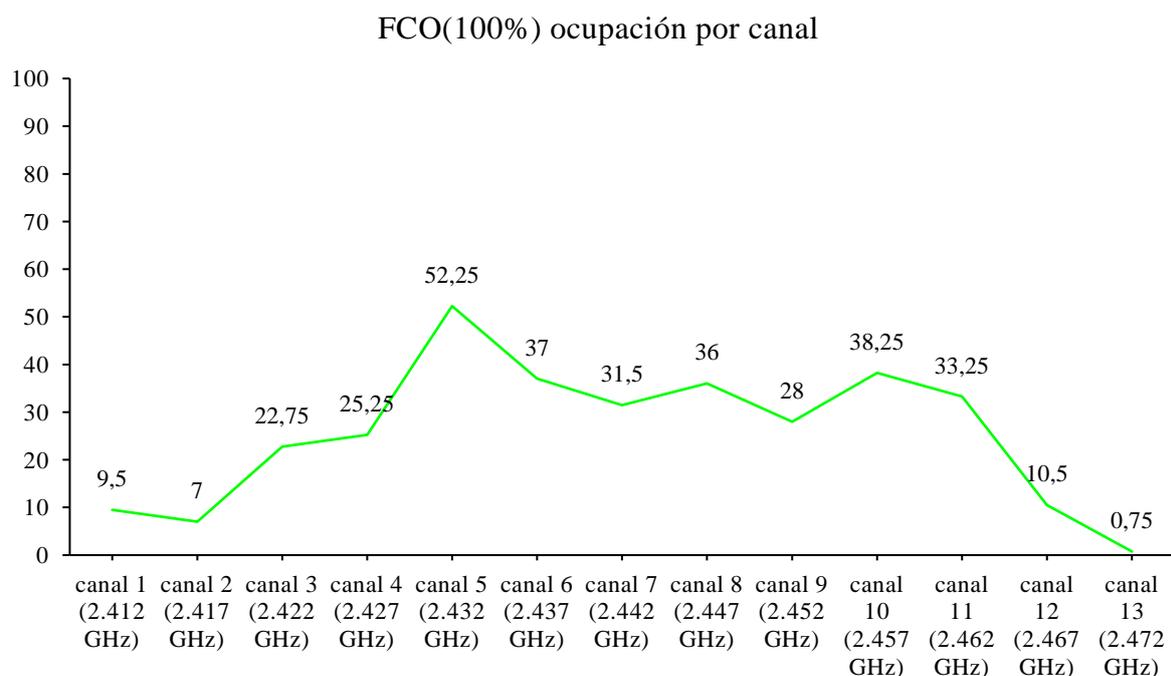
Figura 94. Ocupación en los canales del punto 3 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 4

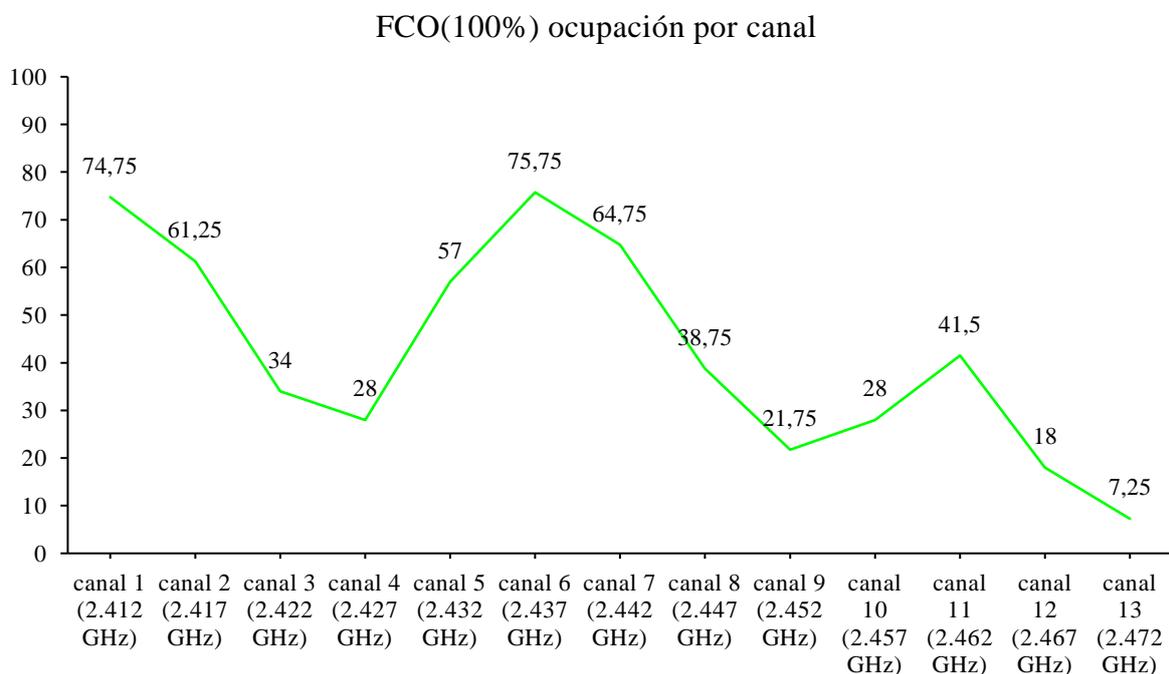
Figura 95. Ocupación en los canales del punto 4 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 5

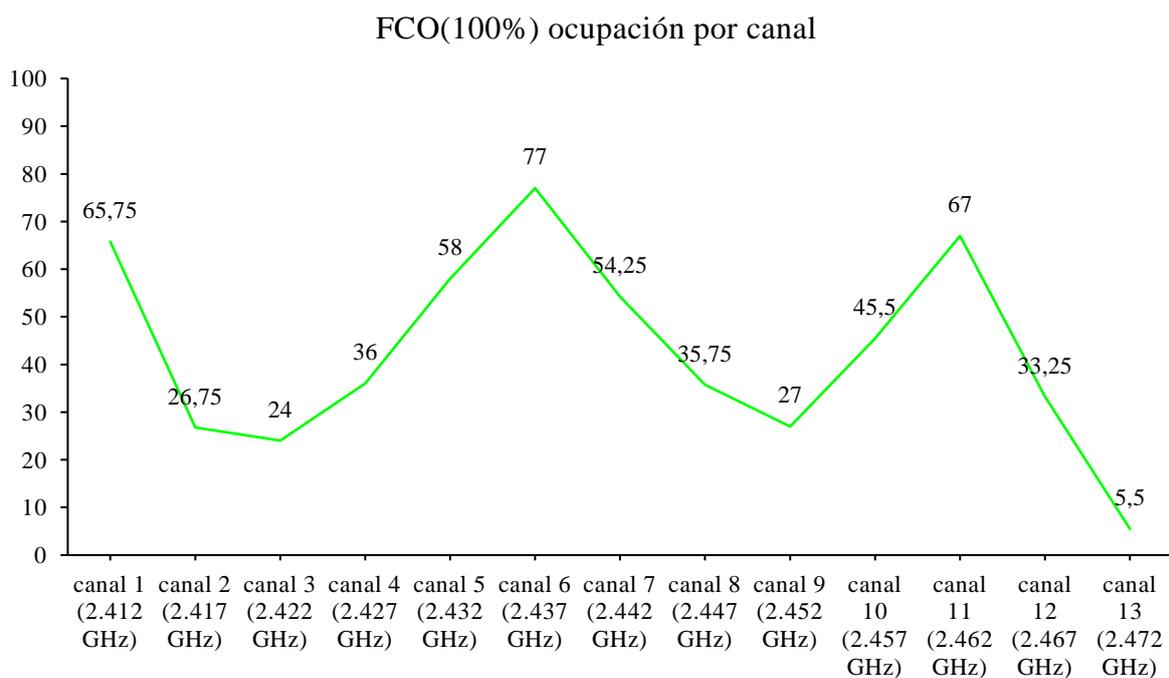
**Figura 96.** Ocupación en los canales del punto 5 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 6

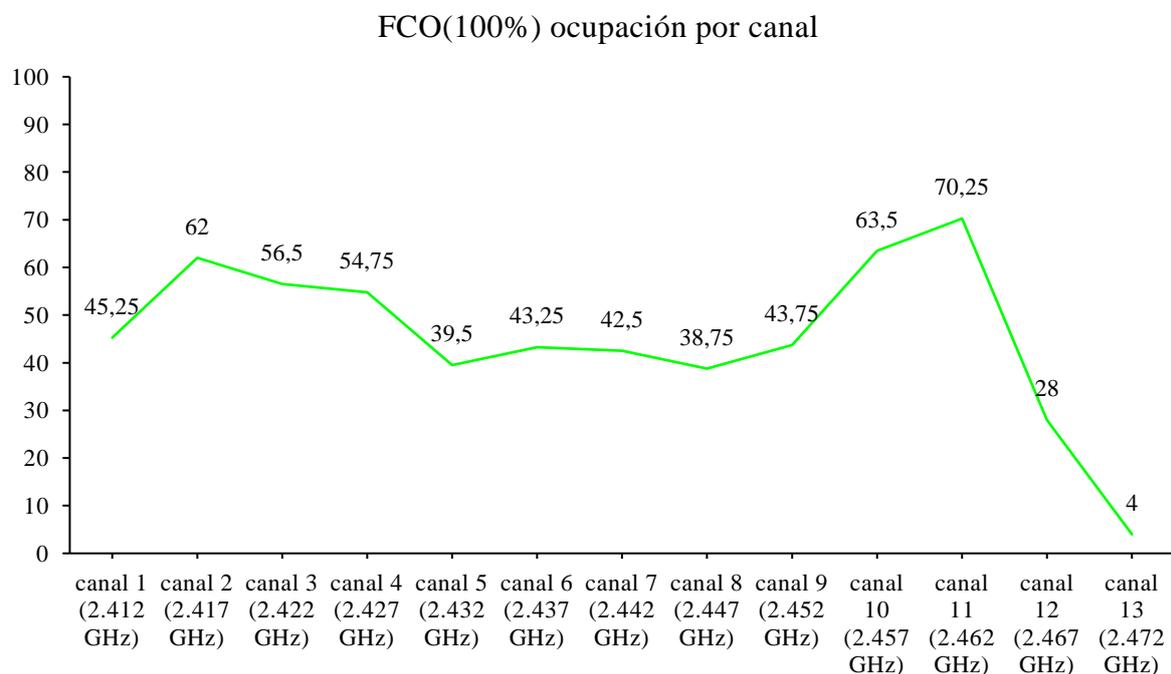
**Figura 97.** Ocupación en los canales del punto 6 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 7

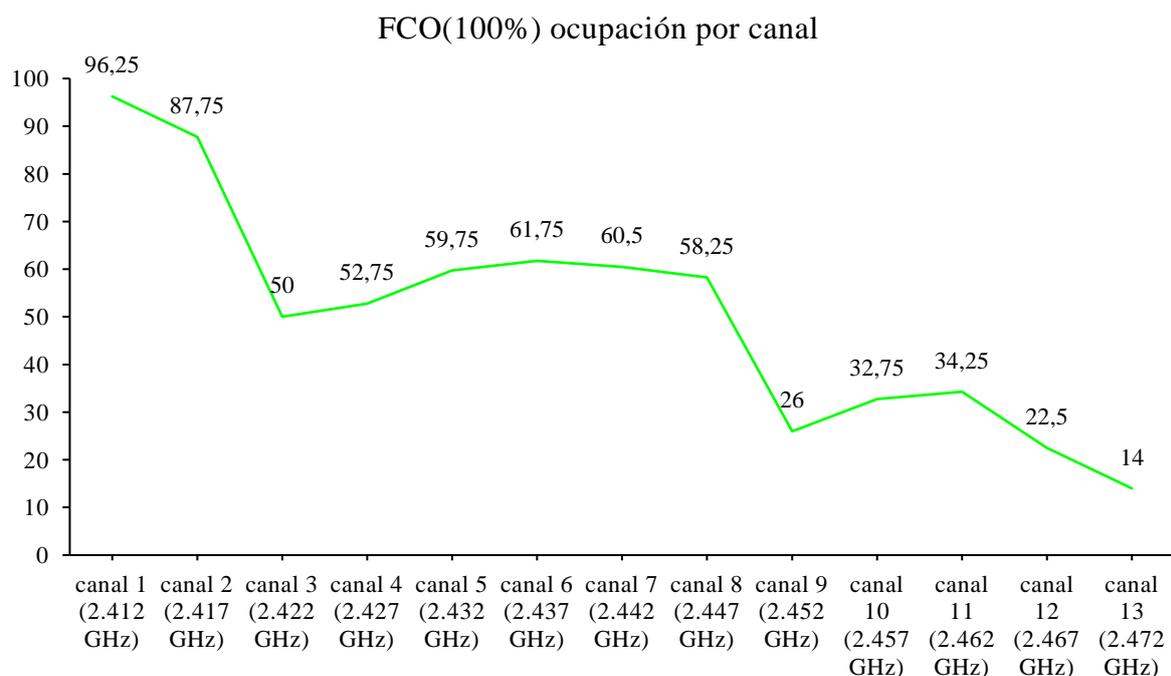
**Figura 98.** Ocupación en los canales del punto 7 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 8

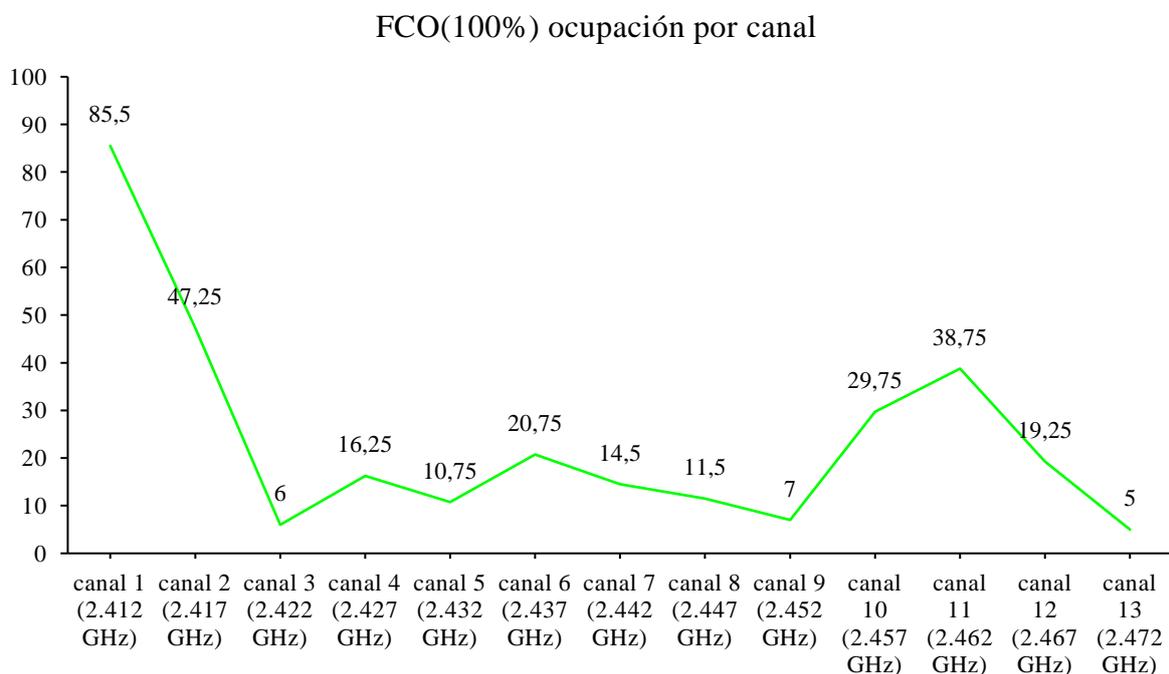
**Figura 99.** Ocupación en los canales del punto 8 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 9

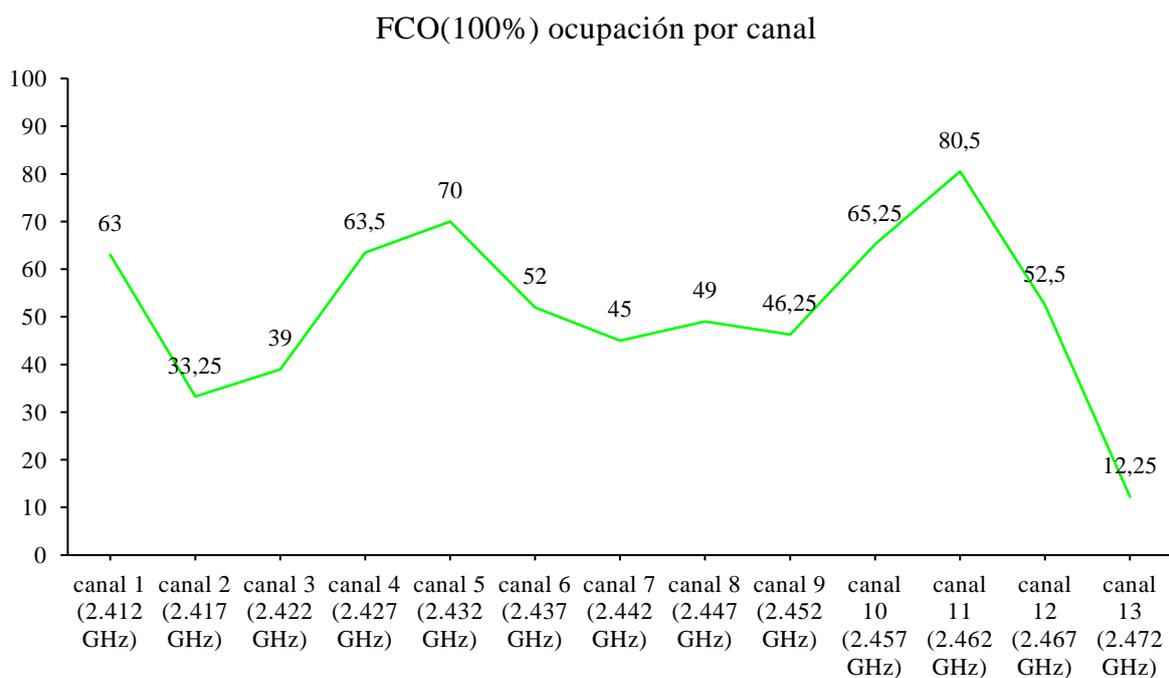
**Figura 100.** Ocupación en los canales del punto 9 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 10

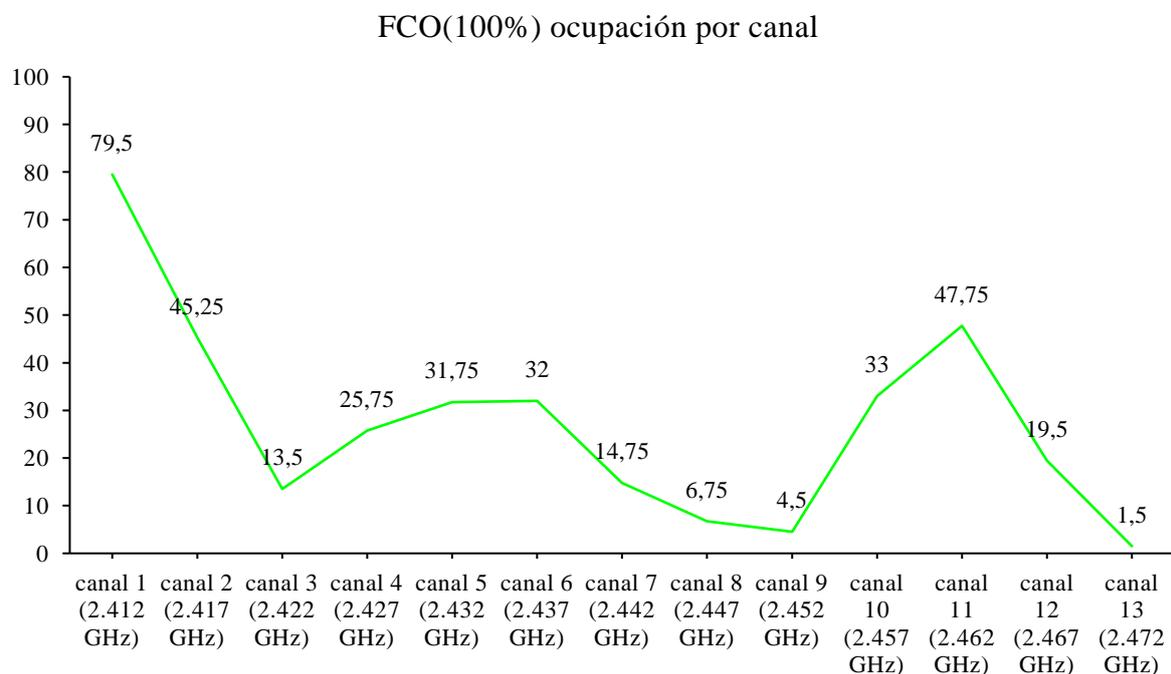
**Figura 101.** Ocupación en los canales del punto 10 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 11

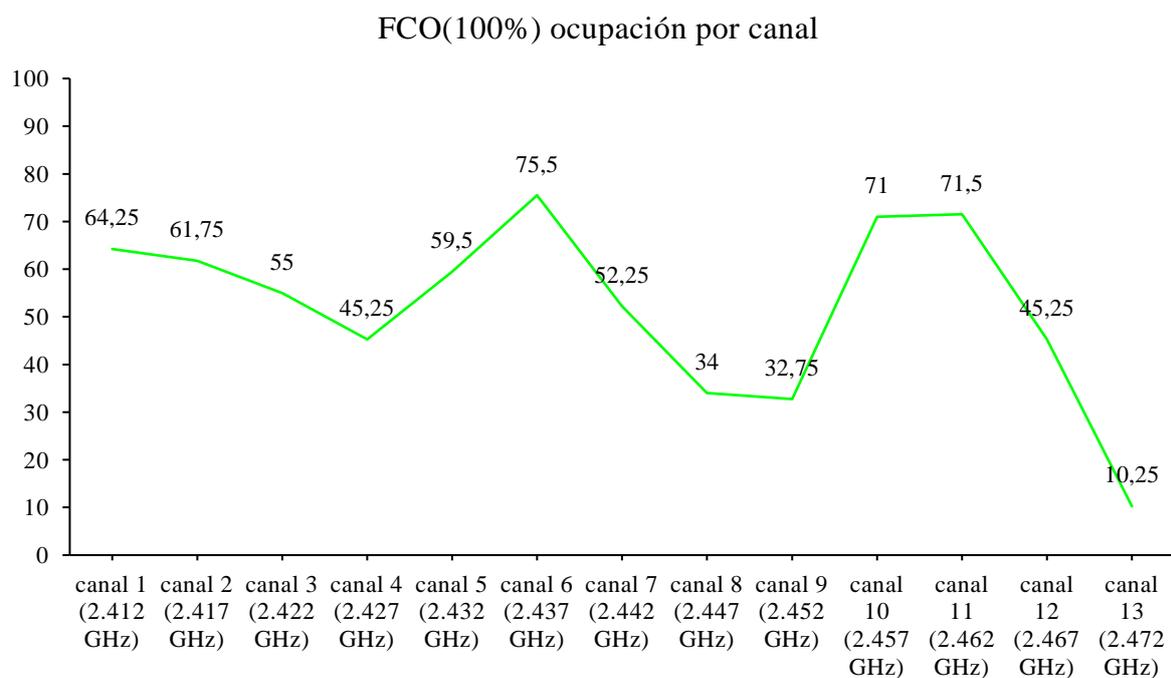
**Figura 102.** Ocupación en los canales del punto 11 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 12

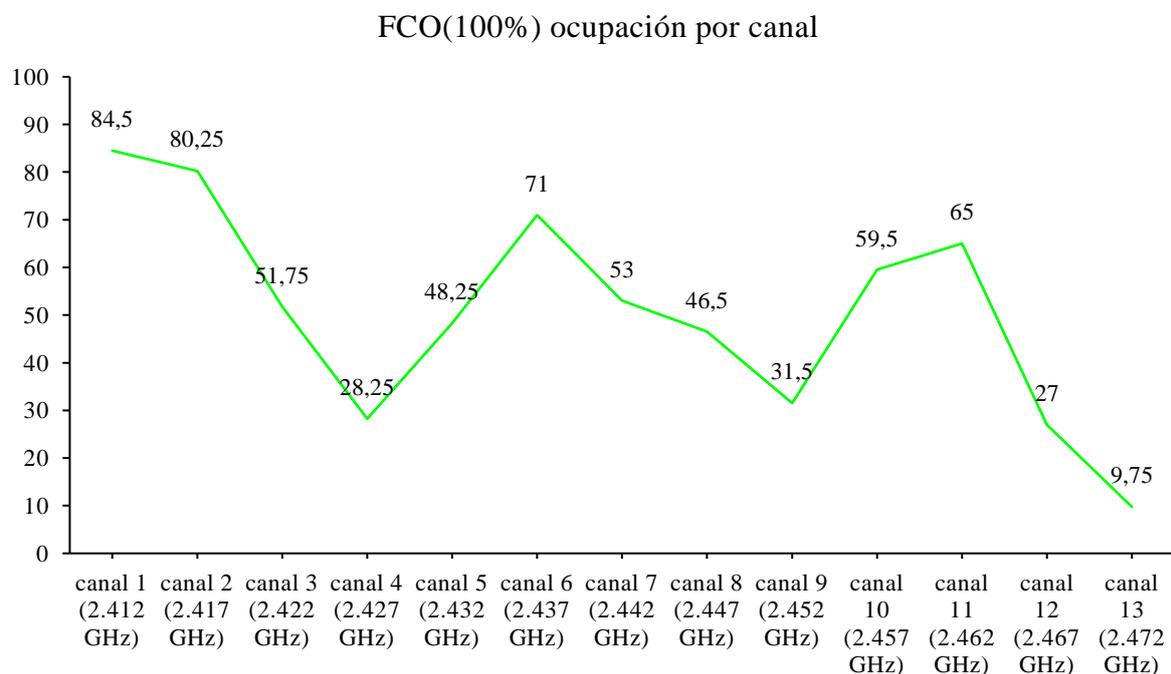
**Figura 103.** Ocupación en los canales del punto 12 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 13

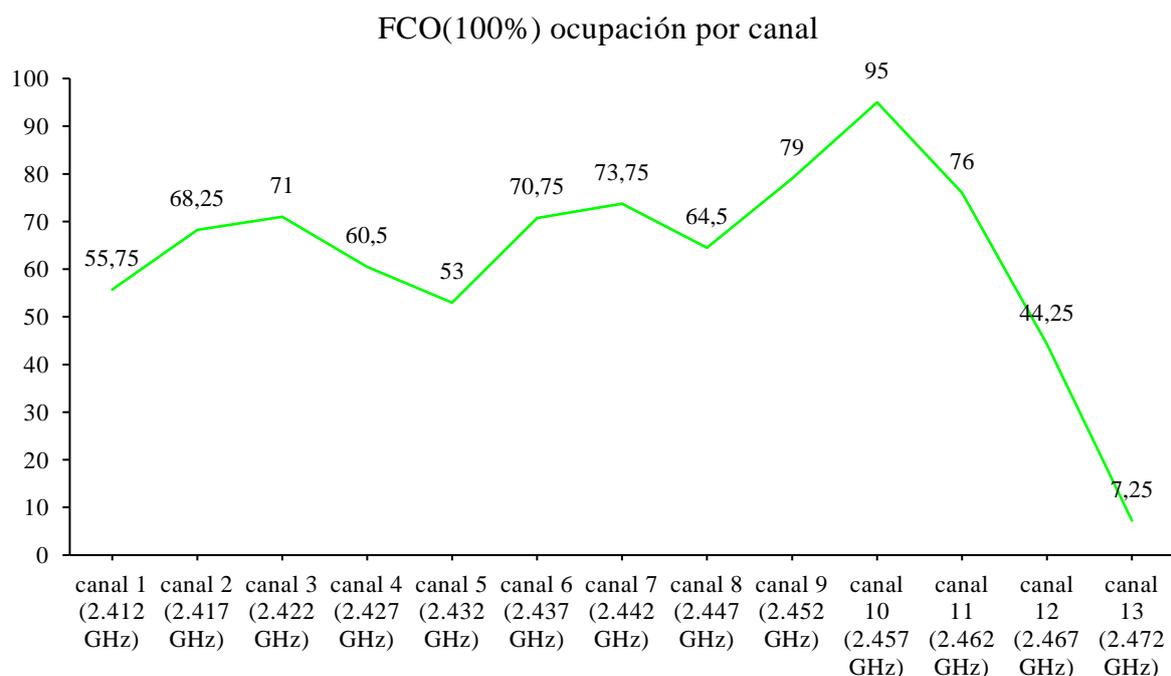
**Figura 104.** Ocupación en los canales del punto 13 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 14

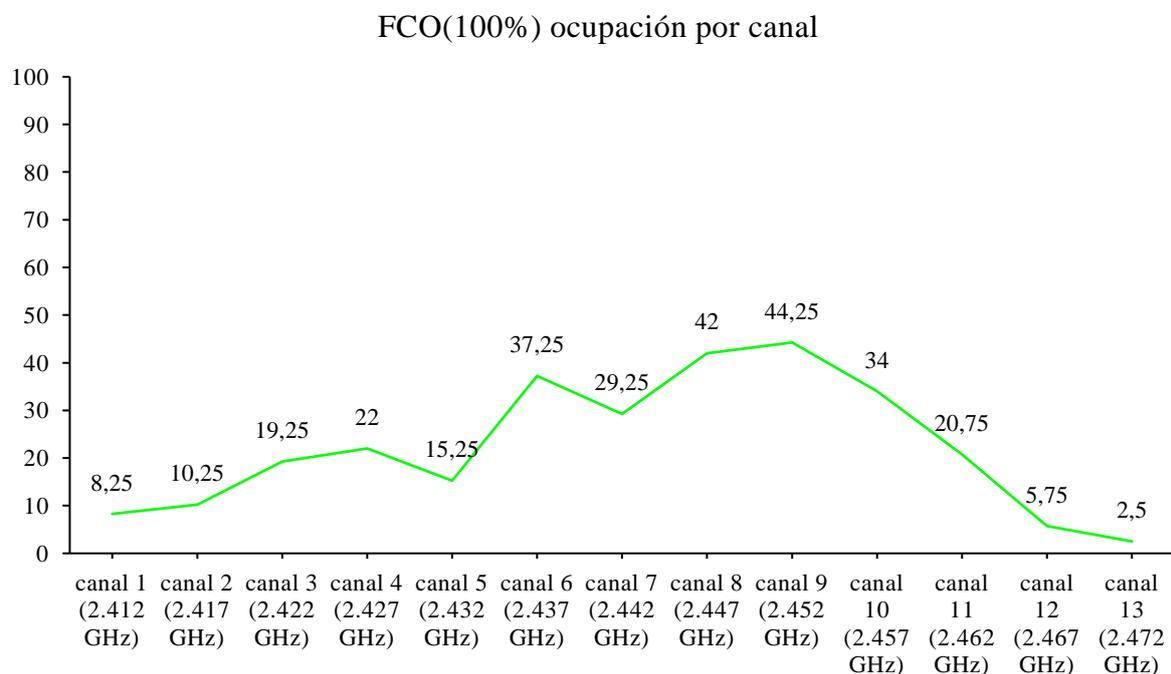
**Figura 105.** Ocupación en los canales del punto 14 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 15

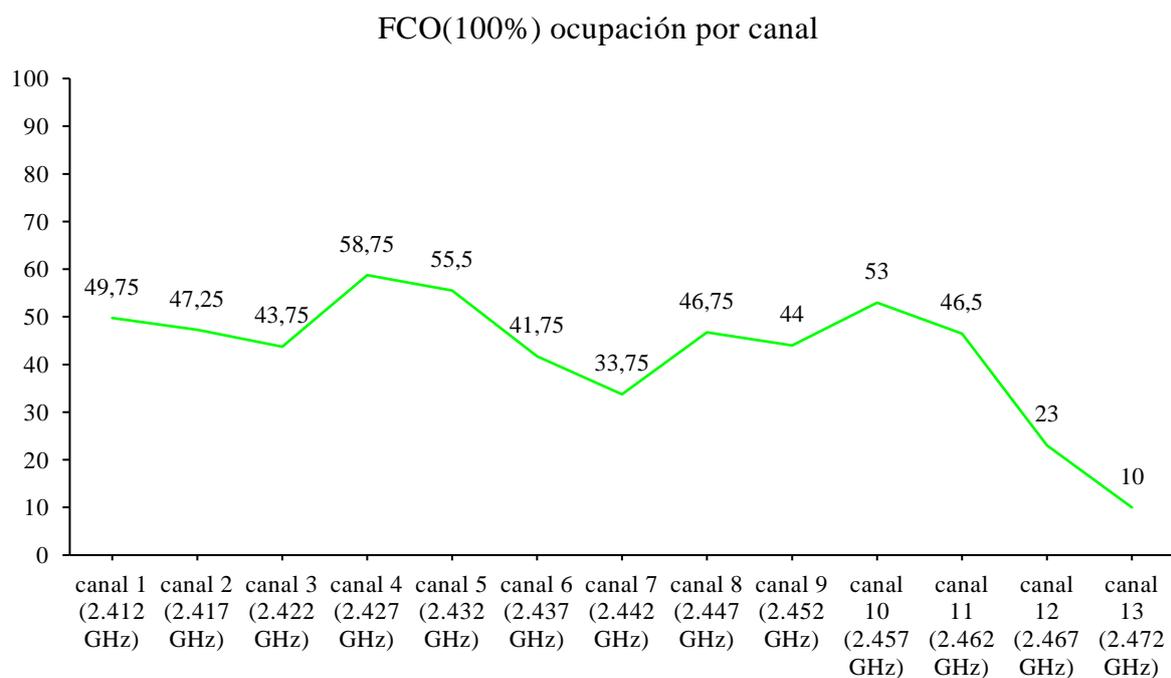
Figura 106. Ocupación en los canales del punto 15 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 16

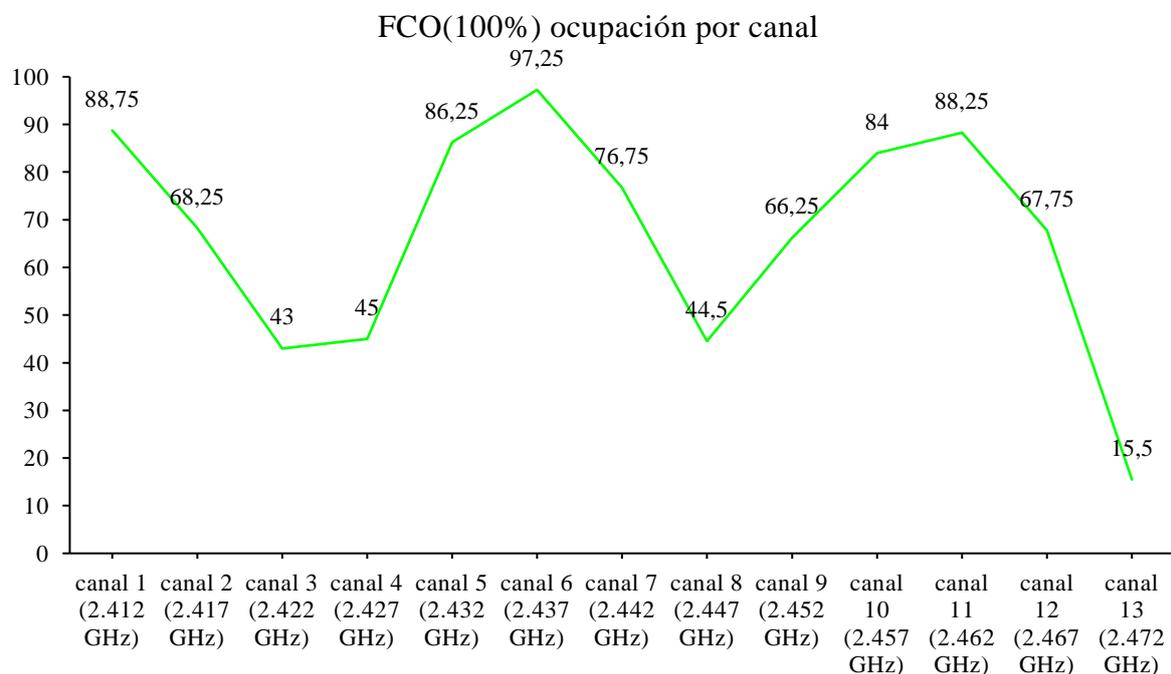
Figura 107. Ocupación en los canales del punto 16 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 17

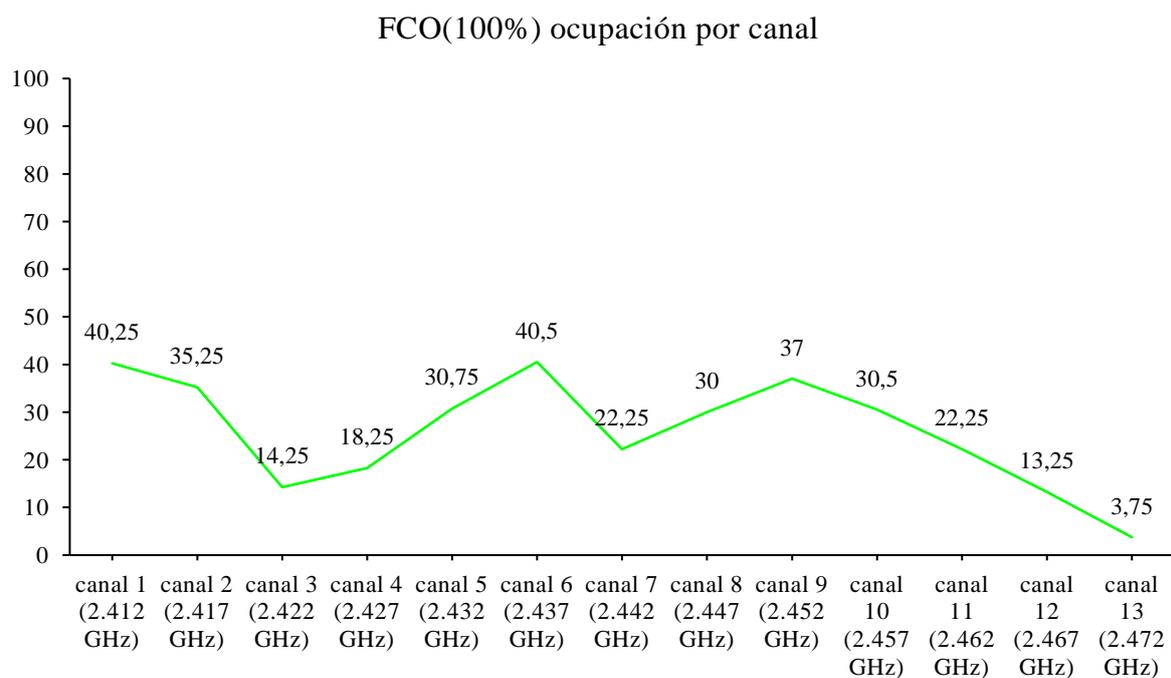
**Figura 108.** Ocupación en los canales del punto 17 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 18

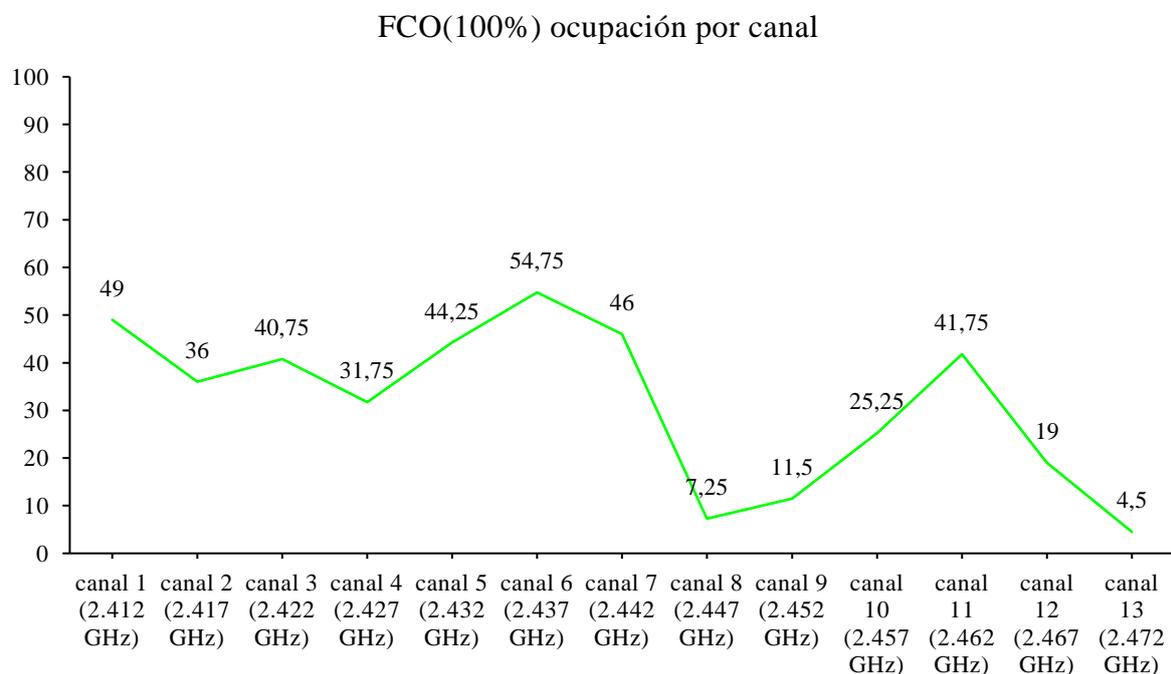
**Figura 109.** Ocupación en los canales del punto 18 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 19

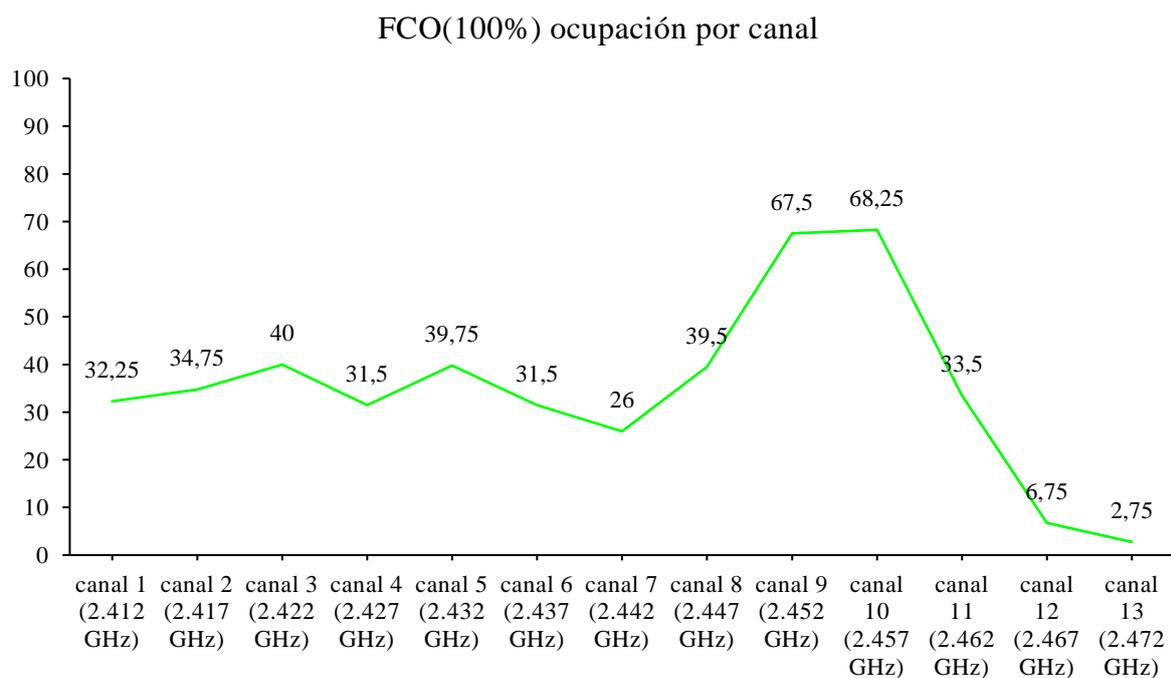
Figura 110. Ocupación en los canales del punto 19 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 20

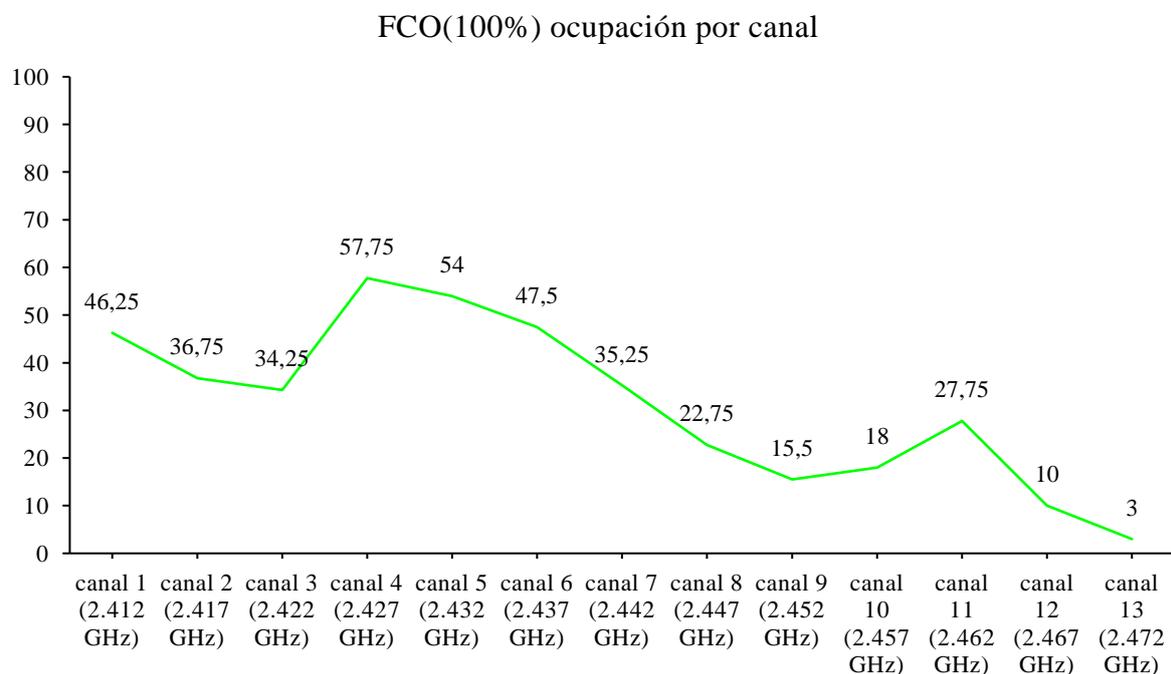
Figura 111. Ocupación en los canales del punto 20 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 21

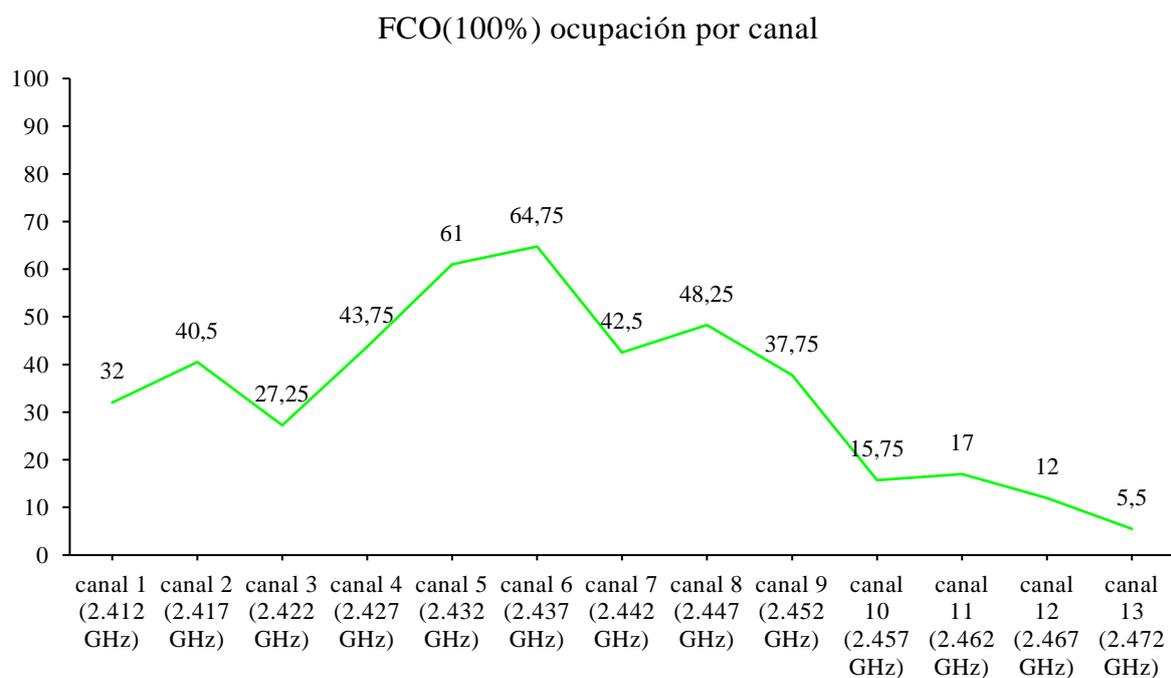
Figura 112. Ocupación en los canales del punto 21 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

## Punto 22

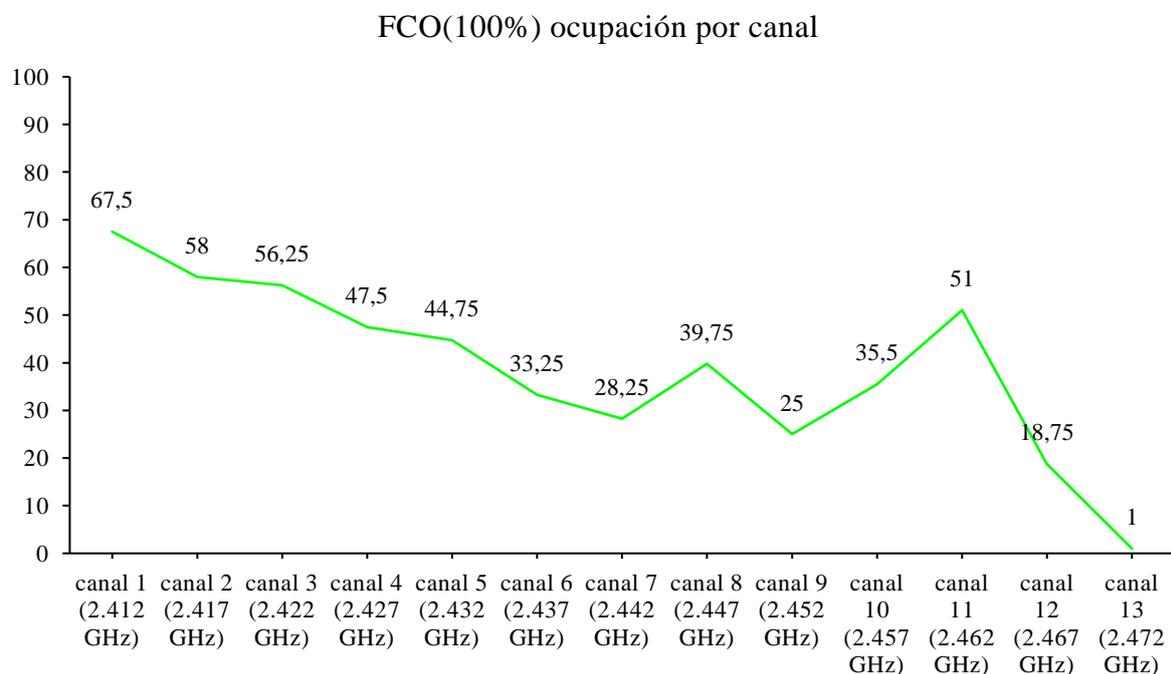
Figura 113. Ocupación en los canales del punto 22 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 23

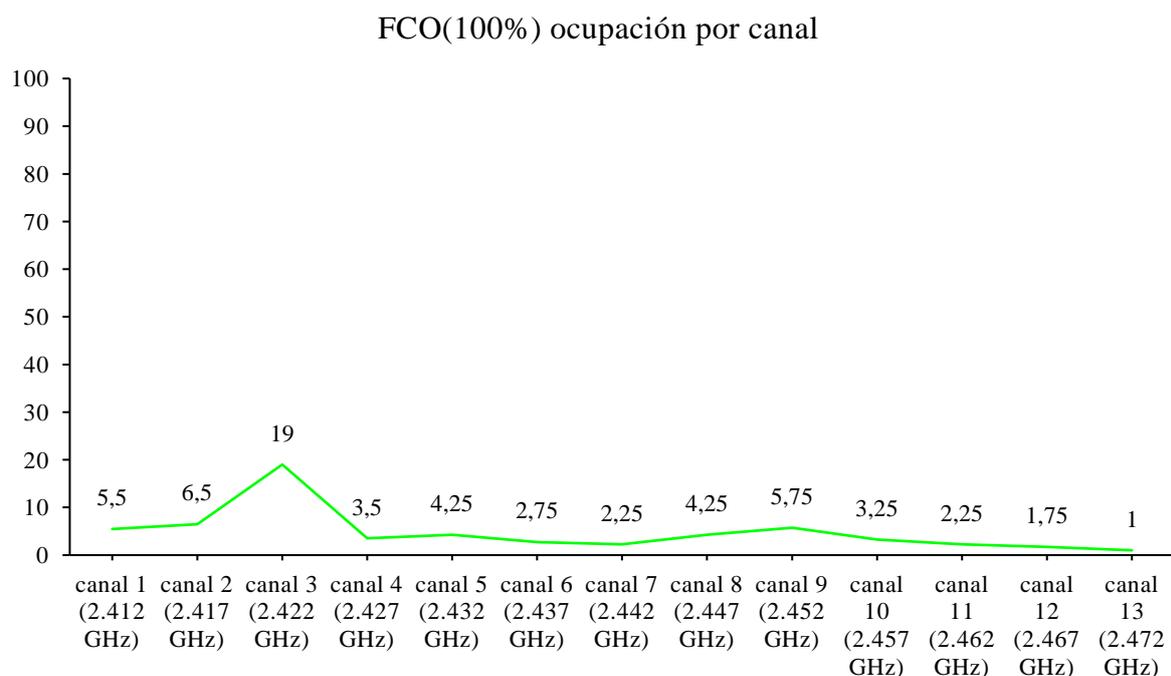
Figura 114. Ocupación en los canales del punto 23 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### Punto 24

Figura 115. Ocupación en los canales del punto 24 - banda de análisis 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

### 6.3.2. Ocupación por canal en el área de estudio

Para visualizar la ocupación total por canal en toda el área de estudio se diseña una gráfica que represente la ocupación de los canales. Para ello, primero se calcula la ocupación sumando las muestras por canal de las distintas zonas de medición cuyo nivel es superior al umbral y dividiendo este valor por el número de muestras tomadas en el canal durante el periodo de integración. Determinando el porcentaje del canal ocupado y el que está libre.

#### Para 915 MHz

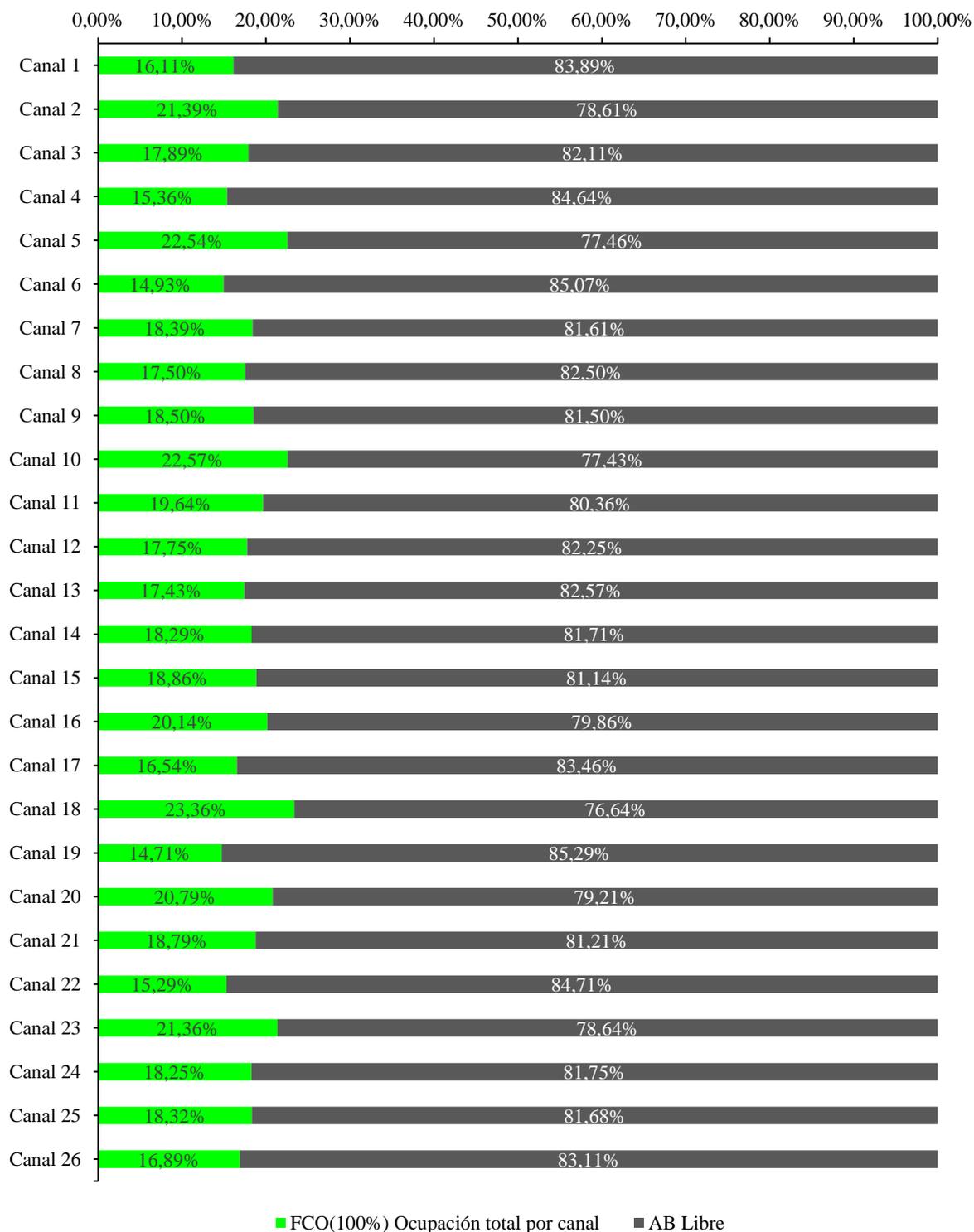
**Tabla 20.** Ocupación por canal en el área de estudio – banda de análisis 915 MHz

	<b>Muestras que superan el umbral</b>	<b>Total de muestras en cada canal</b>	<b>Ocupación en el área de estudio</b>	<b>FCO (100%)</b>
Canal 1	451	2800	0,161071	16,11%
Canal 2	599	2800	0,213929	21,39%
Canal 3	501	2800	0,178929	17,89%
Canal 4	430	2800	0,153571	15,36%
Canal 4	631	2800	0,225357	22,54%
Canal 6	418	2800	0,149286	14,93%
Canal 7	515	2800	0,183929	18,39%
Canal 8	490	2800	0,175	17,50%
Canal 9	518	2800	0,185	18,50%
Canal 10	632	2800	0,225714	22,57%
Canal 11	550	2800	0,196429	19,64%
Canal 12	497	2800	0,1775	17,75%
Canal 13	488	2800	0,174286	17,43%
Canal 14	512	2800	0,182857	18,29%
Canal 15	528	2800	0,188571	18,86%
Canal 16	564	2800	0,201429	20,14%
Canal 17	463	2800	0,165357	16,54%
Canal 18	654	2800	0,233571	23,36%
Canal 19	412	2800	0,147143	14,71%
Canal 20	582	2800	0,207857	20,79%
Canal 21	526	2800	0,187857	18,79%
Canal 22	428	2800	0,152857	15,29%
Canal 23	598	2800	0,213571	21,36%
Canal 24	511	2800	0,1825	18,25%

Canal 25	513	2800	0,183214	18,32%
Canal 26	473	2800	0,168929	16,89%

Nota: Elaboración propia

**Figura 116.** Disponibilidad del espectro por canal en el área de estudio - banda 915 MHz



Nota: Elaboración propia

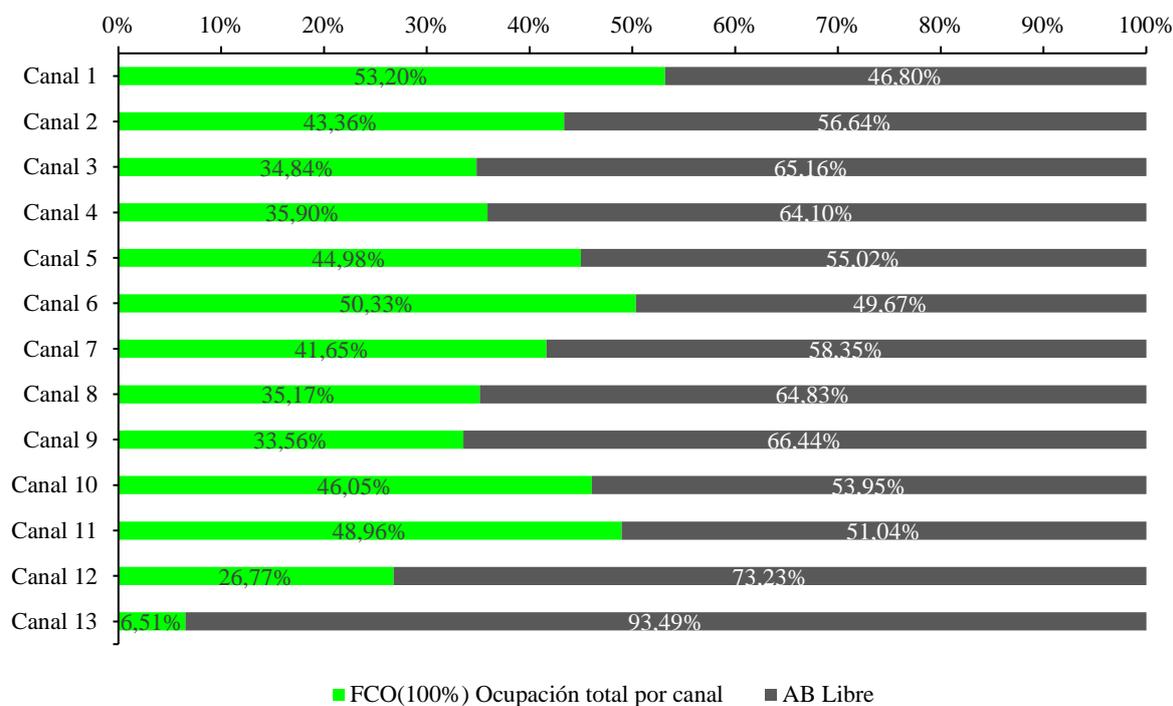
## Para 2.4 GHz

**Tabla 21.** Ocupación por canal en el área de estudio – banda de análisis 2.4 GHz

	Muestras que superan el umbral	Total de muestras en cada canal	Ocupación en el área de estudio	FCO (100%)
Canal 1	5107	9600	0,531979167	53,20%
Canal 2	4163	9600	0,433646	43,36%
Canal 3	3345	9600	0,348438	34,84%
Canal 4	3446	9600	0,358958	35,90%
Canal 5	4318	9600	0,449792	44,98%
Canal 6	4832	9600	0,503333	50,33%
Canal 7	3998	9600	0,416458	41,65%
Canal 8	3376	9600	0,351667	35,17%
Canal 9	3222	9600	0,335625	33,56%
Canal 10	4421	9600	0,460521	46,05%
Canal 11	4700	9600	0,489583	48,96%
Canal 12	2570	9600	0,267708	26,77%
Canal 13	625	9600	0,065104	6,51%

Nota: Elaboración propia

**Figura 117.** Disponibilidad del espectro por canal en el área de estudio - banda 2.4 GHz



Nota: Elaboración propia

### 6.3.3. Ocupación por banda en cada zona de medición

Para visualizar la ocupación del espectro por banda de frecuencia, se diseña una gráfica que representa las zonas de medición. Para ello, primero se calcula la ocupación sumando las muestras obtenidas en los distintos puntos cuyo nivel es superior al umbral y dividiendo este valor por el número total de muestras medidas durante el periodo de integración, determinando el porcentaje de Ancho de Banda ocupado y el que está libre.

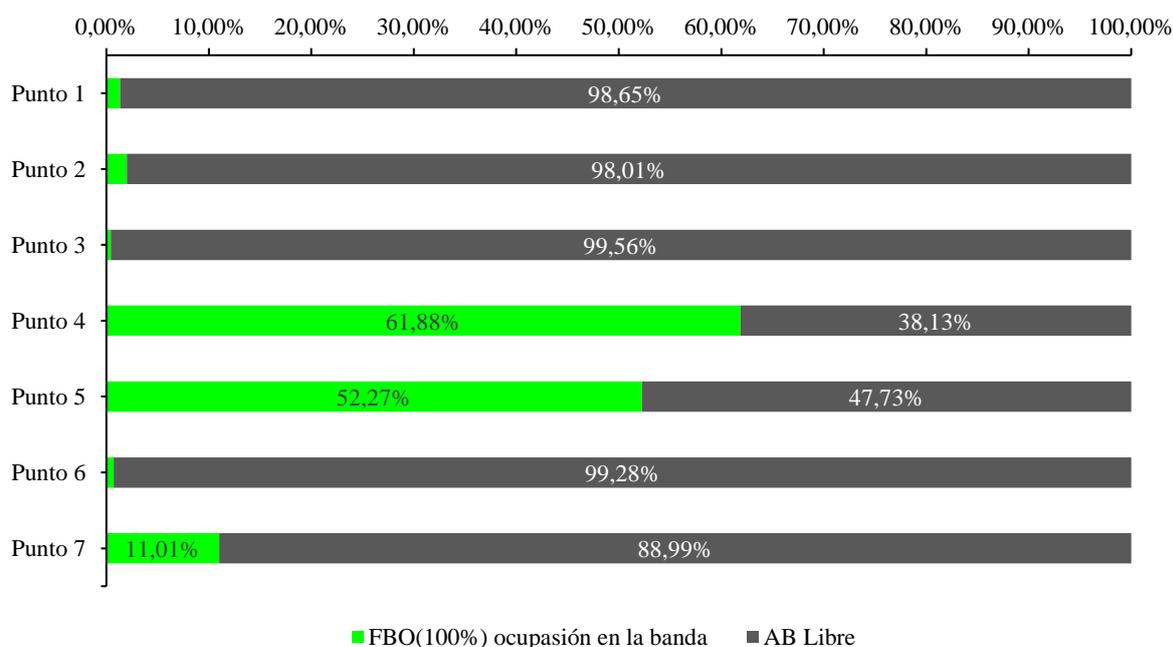
#### Para 915MHz

**Tabla 22.** Nivel porcentual del ancho de banda – banda de análisis 915MHz

	Muestras que superan el umbral	Total de muestras en cada canal	Ocupación en el área de estudio	FCO (100%)
Punto 1	140	10400	0,01346154	1,35%
Punto 2	207	10400	0,01990385	1,99%
Punto 3	46	10400	0,00442308	0,44%
Punto 4	6435	10400	0,61875	61,87%
Punto 5	5436	10400	0,52269231	52,27%
Punto 6	75	10400	0,00721154	0,72%
Punto 7	1145	10400	0,11009615	11,01%

Nota: Elaboración propia

**Figura 118.** Nivel de ocupación en las todas las zonas de medición - banda 915MHz



Nota: Elaboración propia

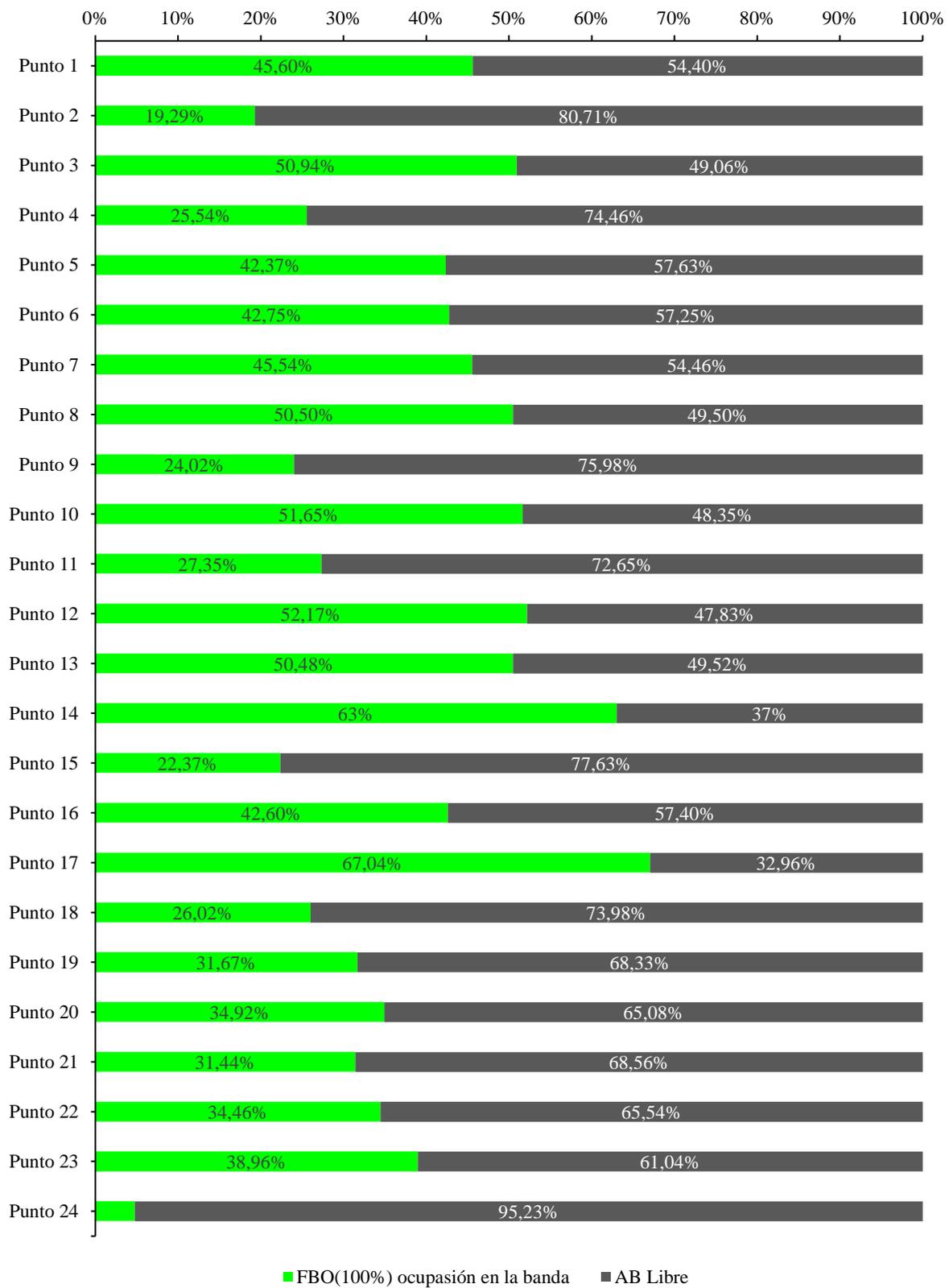
## Para 2.4GHz

**Tabla 23.** Nivel porcentual del ancho de banda – banda de análisis 2.4GHz

	<b>Muestras que superan el umbral</b>	<b>Total de muestras en cada canal</b>	<b>Ocupación en el área de estudio</b>	<b>FCO (100%)</b>
Punto 1	2371	5200	0,45596154	45,60%
Punto 2	1003	5200	0,19288462	19,29%
Punto 3	2649	5200	0,50942308	50,94%
Punto 4	1328	5200	0,25538462	25,54%
Punto 5	2203	5200	0,42365385	42,37%
Punto 6	2223	5200	0,4275	42,75%
Punto 7	2368	5200	0,45538462	45,54%
Punto 8	2626	5200	0,505	50,5%
Punto 9	1249	5200	0,24019231	24,02%
Punto 10	2686	5200	0,51653846	51,65%
Punto 11	1422	5200	0,27346154	27,35%
Punto 12	2713	5200	0,52173077	52,17%
Punto 13	2625	5200	0,50480769	50,48%
Punto 14	3276	5200	0,63	63%
Punto 15	1163	5200	0,22365385	22,37%
Punto 16	2215	5200	0,42596154	42,60%
Punto 17	3486	5200	0,67038462	67,04%
Punto 18	1353	5200	0,26019231	26,02%
Punto 19	1647	5200	0,31673077	31,67%
Punto 20	1816	5200	0,34923077	34,92%
Punto 21	1635	5200	0,31442308	31,44%
Punto 22	1792	5200	0,34461538	34,46%
Punto 23	2026	5200	0,38961538	38,96%
Punto 24	248	5200	0,04769231	4,77%

Nota: Elaboración propia

**Figura 119.** Nivel de ocupación en las todas las zonas de medición - banda 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

#### 6.3.4. Ocupación espectral usada en el área de estudio.

Para obtener la disponibilidad del espectro en el casco urbano central como se puede ver en la figura 120, se calcula la relación entre la suma de las muestras que superan el umbral y la suma total de muestras registradas en cada zona de medición, a partir de estos datos se determina el porcentaje de ancho de banda ocupado. En las tablas 24 y 25 se especifican a detalle estos datos.

##### Para 915 MHz

**Tabla 24.** Ocupación total en el área de estudio – banda de análisis 915 MHz

	<b>Muestras que superan el umbral en cada punto</b>	<b>Total de muestras en cada punto</b>
Punto 1	140	10400
Punto 2	207	10400
Punto 3	46	10400
Punto 4	6435	10400
Punto 5	5436	10400
Punto 6	75	10400
Punto 7	1145	10400
<b>Total de muestras</b>	<b>13484</b>	<b>72800</b>
<b>Ocupación en el área de estudio</b>	<b>0,18521978</b>	
FBO (100%)	18,52%	

Nota: Elaboración propia

##### Para 2.4 GHz

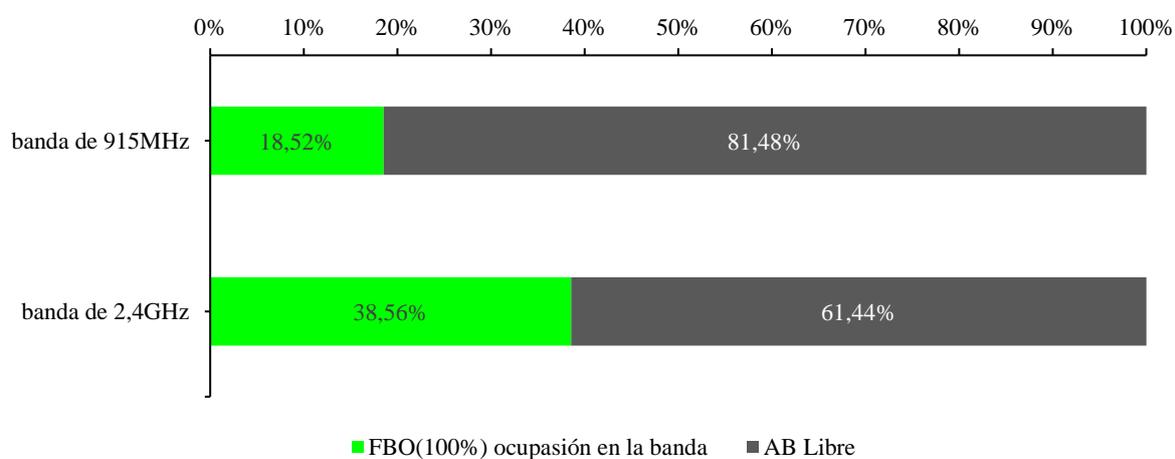
**Tabla 25.** Ocupación total en el área de estudio – banda de análisis 2.4 GHz

	<b>Muestras que superan el umbral en cada punto</b>	<b>Total de muestras en cada punto</b>
punto 1	2371	5200
punto 2	1003	5200
punto 3	2649	5200
punto 4	1328	5200
punto 5	2203	5200
punto 6	2223	5200

punto 7	2368	5200
punto 8	2626	5200
punto 9	1249	5200
punto 10	2686	5200
punto 11	1422	5200
punto 12	2713	5200
punto 13	2625	5200
punto 14	3276	5200
punto 15	1163	5200
Punto 16	2215	5200
punto 17	3486	5200
punto 18	1353	5200
punto 19	1647	5200
punto 20	1816	5200
punto 21	1635	5200
punto 22	1792	5200
punto 23	2026	5200
punto 24	248	5200
<b>Total de muestras</b>	<b>48123</b>	<b>124800</b>
<b>Ocupación en el área de estudio</b>	<b>0,38560096</b>	
FBO (100%)		<b>38,56 %</b>

Nota: Elaboración propia.

**Figura 120.** Disponibilidad del espectro en el casco urbano central



Nota: Elaboración propia.

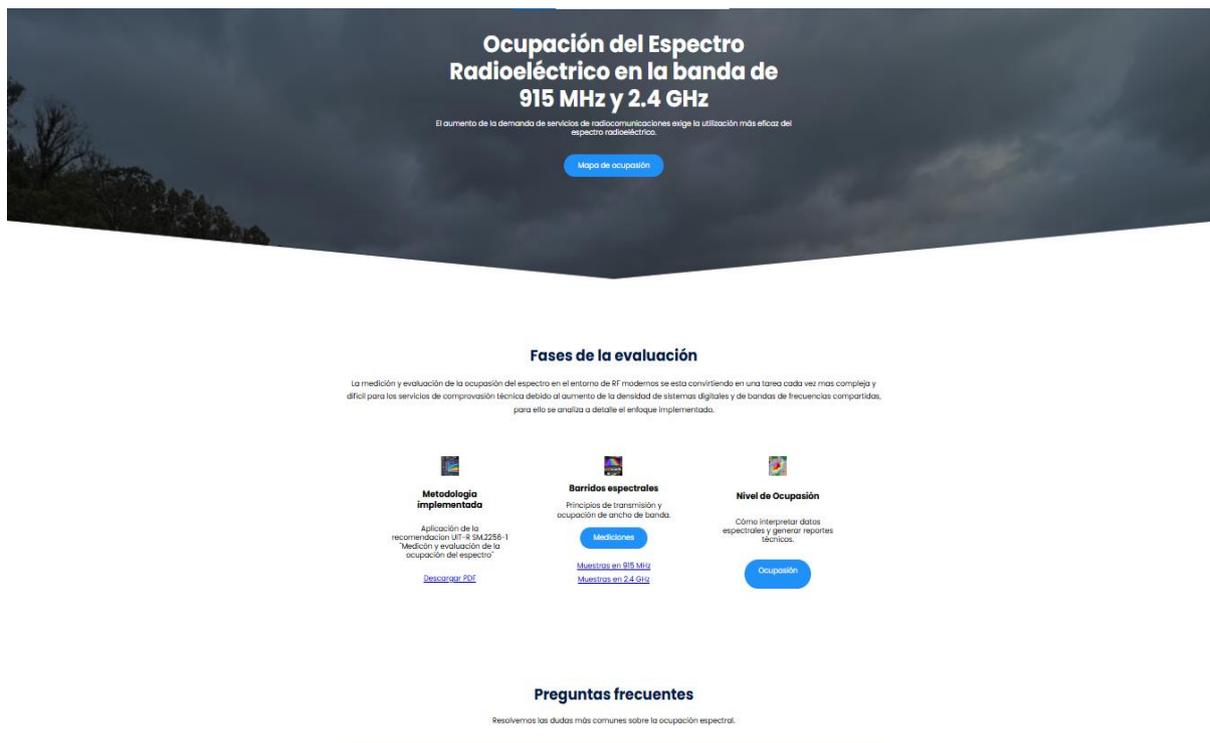
## 6.4. Desarrollo de la página WEB

Con el objetivo de presentar los datos de manera interactiva, se ha desarrollado una interfaz web utilizando HTML, CSS y JavaScript, incorporando bibliotecas especializadas para la visualización geoespacial. Esta interfaz brinda al usuario la capacidad de observar la ocupación de los canales o a su vez de la banda completa, en las diferentes zonas de medición que componen el área de estudio.

El sitio web consta de 5 páginas públicas que sirven a manera de boletín informativo sobre lo trabajado en el proyecto de tesis, en el siguiente link puede acceder y visualizar las diferentes páginas: <https://telecomunicaciones.edu.ec/espectrorad/index.html>, cada página aborda diferentes contenidos descritos a continuación.

**Inicio:** sirve de página introductoria del proyecto, destacando las fases llevadas a cabo para cumplir con el desarrollo, además de preguntas que tratan de resolver las dudas de los usuarios, en la figura 119 se puede ver la página principal de la web creada.

**Figura 121.** Página principal de la WEB

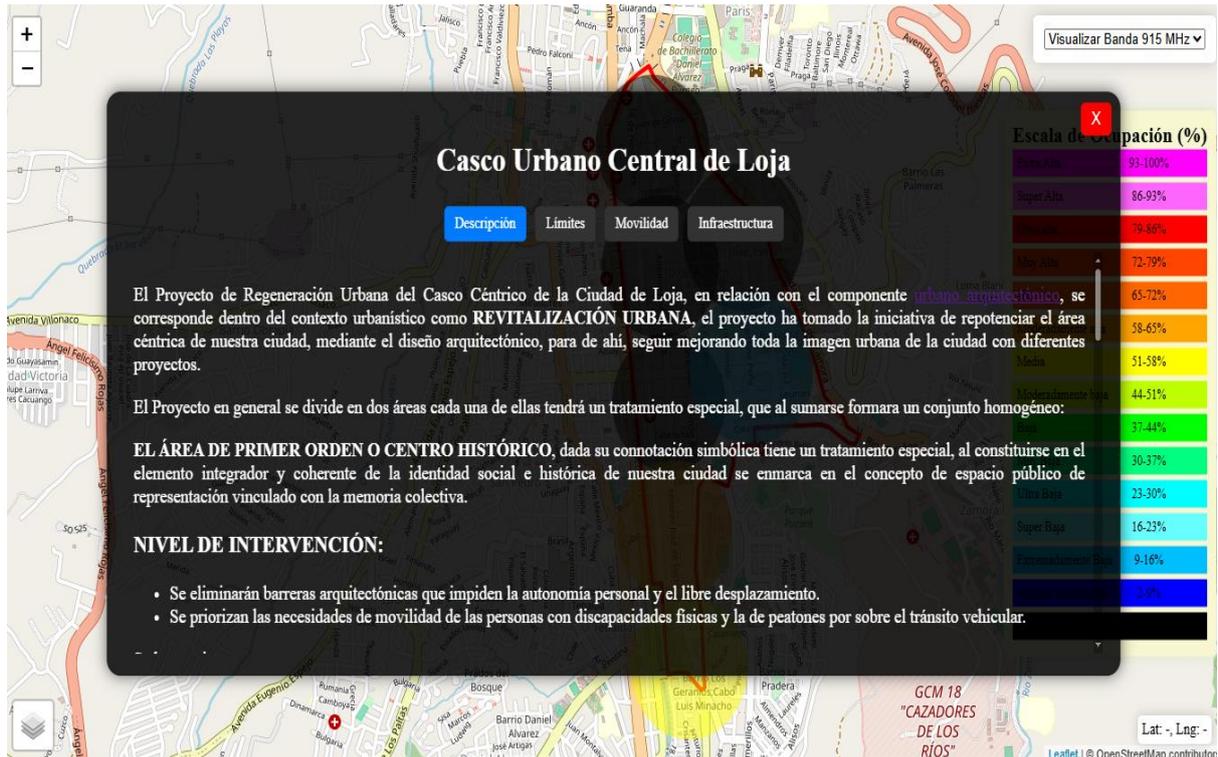


Nota: Elaboración propia.

**Mapa de Ocupación:** el acceso a la interfaz permite una representación clara y estructurada de la información recopilada del casco urbano central de la ciudad de Loja como se lo puede ver en la figura 120, agregando opciones interactivas, en donde se ha implementado

un mapa informativo dinámico, integrado con OpenStreepMap (OSM), distribuyendo en el proyecto de regeneración urbana círculos con una variación de colores que representan el nivel de ocupación espectral en las diferentes zonas de medición, círculos que también detallan la distribución de la ocupación por canal. Además, se ha incorporado múltiples capas de mapas, lo que permite a los usuarios mejorar su experiencia de visualización según sus necesidades analíticas.

**Figura 122.** Información destacable del proyecto de regeneración urbana

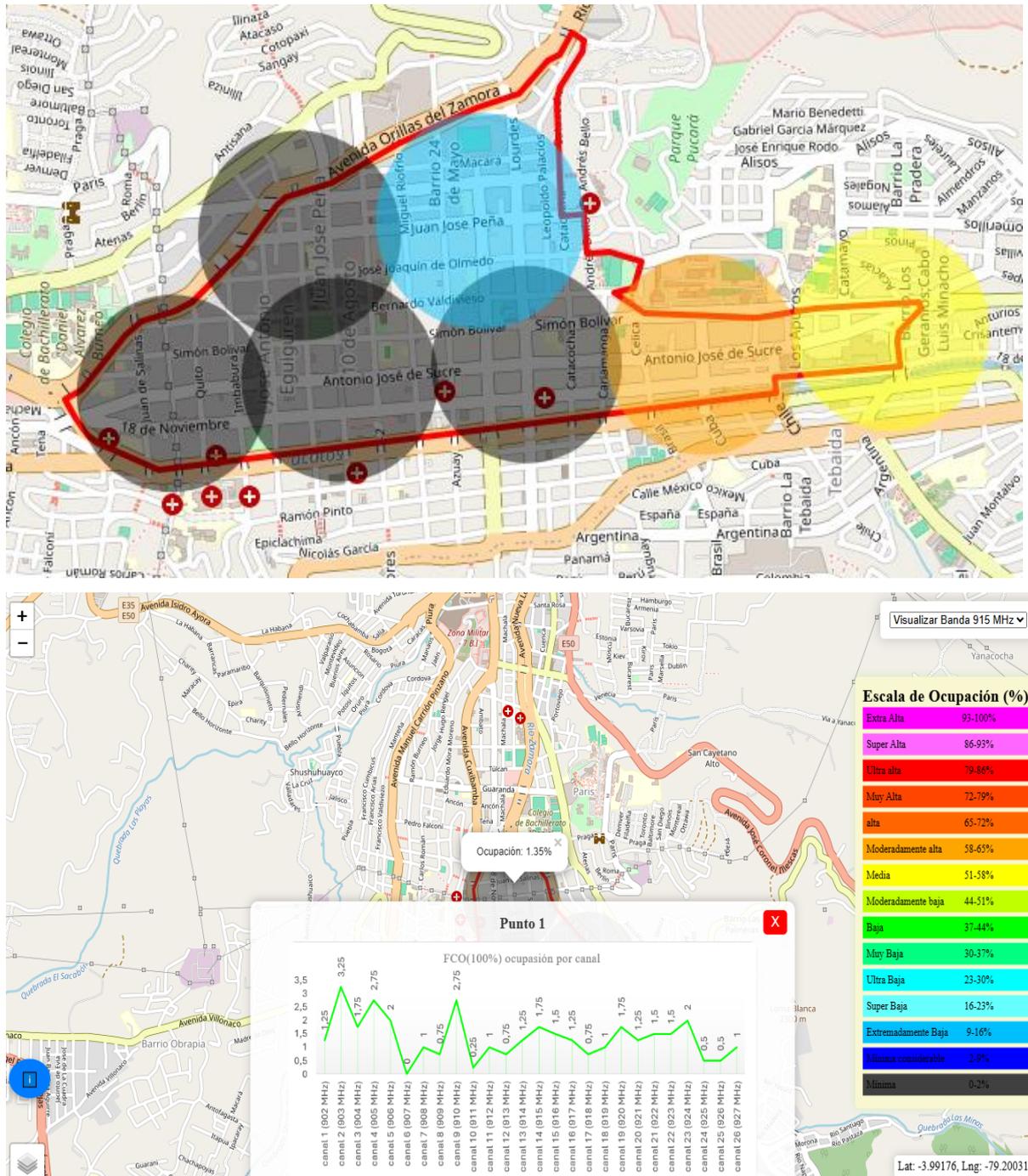


Nota: Elaboración propia.

En las figuras 121 y 122 se presenta la interfaz con el mapa de calor desarrollado, evidencian la distribución espacial de la ocupación espectral en la banda 915MHz y 2.4GHz, esta aplicación no solo mejora la interpretación de los datos, sino que también optimiza la toma de decisiones en el análisis del uso del espectro radioeléctrico.

## Para 915MHz

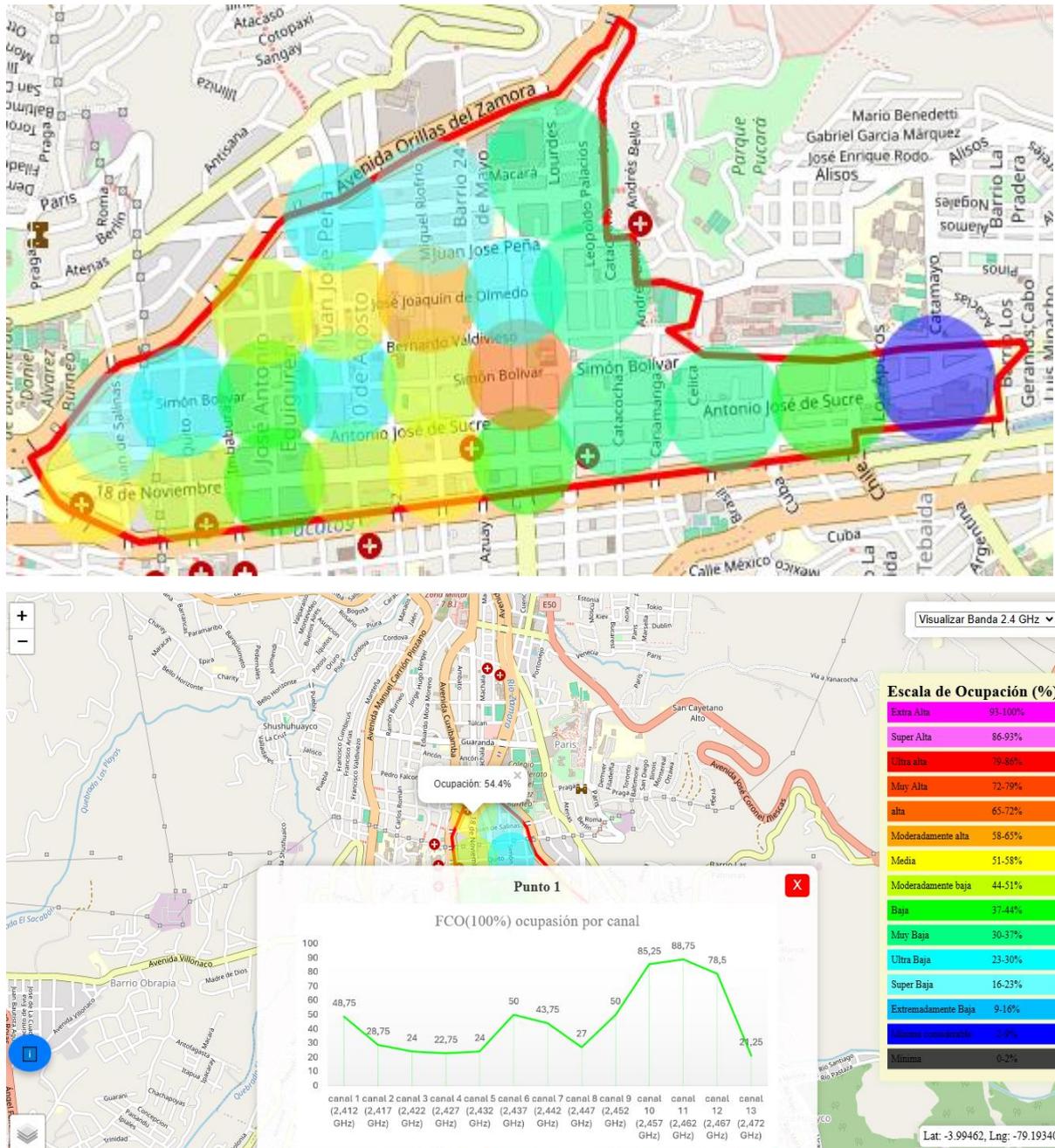
Figura 123. Distribución espacial de la ocupación del espectro -banda 915MHz



Nota: Elaboración propia

## Para 2.4GHz

Figura 124. Distribución espacial de la ocupación del espectro -banda 2.4GHz



Nota: Elaboración propia

Cabe destacar que los colores se los ha distribuido en función del nivel de ocupación como se lo puede ver en la figura 123 quedando de la siguiente manera:

**Figura 125.** Distribución de la pigmentación en el mapa

<b>Escala de Ocupación (%)</b>	
Extra Alta	93-100%
Super Alta	86-93%
Ultra alta	79-86%
Muy Alta	72-79%
alta	65-72%
Moderadamente alta	58-65%
Media	51-58%
Moderadamente baja	44-51%
Baja	37-44%
Muy Baja	30-37%
Ultra Baja	23-30%
Super Baja	16-23%
Extremadamente Baja	9-16%
Mínima considerable	2-9%
Mínima	0-2%

Nota: Elaboración propia

**Metodología implementada:** se detalla los pasos que se siguieron para determinar las zonas de medición, así como la cantidad mínima de muestras, los umbrales y demás datos relevantes para hacer los barridos espectrales, de los cuales vamos a obtener los niveles de potencia que van a permitir calcular los porcentajes de ocupación; todo este análisis en base a la recomendación de la UIT-R SM.2256-1.

**Figura 126.** Procedimiento aplicado

← Volver

### Procedimiento

#### Selección de dispositivos

##### Analizador de espectro

Su función básica es representar las señales en una pantalla gráfica como amplitud (o como nivel de potencia) en el eje y frente a la frecuencia en el eje x, las amplitudes de las señales detectadas se representan en el dominio de la frecuencia (rohde&schwarz, s.f). en la tabla se detallan los parámetros a considerar para la selección de este equipo.

**Características del analizador de espectro**

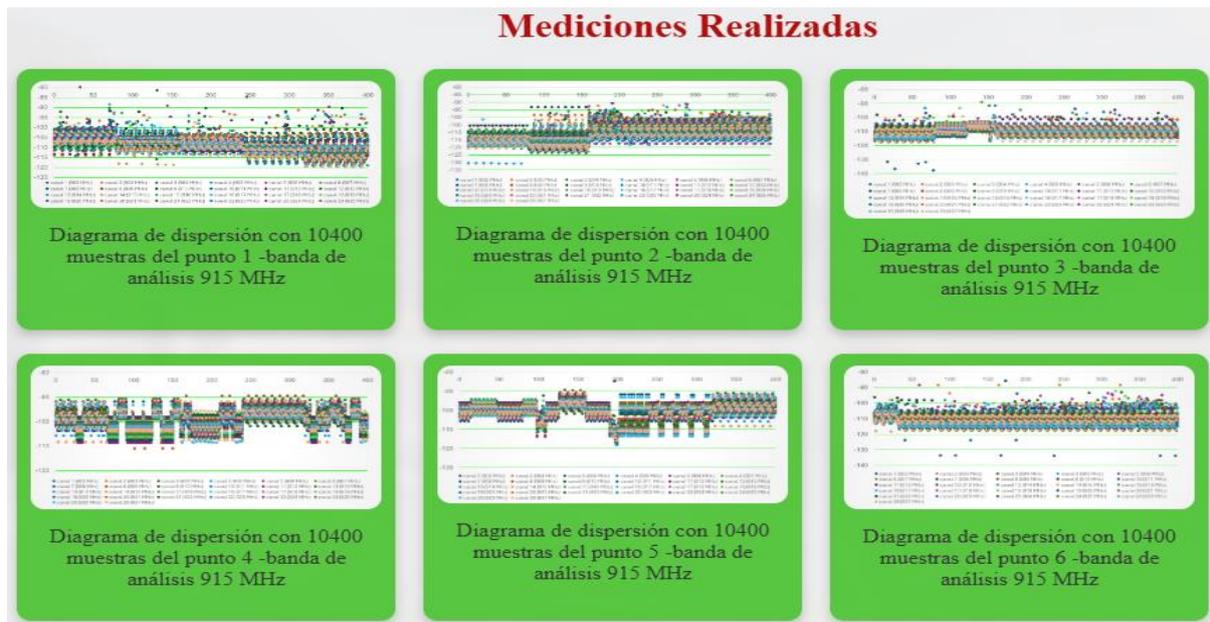
Parámetros	ANRITSU MT8212B
Rango de Frecuencias	100 KHz - 3.0 GHz
Sensibilidad	-135 dBm con pre-amp, -115 dBm sin pre-amp



Nota: Elaboración propia

**Barridos espectrales:** se presentan en diagramas de dispersión todas las muestras obtenidas para cada una de las zonas de medición, esto se lo puede visualizar en la figura 125.

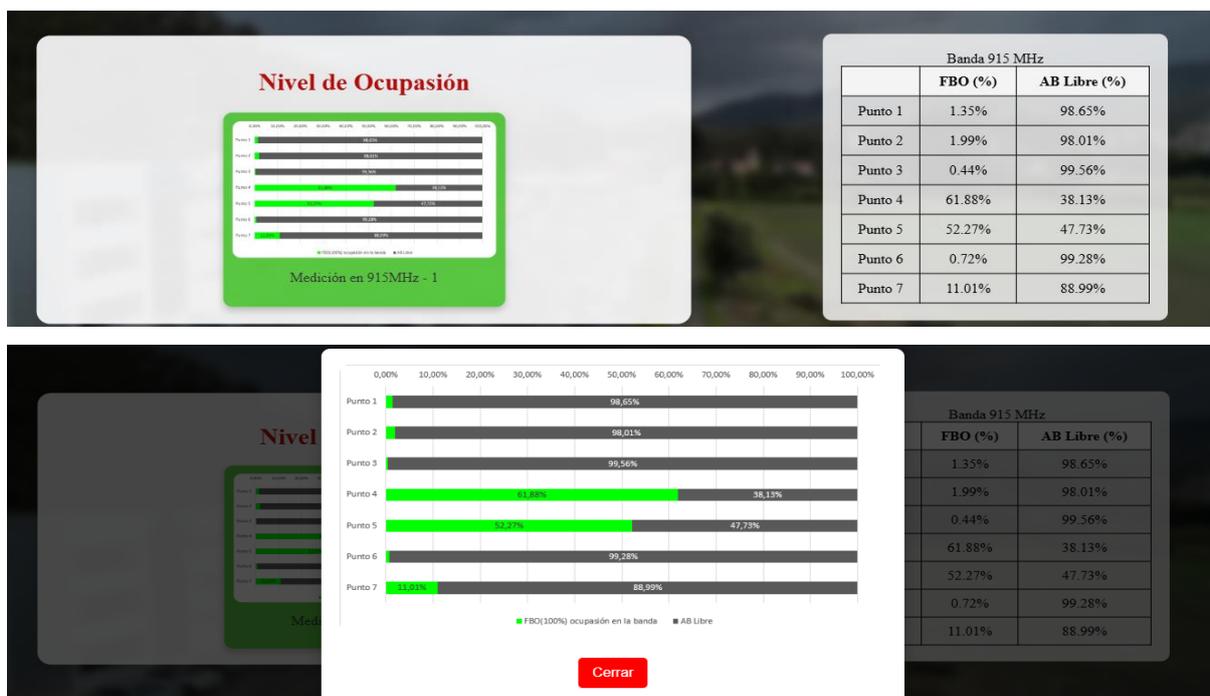
**Figura 127.** Visualización de los diagramas de dispersión en la página web



Nota: Elaboración propia

**Nivel de ocupación:** resume los porcentajes de utilización del espectro radioeléctrico en los diferentes puntos de medición, los diagramas de barras ayudan a comprender que porcentaje del ancho de banda está siendo ocupado y que porcentaje del ancho de banda esta libre, esta representación se la puede ver en la figura 126.

**Figura 128.** Nivel de ocupación en cada zona de medición



Nota: Elaboración propia.

## 7. Discusión

En el presente trabajo se llevó a cabo una serie de barridos espectrales, con el objetivo de caracterizar cuantitativa y cualitativamente el estado actual del espectro radioeléctrico en el casco urbano central de la ciudad de Loja, este análisis busca proporcionar datos confiables sobre la ocupación de las bandas ISM (915MHz y 2.4GHz), contribuyendo a la gestión eficiente, equitativa y libre del espectro radioeléctrico, un aspecto clave en la transformación de Loja como ciudad inteligente.

En el proyecto se consideró la necesidad de conocer la utilización del espectro en la ciudad, cuyos resultados se detallan en la sección 6.1, mediante la consulta a diversas fuentes (sitios web, artículos y métodos de observación), se logra una caracterización detallada del uso del espectro en la ciudad. El análisis reveló la existencia de múltiples sistemas radiantes; destacándose en la banda 915MHz las tecnologías LPWAN como Sigfox y LoRaWAN, presentando una subocupación en la banda, debido a la naturaleza de su arquitectura de baja potencia y largo alcance, otros sistemas de corto alcance como Wi-Fi en la banda 2.4GHz, es el de mayor proliferación en la ciudad, a través del uso de la herramienta Wifi Analyzer se identificó una elevada densidad de SSID con niveles de potencia superiores a -77dBm.

En cuanto al proceso de evaluar el espectro, presento desafíos técnicos que requieren soluciones adaptativas, en primera instancia se verificó el desempeño de los equipos y se establecieron las comunicaciones remotas, no obstante, la sincronización de la computadora con la estación de monitoreo, presento fallas al no contar con el cable tripp lite, específico para el uso en estos equipos, por lo que se diseñó un cable provisional adaptando los pines de RX y TX, extrayendo de esa manera los datos, adicionalmente, se identificó incompatibilidad entre el cable RPM 517 6906 /01 y el conector SMA de la antena HyperLOG-7060, lo que requirió el uso de un acoplador TNC a SMA sin comprometer el rendimiento del sistema de medición.

Para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos, se adaptó la metodología establecida por la (UIT-R, 2016) en la recomendación SM.2256-1, la cual define parámetros clave a considerar en una medición. Sin embargo, dicha recomendación no establece un número exacto de muestras a recolectar, por lo que se tomaron como referencia estudios previos. Entre ellos, destaca la investigación de (Viteri y otros, 2015) la cual es similar en objetivo, así como en el desarrollo, este estudio proporciona un método para determinar la cantidad mínima de muestras para validar los datos recolectados en las mediciones, aplicado con una metodología diferente el modelo estocástico de Márkov, en el rango de frecuencias de (335 – 400MHz).

En contraste, investigaciones como las llevadas a cabo por (Ponce, 2019) buscan optimizar el espectro con la implementación de radio cognitiva, reutilizando frecuencias no utilizadas dentro de la banda UHF (450 – 512MHz) en Riobamba, basándose en la distribución de portadoras existentes con una separación de 12.5KHz, la autora identifico un total de 4960 portadoras, de las cuales selecciono una muestra de 621 portadoras, las cuales fueron analizados durante 12 días en dos puntos diferentes de la ciudad. En comparación con la presente investigación, se observa una metodología diferente para determinar la cantidad de muestras y, las bandas de estudio.

En la captura de energía dispersa en el medio, las mediciones obtenidas con el analizador de espectro, indican patrones más arraigados en la banda 2.4GHz presentando niveles más elevados de densidad espectral en los canales 1, 6, 11, por otro lado, en la banda 915MHz se detectaron picos de potencia en zonas asociados a la proximidad de Gateways LoRaWAN y estaciones de acceso SigFox.

Tras la recopilación de 400 muestras por canal, con un total de 5200 muestras para 2.4GHz y 10400 muestras en 915 MHz en cada zona de medición, se extrajeron los niveles de potencia en las frecuencias centrales de cada canal, las muestras extraídas permiten determinar el nivel de ocupación, considerando para ello un umbral preestablecido definido en -76.99dBm en la banda de los 2.4GHz y en -100dBm en la banda de 915MHz, los valores inferiores a este umbral se clasifican como “0” (desocupado) y los valores superiores como “1” (ocupado), en base a esta condición se determinan la cantidad de valores que están por encima del umbral.

Los resultados porcentuales indican que en la banda de 915Mhz, las zonas de medición 1, 2, 3, 6 y 7 presentan niveles de ocupación por debajo del 40%, mientras que las zonas 4 y 5 va desde el 40 hasta un 61% de ocupación. En la banda 2.4GHz el panorama cambia, la ocupación varia significativamente según la ubicación, en las zonas comerciales y de afluencia peatonal como la zona 1, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 16 y 17 el uso intensivo va desde el 40% hasta casi el 70%, mientras que las áreas residenciales como 2, 4, 9, 11, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23 y 24 el porcentaje de utilización desciende por debajo del 40%.

Los datos de ocupación resaltan la necesidad de optimizar la gestión espectral en Loja, en el contexto de transición hacia una ciudad inteligente, la subocupación en la banda 915MHz sugiere oportunidades para expandir redes LPWAN sin riesgos de interferencia significativa, mientras que la congestión de los canales 1, 6 y 11 de la banda 2.4GHz evidencia la urgencia de estrategias de mitigación de interferencias y optimización del acceso espectral.

## 8. Conclusiones

El análisis del uso del espectro radioeléctrico en la ciudad de Loja evidencia una infraestructura en constante expansión, caracterizada por la implementación de diversas soluciones inalámbricas que optimizan la conectividad y la gestión urbana, a pesar de la falta de información oficial del Municipio, fuentes secundarias corroboran la adopción de tecnologías como LoRaWAN en la Telegestión de luminarias, la estación de acceso Sigfox que facilita la transmisión eficiente de datos en aplicaciones IoT, así como la alta densidad de redes Wi-Fi, tanto públicas como privadas, reflejan un ecosistema digital activo y una creciente demanda espectral.

Es importante conocer el estado del espectro radioeléctrico, por lo que se realizaron una serie de barridos espectrales en varias zonas de medición dentro de la regeneración urbana. En el análisis, se tomaron en cuenta factores clave como la actividad comercial, el tránsito peatonal, el uso del espacio (comercial o residencial) y la cobertura de los instrumentos de medición. Como resultado, se definieron un total de 7 zonas en la banda de 915MHz y 24 en la banda de 2.4GHz. Cada zona debe contar con un aproximado de 400 muestras por canal, garantizando un margen de error entre 0 – 5%, lo que asegura una precisión óptima dentro de un intervalo de confianza estadísticamente fiable.

La evaluación espectral efectuada en el casco central de la ciudad de Loja revela que, a pesar del uso progresivo de tecnologías inalámbricas en esta área, aún existe una baja utilización, con un alto porcentaje de desocupación frecuencial. En particular, se registra un 81.48 % de disponibilidad en la banda de 915 MHz y un 61.44 % en 2.4 GHz. Esta condición abre la posibilidad de implementar alternativas tecnológicas de acceso inalámbrico, como las Redes LPWAN, con prestaciones técnicas robustas y libres de interferencias.

Para que la información esté disponible se desarrolló una página web interactiva que incluye un mapa de información para visualizar la distribución espacial de los niveles de ocupación espectral en cada canal y en banda completa, en las diferentes zonas de medición. En donde una mayor intensidad cromática indica niveles más elevados de energía detectada, lo que permite identificar de manera clara y eficiente la disponibilidad espectral, además la plataforma cumple la función de documentar los pasos seguidos durante el estudio, los cuales están alineados con la recomendación UIT-R SM.2256-1 establecida por la Unión internacional de telecomunicaciones (UIT).

## 9. Recomendaciones

Es fundamental optar por equipos de medición más modernos y actualizados que permitan la descarga de datos en formatos compatibles con herramienta de análisis avanzado, facilitando el proceso y la interpretación de la información, especialmente cuando se trabaje con un elevado número de canales y un volumen significativo de muestras.

La metodología empleada en este estudio tiene un alto potencial de replicabilidad en otras áreas urbanas o rulas de la ciudad, lo que permite identificar patrones de uso del espectro, la desigualdad en la cobertura y calidad del servicio. Además, el estudio puede servir como base para evaluar la viabilidad de proyectos destinados a la expansión de infraestructura para tecnologías inalámbricas emergentes, favoreciendo una planificación estratégica de políticas que reduzcan la brecha digital y promuevan el acceso equitativo a la Red.

La disponibilidad espectral en las dos bandas utilizadas, promueven el despliegue de tecnologías con acceso inalámbrico, especialmente en aplicaciones con Redes LPWAN e IoT, esto nuevos servicios se podrían distribuir en canales con menor uso y sin solapamiento, optimizando el espectro disponible y garantizando una asignación eficiente, legal y libre de interferencias en el espectro radioeléctrico.

Es necesario reestructurar la gestión de los canales Wi-Fi en la ciudad, ya que, actualmente los ISPs suelen configurar sus equipos en canales predeterminados sin realizar un análisis previo del estado de ocupación, de esta manera promover una asignación dinámica de canales, basado en valores numéricos de porcentajes.

La aplicación web desarrollada en este proyecto tiene un gran potencial de convertirse en una herramienta clave para la visualización y análisis de datos espectrales, para mejorar su funcionalidad, se sugiere implementar información descriptiva, y herramientas interactivas que permitan a los usuarios mejorar su experiencia dentro de la página WEB.

Realizar levantamientos periódicos del uso del espectro en las bandas 915 MHz y 2.4 GHz, con el fin de actualizar y enriquecer continuamente la base de datos generada en este estudio, manteniendo un monitoreo constante y actualizado del comportamiento del espectro, lo cual es esencial para la planificación, gestión eficiente y desarrollo de redes de nueva generación en el marco de la transformación de Loja en una ciudad inteligente.

## 10. Bibliografía

- Muñoz, E., Eslava, H., & Franco, J. (2015). *Gestión del espectro radioeléctrico en Colombia*. Colombia. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2015000300013](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2015000300013)
- Aaronia. (2023). HYPERLOG 70SERIES. AARONIA AG.
- AARONIA. (s.f.). SPECTRAN V4 USER MANUAL. Germany. [https://downloads.aaronia.com/manuals/SPECTRAN-HF\\_V4\\_EN.pdf](https://downloads.aaronia.com/manuals/SPECTRAN-HF_V4_EN.pdf)
- ANE. (2024). *Informes de uso del espectro*. Agencia Nacional de Espectro: <https://www.ane.gov.co/SitePages/vigilancia-control-espectro/index.aspx?p=220#:~:text=El%20uso%20u%20ocupaci%C3%B3n%20del,durante%20un%20periodo%20de%20tiempo>.
- Anritsu. (23 de Octubre de 2015). *Herramientas de software portátiles*. Anritsu: <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/products/hhst>
- ARCOTEL. (2021). *Plan Nacional de Frecuencias*. Ecuador. Plan Nacional de Frecuencias .
- ARCOTEL-A. (22 de Diciembre de 2019). *Espectro Radioeléctrico*. Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones: <https://www.arcotel.gob.ec/espectro-radioelectrico-2/>
- Attar, A., & Aghvami, H. (2007). *A Framework for Unified Spectrum Management (USM) in Heterogeneous Wireless Networks*. London.
- Augustin, A., Yi , J., Clausen, T., & Townsley, W. (2016). *A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things*. Saclay: École polytechnique Route de Saclay.
- Becolve. (21 de Julio de 2020). *LPWAN: qué son y para qué se utilizan*. Becolve Digital: <https://becolve.com/blog/lpwan-que-son-y-para-que-se-utilizan/>
- Bies, L. (s.f.). *Cableado de módem nulo en serie RS232*. <https://www.lammertbies.nl/comm/info/rs-232-null-modem>
- Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C., & Facchina, M. (2016). *Caminho para as Smart Cities: Da Gestão Tradicional para a Cidade Inteligente*. Washington, DC: Banco Interamericano de Desenvolvimento.
- Cave, M. (2008). *New spectrum-using technologies and the future of spectrum management: a European policy perspective*. European.

- Cave, M., Doyle, C., & Webb, W. (2007). *Essential of modern spectrum management*. New York.
- Celis, J., Alvarez, M., Delgado, J., Larrota, T., & Mendoza, J. (2021). *CASO DE ESTUDIO DE LAS CIUDADES INTELIGENTES SINGAPUR (SINGAPUR) – BOGOTÁ (COLOMBIA) 2020*. Bogotá: Universidad EAN.
- CITEL. (2008). El espectro Radioeléctrico: [https://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro\\_e.asp](https://www.oas.org/en/citel/infocitel/2008/octubre/espectro_e.asp)
- Conde, L., Quezada, P., & Labanda, M. (2017). *Interconexión mediante tecnología GPON en una ciudad Inteligente: Caso de estudio Ciudad de Loja (Ecuador)*. Revista Espacios. Crónica. (2024). *Tras 6 años de la obra: baldosas de Regeneración Urbana continúan en el foco del debate*. Loja: DIARIO CRÓNICA.
- Díaz-A, Y. (2020). *Convertir a Loja en una ciudad inteligente y sostenible es el reto del bicentenario*. Loja.
- Díaz-B, Y. (19 de Noviembre de 2020). *Municipio de Loja. CONVERTIR A LOJA EN CIUDAD INTELIGENTE Y SOSTENIBLE ES EL RETO DEL BICENTENARIO*: <https://www.loja.gob.ec/noticia/2020-11/convertir-loja-en-ciudad-inteligente-y-sostenible-es-el-reto-del-bicentenario>
- EcuadorExplorer. (27 de Marzo de 2024). *Ecuador explorer*. Lo que el viajero debe conocer sobre la ciudad de Loja en la Sierra sur del Ecuador: <https://ecuadorexplorer.com/es/html/la-ciudad-de-loja.html>
- ENACOM. (26 de Enero de 2010). Retrieved 06 de Noviembre de 2024, from ESPECTRO RADIOELÉCTRICO: [https://www.enacom.gob.ar/-que-es-el-espectro-radioelectrico-\\_p117](https://www.enacom.gob.ar/-que-es-el-espectro-radioelectrico-_p117)
- Fernández, D. (2017). Factores de desarrollo de las ciudades inteligentes. *Scielo*.
- Fonseca, M. (11 de Abril de 2024). *Linkedin*. Tecnologías Emergentes en Ciudades Inteligentes: <https://es.linkedin.com/pulse/tecnolog%C3%ADas-emergentes-en-ciudades-inteligentes-monica-fonseca-qe8re>
- Fractalia. (29 de Junio de 2016). *Del Internet de las Cosas al Internet de los Servicios*: <https://fractaliasystems.com/del-internet-de-las-cosas-internet-de-los->



- Llanos, A. (2013). Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador Nueva modalidad para radiodifusión y televisión abierta. Quito: CORPORACIÓN EDITORA NACIONAL.
- López, A. (s.f.). *Requisitos para Instalar Windows XP*.  
<https://es.scribd.com/document/487060741/REQUISITOS-PARA-INSTALAR-WINDOWS-XP>
- MinTIC. (2008). *Fundamentos de gestión nacional del espectro radioeléctrico*. Colombia.  
[https://www.ane.gov.co/Documentos%20compartidos/ArchivosDescargables/Planeacion/poli-lineamientos-manuales/Manuales/ManualGestionEspectro/Titulo\\_I.pdf](https://www.ane.gov.co/Documentos%20compartidos/ArchivosDescargables/Planeacion/poli-lineamientos-manuales/Manuales/ManualGestionEspectro/Titulo_I.pdf)
- Monachesi, E., Gómez, F., Carrasco, A., Frenzel, A., & Chaile, G. (2013). *Estudio de viabilidad de un enlace WiFi*. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional . Retrieved 01 de Enero de 2024, from [https://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan\\_frt/viabilidad\\_enlace\\_WiFi.pdf](https://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/viabilidad_enlace_WiFi.pdf)
- Montes, A., & Camacho, L. (2019). *Telemetría a través de redes de área extensa de baja potencia (LPWA) y en coexistencia con el internet de las cosas (IoT)*.  
[https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/16025/Telemetria\\_a\\_traves\\_de\\_redes\\_de\\_area\\_extensa\\_de\\_baja\\_potencia\\_%28LPWA%29\\_y\\_en\\_coexistencia\\_con\\_el\\_internet\\_de\\_las\\_cosas\\_%28IoT%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/16025/Telemetria_a_traves_de_redes_de_area_extensa_de_baja_potencia_%28LPWA%29_y_en_coexistencia_con_el_internet_de_las_cosas_%28IoT%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Peña, A. (2024). Fortalecimiento Cibernético: Análisis Integral de la Seguridad en Redes Wi-Fi Públicas en Loja y Estrategias Innovadoras de Mejora. Universidad Nacional de Loja.
- Pérez, N., Herrera, J., Uzcátegui, J., & Bernardo, J. (2012). *Modelo de propagación en las ciudades de mérida (Venezuela) y Cúcuta (Colombia) para redes wlan, operando en 2.4 ghz, en ambientes exteriores*. Retrieved 01 de Enero de 2025, from <https://ve.scielo.org/pdf/uct/v16n62/art07.pdf>
- Picoita, P. (2022). Loja hacia una ciudad inteligente y sostenible:  
<https://www.loja.gob.ec/noticia/2022-10/loja-hacia-una-ciudad-inteligente-y-sostenible#:~:text=Loja%20hacia%20una%20ciudad%20inteligente%20y%20sostenible%2C%20bajo%20este%20eslogan,%2C%20pr%3%B3spera%2C%20inclusiva%20y%20sostenible.>
- Ponce, J. (2019). *EVALUACIÓN DE OCUPACIÓN DE LA BANDA UHF (450 – 512 MHZ) EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA, PARA SU OPTIMIZACIÓN POR MEDIO DE*

*RADIO COGNITIVA*. ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO.  
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO.

- Porras, W., & Salah, O. (2019). *Implementación de una Red LPWAN de Sensores para el Monitoreo de Condiciones Ambientales*. Santander: Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas.
- Primicias. (30 de Octubre de 2022). Por qué Loja será la primera 'smart city' del país: <https://www.primicias.ec/noticias/tecnologia/loja-primera-smart-city-ecuador/>
- rohde&schwarz. (s.f.). *Analizadores de señal y espectro*. [https://www.rohde-schwarz.com/lat/productos/prueba-y-medicion/analizadores-de-senal-y-espectro\\_63665.html](https://www.rohde-schwarz.com/lat/productos/prueba-y-medicion/analizadores-de-senal-y-espectro_63665.html)
- Rojas, P. (2023). Estudio comparativo de seguridad y cobertura entre las tecnologías de IoT: LoRaWAN y SIGFOX. Universidad Nacional de Loja.
- Ros, I. (04 de Marzo de 2020). *Noticias Windows XP fue muy popular, ¿pero qué significan las siglas XP?* <https://www.muycomputer.com/2020/03/04/windows-xp-siglas-xp/>
- Samaniego, P. (18 de Enero de 2019). *eSMARTCITY.es*. Inicio » Comunicaciones » Sistema de Telegestión para luminarias públicas Led en el casco urbano central de la ciudad de Loja (Ecuador): <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-sistema-telegestion-luminarias-publicas-led-casco-urbano-central-ciudad-loja-ecuador>
- Sampaolo, P. (2020). *Redes LPWAN: Una guía completa de inicio a fin*. México: RedGPS. <https://www.redgps.com/hubfs/Ebook%20-%20Redes%20LPWAN.pdf>
- Sigfox. (2017). *Sigfox Technical Overview*. <https://www.ismac-nc.net/wp/wp-content/uploads/2017/08/sigfoxtechnicaloverviewjuly2017-170802084218.pdf>
- Sigfox-B. (14 de Abril de 2021). *cobertura - SIGFOX*. COBERTURA DE RED 0G: <https://sigfox.com/coverage/>
- Sigfox-C. (2024). *¿Qué es Sigfox?* Asunción. <https://sigfox.com.py/que-es-sigfox/>
- Tripp-Lite. (2015). USB to Serial Adapter. [https://www.aaatesters.com/pub/media/datasheets/triplite\\_u209-000-r\\_specifications\\_spec\\_sheet.pdf](https://www.aaatesters.com/pub/media/datasheets/triplite_u209-000-r_specifications_spec_sheet.pdf)
- UIT-R. (2016). *Medición y evaluación de la ocupación del espectro*. Unión Internacinal de Telecomunicaciones.

- UIT-RR. (2020). *Reglamento de Radiocomunicaciones*. Unión Internacionla de Telecomunicaciones.
- UIT-T. (2012). *Descripción general de Internet de los objetos*. Serie Y.
- UTPL. (31 de Marzo de 2023). La regeneración urbana, parte del desarrollo de las ciudades: <https://noticias.utpl.edu.ec/la-regeneracion-urbana-parte-del-desarrollo-de-las-ciudades>
- UTPL-B. (2018). *Información Turística*. Loja: [https://eventos.utpl.edu.ec/sites/default/files/print\\_pdf/informacionhotelera.pdf](https://eventos.utpl.edu.ec/sites/default/files/print_pdf/informacionhotelera.pdf).
- UTPL-C. (20 de Septiembre de 2024). *La UTPL es pionera en generar energía limpia con sus 728 paneles solares*. Noticias UTPL: <https://noticias.utpl.edu.ec/la-utpl-es-pionera-en-generar-energia-limpia-con-sus-728-paneles-solares>
- Villegas, P., Arancibia, M., Azuaje-Pirela, M., Scholz, F., Hauri, S., Cárdenas, B., . . . Bonvin, P. (2022). *Tecnologías Emergentes*. Universidad Autonoma de Chile.
- Viteri, I., Macías , M., & Medina, W. (2015). Medición, caracterización y modelamiento del rango de frecuencias asignado a servicios fijo - móvil (335 - 400 MHz) de la banda UHF del espectro electromagnético en la FIEC, Campus Prosperina. Guayaquil, Ecuador: ESPOL.
- worktechacademy. (s.f.). *worktech academy*. Internet de los cuerpos: [https://www.worktechacademy.com/internet-de-los-cuerpos/#\\_ftn1](https://www.worktechacademy.com/internet-de-los-cuerpos/#_ftn1)
- Zárate, J. (2017). *Sistemas de comunicación en la banda ISM*. Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya.

## 11. Anexos

### Anexo 1: Datasheet del equipo MT8212B

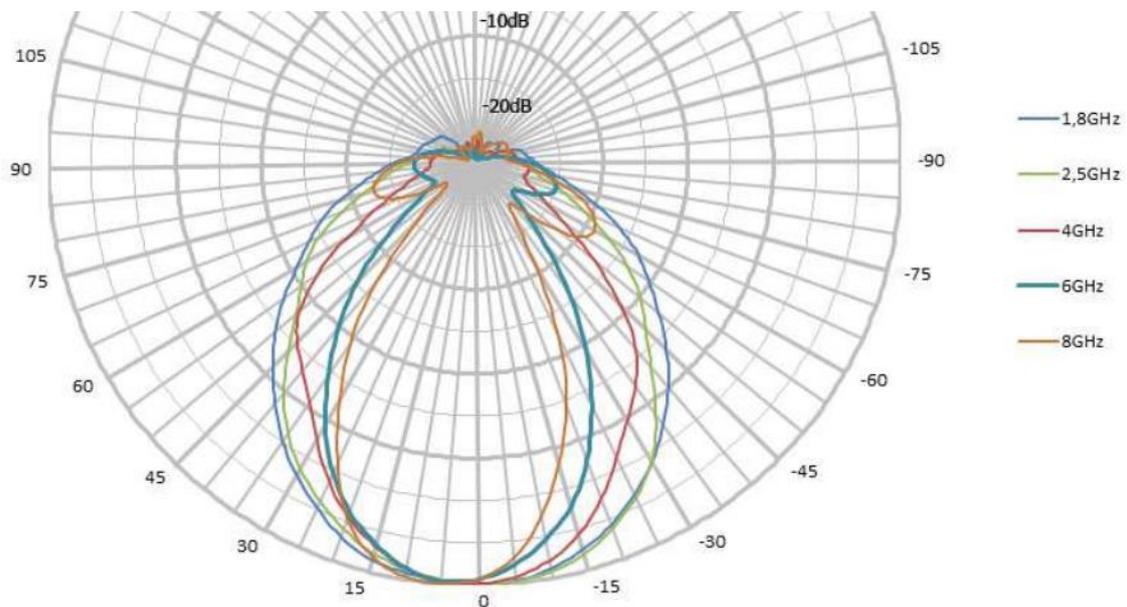
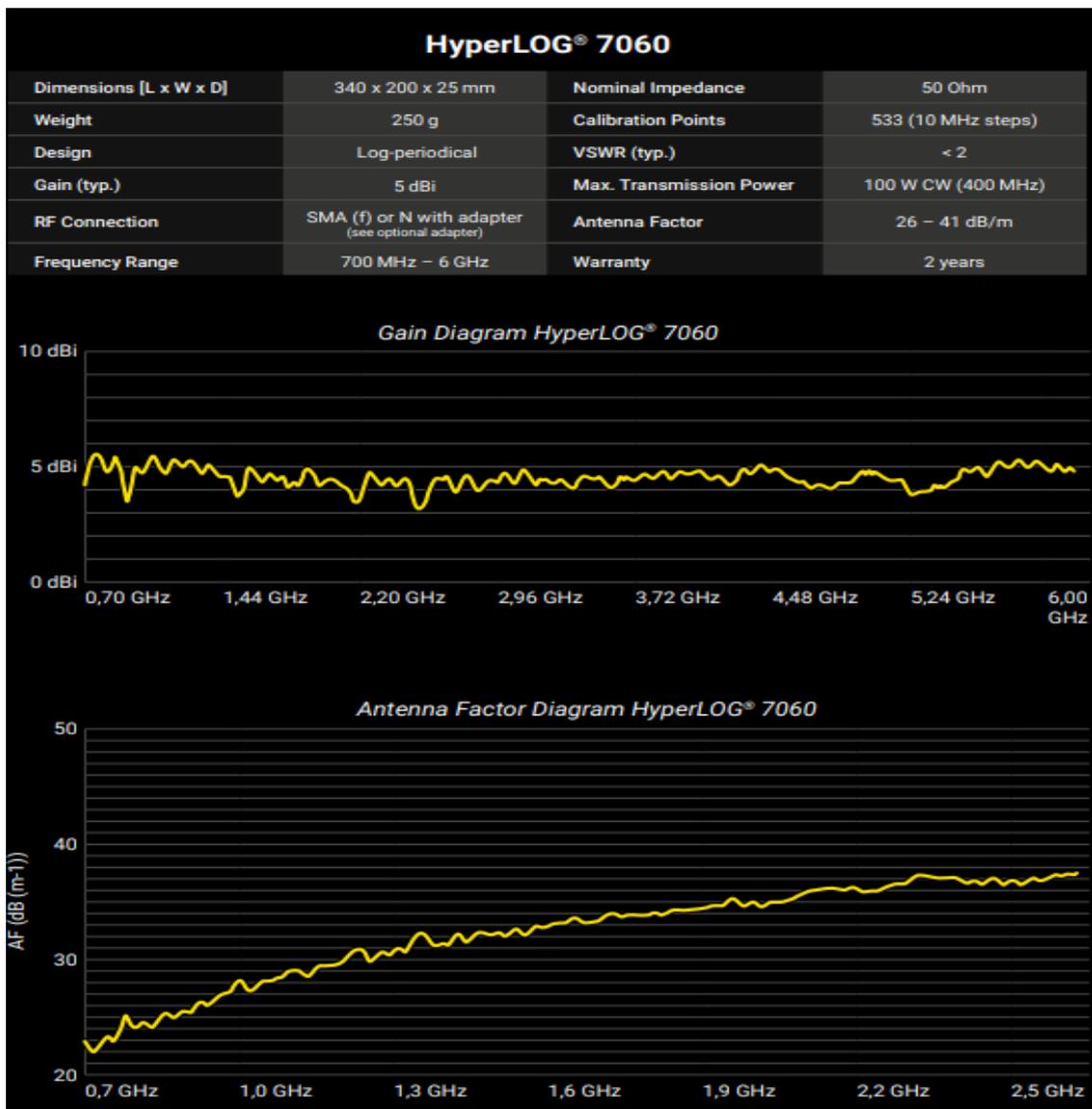
#### General

Language Support	English, Spanish, French, German, Chinese, Japanese	
Internal Trace Memory	Up to 200 traces	
Setup Configuration <sup>14</sup>	25	
Display	TFT Color display, viewable in sunlight	
Input and Output Ports	RF Out Maximum Input without Damage	Type N, female, 50 Ω +20 dBm, ± 50 VDC
	RF In Maximum Input without Damage	Type N, female, 50 Ω +43 dBm (Peak), ± 50 VDC
	Ext. Trig In	BNC, female (5V TTL)
	Ext. Freq Ref In (2 to 20 MHz)	Shared BNC, female, 50 Ω, (-15 dBm to +10 dBm)
	T1/E1 (Receive & Transmit)	Bantam Jacks
	Serial Interface	RS-232 9 pin D-sub, three wire serial
	GPS antenna connector	Reverse BNC female
	CDMA Timing Input	BNC female (5V TTL)
Electromagnetic Compatibility	Meets European Community requirements for CE marking	
Safety	Conforms to EN 61010-1 for Class 1 portable equipment	
Temperature	Operating	-10°C to 50°C, humidity 85% or less
	Non-operating	-51°C to +71°C (recommend battery be stored separately between 0°C to +40°C for any prolonged non-operating storage period)
Power Supply	External DC Input	+12 to +15 VDC, 1500 mA
	Internal	NiMH battery: 10.8 volts, 1800 mA maximum
Dimensions	Size	25.4 cm x 17.8 cm x 6.1 cm (10.0 in x 7.0 in x 2.4 in)
	Weight	<2.28 kg (<5 lbs) includes battery

#### Spectrum Analyzer

Frequency	Range	100 kHz to 3.0 GHz
	Reference (Internal Timebase)	Aging: ± 1 ppm/yr Accuracy: ± 2 ppm
	Span	10 Hz to 2.99 GHz in 1, 2, 5 step selections in auto mode, plus zero span
	Sweep Time	≤1.1 sec full span; ≤50 μsec to 20 sec zero span
	Resolution Bandwidth (-3 dB)	100 Hz to 1 MHz in 1-3 sequence ± 5% Accuracy
	Video Bandwidth (-3 dB)	3 Hz to 1 MHz in 1-3 sequence ± 5% Accuracy
	SSB Phase Noise (1 GHz) @ 30 kHz Offset	≤-75 dBc/Hz
	Spurious Responses Input Related	≤-45 dBc
	Spurious Residual Responses	≤-90dBm, ≥10 MHz (10 kHz RBW, pre-amp on)
Amplitude	Total Level Accuracy	±1 dB typical (±1.5 dB max), >10 MHz to 3 GHz ±2 dB typical <10 MHz for input signal levels ≥-60 dBm, excluding input VSWR mismatch
	Measurement Range	+20 dBm to -135 dBm
	Input Attenuator Range	0 to 51 dB, selected manually or automatically coupled to the reference level. Resolution in 1 dB steps.
	Displayed Average Noise Level	≤-135 dBm, >10 MHz (preamp on) ≤-115 dBm (preamp off) for input terminated, 0 dB attenuation, RMS detection, 100 Hz RBW
	Dynamic Range	>65 dB typical
	Display Range	1 to 15 dB/division, in 1 dB steps, 10 divisions displayed
	Scale Units	dBm, dBV, dBmV, dBμV, V, W
	RF Input VSWR	(with 20 dB atten.) 1.5:1 typical, (10 MHz to 2.4 GHz)

## Anexo 2: Datasheet de la antena HyperLOG-7060



### Anexo 3: Respuesta del Municipio al oficio UNL-FEIRNNR-CTELEC-2024-02



## MUNICIPIO DE LOJA DIRECCIÓN DE TECNOLOGÍA

Oficio Nro. ML-DT-2024-0023-OF  
Loja, 27 de agosto de 2024

**PARA:** Ing. Andy Fabricio Vega León  
**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN  
TELECOMUNICACIONES DE LA UNL**

**ASUNTO:** Ocupación del espectro radioeléctrico del Área de Regeneración Urbana

Estimado,

En atención al Oficio Nro. UNL-FEIRNNR-CTELEC-2024-02, en el cual se comunica que el estudiante Marco Vinicio Ordoñez Cabrera se encuentra desarrollando su proyecto de Integración Curricular titulado "**Estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) con visión a la transformación de Loja como ciudad Inteligente**", nos permitimos informar lo siguiente:

La Dirección de Tecnología del Municipio de Loja no dispone de información relacionada al espectro radioeléctrico dentro del casco urbano de la ciudad específicamente en el Área de Regeneración Urbana.

Este documento se expide con fines estrictamente académicos, con el propósito de apoyar la defensa de la tesis "**Estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) con visión a la transformación de Loja como ciudad Inteligente**", al tener que considerar fuentes secundarias de información.

Agradecemos su comprensión.

Atentamente,



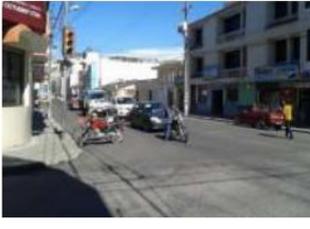
RICHARD FRANCISCO  
ARMIJOS MERINO

Ing. Richard Armijos Merino  
**DIRECTOR DE TECNOLOGÍA**  
RAM/LV



## Anexo 4: Descripción de las calles en el área de estudio

**CALLES TRANSVERSALES:** En relación con los puntos cardinales sentido oeste-este.

CALLES TRANSVERSALES								Imagen
SECTOR PUERTA DE LA CIUDAD								
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)			
		ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	
1	Av. /Universitaria y Av./Emiliano Ortega	2.50	8.00	2.50	2.50	8.00	2.50	 <p>FOTO: Puerta de la ciudad</p>
<b>Descripción:</b>								
Se mantiene ancho de veredas y se implementan orejas de estacionamiento.								
Soterramiento de cables de alumbrado y telefonía								
Colocación de pisos de gres y hormigón impreso con diseño antideslizante formato 30x30 cm.								
Bordillos								
Rampas de accesibilidad en las intersección								
Señalización horizontal pasos de cebra.								
Calzada pavimentada								
NOTA: referirse a los planos constructivos.								
CALLE PASAJE RODRIGUEZ								
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)			
		ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	
1	Av. /Universitaria c/18 de Noviembre	1.38	9.25	1.61	1.38	9.25	1.61	 <p>FOTO: Pasaje Rodriguez desde la calle 18 de Noviembre</p>
<b>Descripción:</b>								
Se mantiene ancho de veredas y se implementan orejas de estacionamiento.								
Soterramiento de cables de alumbrado y telefonía								
Colocación de pisos de gres y hormigón impreso con diseño antideslizante formato 30x30 cm.								
Bordillos								
Rampas de accesibilidad en las intersección								
Señalización horizontal pasos de cebra.								
Calzada pavimentada								
NOTA: referirse a los planos constructivos.								
CALLE JUAN DE SALINAS								
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)			
		ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	
1	Av. /Universitaria c/18 de Noviembre	1.40	13.03	1.47	1.47	11.53	1.47	 <p>FOTO: Calle Juan de Salinas desde la calle Bolivar.</p>
2	c/18 de Noviembre c/Sucre	1.43	12.99	1.43	1.43	11.49	1.43	
3	c/ Sucre c/Manuel Toledo	1.38	12.97	1.43	1.38	11.49	1.43	
4	c/ Manuel Toledo c/Bolivar	1.46	12.93	1.55	1.46	11.49	1.55	
5	c/Bolívar Av./ Emiliano Ortega	1.52	12.65	1.49	1.52	11.45	1.49	
<b>Descripción:</b>								
Se mantiene ancho de veredas y se implementan orejas de estacionamiento.								
Soterramiento de cables de alumbrado y telefonía								
Colocación de pisos de gres y hormigón impreso con diseño antideslizante formato 30x30 cm.								
Se implementa parterre central								
Rampas de accesibilidad en las intersección								
Señalización horizontal pasos de cebra.								
Calzada pavimentada								
NOTA: referirse a los planos constructivos.								
CALLE JOSE FELIZ DE VALDIVIESO								
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)			
		ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	
1	Av. /Universitaria c/18 de Noviembre	1.42	9.22	1.48	1.42	6.89	2.04	 <p>FOTO: Calle Josef Feliz de Valdivieso desde la 18 de Noviembre</p>
2	c/18 de Noviembre c/Sucre	1.15	9.69	1.19	2.63	6.60	1.19	
3	c/Sucre c/Bolivar	1.08	9.57	1.16	1.16	9.57	1.16	
4	c/Bolivar c/ Bernardo Valdivieso	1.08	9.57	1.35	1.16	9.57	1.35	
5	c/Bernardo Valdivieso Av./ Emiliano Ortega	Parque	9.76	1.35	Parque	9.76	1.35	
<b>Descripción:</b>								
Se mantiene ancho de veredas y se implementan orejas de estacionamiento.								
Soterramiento de cables de alumbrado y telefonía								
Colocación de pisos de gres y hormigón impreso con diseño antideslizante formato 30x30 cm.								
Bordillos								
Rampas de accesibilidad en las intersección								
Señalización horizontal pasos de cebra.								
Calzada pavimentada								
NOTA: referirse a los planos constructivos.								

CALLE GONZANAMA							
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)		
		ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	ACERA N.	CALZADA	ACERA S.
1	Av./ Universitaria c/18 de Noviembre	1.85	8,39	1.94	1.85	8.39	1.94
2	c/18 de Noviembre c/ Sucre	1.49	8,72	1.76	1.49	8.72	1.76
3	c/ Sucre Av./Eduardo Kingman	1.76	8,86	1.25	1.76	8.43	1.72

**Descripción:**  
 Se mantiene ancho de veredas y se implementan orejas de estacionamiento según sea el caso.  
 Soterramiento de cables de alumbrado y telefonía  
 Colocación de pisos de gres y hormigón impreso con diseño antideslizante formato 30x30 cm.  
 Bordillos  
 Rampas de accesibilidad en las intersección  
 Señalización horizontal pasos de cebra.  
 Calzada Pavimentada  
 NOTA: referirse a los planos constructivos.

**Imagen**



FOTO: Calle Gonzanama desde la Av. Eduardo Kingman

CALLE SARAGURO							
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)		
		ACERA N.	CALZADA	ACERA S.	ACERA N.	CALZADA	ACERA S.
1	c/ Sucre Av./Eduardo Kingman	1.54	8.85	1.36	1.54	8.85	1.36

**Descripción:**  
 Se mantiene ancho de veredas y se implementan orejas de estacionamiento según sea el caso.  
 Soterramiento de cables de alumbrado y telefonía  
 Colocación de pisos de gres y hormigón impreso con diseño antideslizante formato 30x30 cm.  
 Bordillos  
 Rampas de accesibilidad en las intersección  
 Señalización horizontal pasos de cebra.  
 Calzada Pavimentada  
 NOTA: referirse a los planos constructivos.

**Imagen**



FOTO: Calle Saraguro desde la Eduardo Kingman

CALLES LONGITUDINALES							
AV. EMILIANO ORTEGA							
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)		
		ACERA O.	CALZADA	ACERA E.	ACERA O.	CALZADA	ACERA E.
1	Av./Universitaria c/Manuel Toledo	2.75	11.50	Río Zamora	2.75	11.50	Río Zamora
2	c/Manuel Toledo c/Bolivar	2.84	9.09	Río Zamora	2.84	9.09	Río Zamora
3	c/Bolivar c/Juan de Salinas	2.86	9.04	Río Zamora	2.86	9.04	Río Zamora
4	c/ Juan de Salinas c/Bernardo Valdivieso	2.48	7.44	Río Zamora	2.48	7.44	Río Zamora
5	c/Bernardo Valdivieso c/ José Félix de V.	2.38	9.16	Parque	2.38	9.16	Parque
6	c/José Félix de Valdivieso c/Quito	2.86	9.22	Río Zamora	2.86	9.22	Río Zamora
7	c/Quito c/Imbabura	1.15	6.00	Parque	1.15	6.00	Parque
8	c/Imbabura c/ Colon	1.53	8.46	Parque	2.99	5.90	1.60 Parque
9	c/ Colon Av./24 de Mayo	2.57	9.36	Río Zamora	3.03	8.87	Río Zamora
10	Av. 24 de Mayo c/ 10 de Agosto	1.43	8.99	Río Zamora	1.43	8.99	Río Zamora
11	c/10 de Agosto c/Rocafuerte	1.88	8.85	Río Zamora	1.88	8.85	Río Zamora
12	c/Rocafuerte c/Miguel Riofrio	1.68	8.90	Río Zamora	1.68	8.90	Río Zamora
13	c/Miguel Riofrio c/Azuay	1.86	8.89	Río Zamora	1.86	8.89	Río Zamora
14	c/Azuay c/Lourdes	2.54	8.96	Estadio	2.54	8.96	Estadio
15	c/Lourdes c/José María Eras	1.39	8.91	Parque	1.39	7.25	1.66 Parque
16	c/José María Eras c/C-01-10	1.34	9.11	Río Zamora	1.34	9.11	Río Zamora

**Imagen**



FOTO: Av. Emiliano Ortega desde la calle Quito.

CALLE 18 DE NOVIEMBRE							
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)		
		ACERA O.	CALZADA	ACERA E.	ACERA O.	CALZADA	ACERA E.
1	Av./Universitaria c/Pasaje Rodriguez	1.82	9.29	1.86	1.82	7.05	1.86
2	c/Pasaje Rodriguez c/Juan de Salinas	1.97	8.78	1.85	1.94	7.05	1.85
3	c/Juan José Peña c/José Félix de Valdivieso	1.85	9.28	1.80	1.85	7.05	1.80
4	c/José Félix de Valdivieso c/Quito	2.12	9.86	1.85	2.12	7.05	1.85
5	c/Quito c/Imbabura	1.95	10.12	1.95	2.53	7.05	1.94
6	c/Imbabura c/ Colon	1.80	12.05	1.15	4.07	7.05	1.95
7	c/Colon c/José A. Eguiguren	2.43	6.53	2.38	2.43	6.53	2.38
8	c/José A. Eguiguren c/10 de Agosto	2.43	6.51	2.67	2.43	6.51	2.51
9	c/10 de Agosto c/Rocafuerte	3.22	7.74	2.39	3.22	7.74	2.39
10	c/Rocafuerte c/Miguel Riofrio	2.76	6.51	2.27	2.76	6.51	2.27
11	c/Miguel Riofrio c/ Azuay	2.78	6.53	2.77	2.78	6.53	2.77
12	c/Azuay c/ Mercado	2.63	6.54	2.52	2.63	6.54	2.52
13	c/Mercado c/ Lourdes	1.30	9.90	0.95	1.68	8.77	1.69
14	c/Lourdes c/ Catacocha	1.75	9.41	1.10	1.52	9.27	1.34
15	c/Catacocha c/Cariamanga	1.40	9.56	1.29	1.39	9.27	1.63
16	c/Cariamanga c/ Céllica	1.38	9.57	1.03	1.56	9.05	1.47
17	c/Céllica c/Gonzanama	1.42	10.80	1.60	1.70	10.06	2.02
18	c/Gonzanama c/Chile	1.44	11.00	1.47	1.70	10.12	2.09
19	c/ Chile Av./Gobernación de Mainas	1.45	10.96	1.51	Parque	10.27	2.13

**Imagen**



FOTO: Calle 18 de Noviembre desde la Puerta de la ciudad

AV. UNIVERSITARIA							
N	TRAMO	ESTADO ACTUAL (dim . promedio)			PROPUESTA (dim. Promedio)		
		ACERA O.	CALZADA	ACERA E.	ACERA O.	CALZADA	ACERA E.
1	Av./Universitaria c/Pasaje Rodriguez	Río Malacatos	9.95	1.43	Río Malacatos	9.95	1.43
2	c/Pasaje Rodriguez c/Juan de Salinas	Río Malacatos	9.99	1.48	Río Malacatos	9.99	1.48
3	c/Juan José Peña c/José Félix de Valdivieso	Río Malacatos	9.98	4.61	Río Malacatos	9.98	4.61
4	c/José Félix de Valdivieso c/Quito	Río Malacatos	9.82	6.53	Río Malacatos	9.82	6.53
5	c/Quito c/Imbabura	Río Malacatos	9.92	1.41	Río Malacatos	9.92	1.41
6	c/Imbabura c/ Colon	Río Malacatos	9.56	1.80	Río Malacatos	9.56	1.80
7	c/Colon c/José A. Eguiguren	Río Malacatos	9.81	1.47	Río Malacatos	9.81	1.47
8	c/José A. Eguiguren c/10 de Agosto	Río Malacatos	10.25	1.57	Río Malacatos	10.25	1.57
9	c/10 de Agosto c/Miguel Riofrio	Río Malacatos	10.04	1.48	Río Malacatos	10.04	1.48
11	c/Miguel Riofrio c/ Azuay	Río Malacatos	9.93	1.51	Río Malacatos	9.93	1.51
12	c/Azuay c/ Mercado	Río Malacatos	9.69	4.71	Río Malacatos	9.69	4.71
13	c/Mercado c/ Lourdes	Río Malacatos	9.71	3.77	Río Malacatos	9.71	3.77
14	c/Lourdes c/ Catacocha	Río Malacatos	10.86	2.39	Río Malacatos	10.86	2.39
15	c/Catacocha c/Cariamanga	Río Malacatos	10.87	7.33	Río Malacatos	10.87	7.33
16	c/Cariamanga c/ Céllica	Río Malacatos	11.10	7.29	Río Malacatos	11.10	7.29
17	c/Céllica c/Gonzanama	Río Malacatos	11.28	7.08	Río Malacatos	11.28	7.08
18	c/Gonzanama c/Chile	Río Malacatos	11.09	3.42	Río Malacatos	11.09	3.42

**Imagen**



FOTO: Av. Universitaria frente al Parque Bolívar

## Anexo 5: Código para filtrar los datos

```
import pandas as pd
import openpyxl
from openpyxl.styles import PatternFill
from google.colab import files

# Subir el archivo desde la PC
print("Por favor, sube tu archivo Excel:")
uploaded = files.upload()
file_path = list(uploaded.keys())[0]

# Leer el archivo Excel
data = pd.ExcelFile(file_path)

# Cargar la primera hoja como DataFrame
df = data.parse(data.sheet_names[0])

# Detectar la fila del encabezado correctamente
header_row_index = df.apply(lambda row: row.astype(str).str.contains("canal", na=False).any(), axis=1).idxmax()
df.columns = df.iloc[header_row_index] # Establecer el encabezado

# Eliminar las filas anteriores al encabezado y reiniciar el índice
df = df.iloc[header_row_index + 1:].reset_index(drop=True)

# Convertir los valores a numéricos (ignorar errores)
df_numeric = df.apply(pd.to_numeric, errors='coerce')

# Definir el umbral
threshold = -100

# Crear un archivo Excel nuevo para escribir los datos resaltados
output_file = 'banda_2.4GHz_resaltado.xlsx'

# Abrir un Workbook de openpyxl
with pd.ExcelWriter(output_file, engine='openpyxl') as writer:
    # Guardar el DataFrame en el archivo Excel temporalmente
    df.to_excel(writer, index=False, sheet_name='Sheet1')
    workbook = writer.book
    worksheet = writer.sheets['Sheet1']

    # Aplicar formato de celda según los valores
    fill_blue = PatternFill(start_color="00FF00", end_color="00FF00", fill_type="solid") # Azul para resaltar

    # Resaltar y contar valores mayores al umbral
    count_above_threshold = [0] * len(df_numeric.columns) # Lista para conteos por columna
    for row_idx, row in df_numeric.iterrows():
        for col_idx, value in enumerate(row):
            if pd.notna(value) and value > threshold:
                # Resaltar la celda en azul
                worksheet.cell(row=row_idx + 2, column=col_idx + 1).fill = fill_blue
                # Incrementar el conteo para la columna correspondiente
                count_above_threshold[col_idx] += 1

    # Añadir una fila al final con el total
    worksheet.append(['TOTAL'] + count_above_threshold)

# Descargar el archivo procesado
files.download(output_file)

print(f"Archivo procesado y guardado como: {output_file}")
```

## Anexo 6: Petición de los equipos a la empresa CNT EP



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE LOJA**

**FEIRNNR**

**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

Of. N° UNL-FEIRNNR-CTELEC-2024-03  
Loja, 02 de septiembre de 2024

Señor Ingeniero  
Remigio Pilco Pillajo  
**JEFE TÉCNICO CNT - REGIÓN 7**  
Ciudad. –

De mi consideración:

Reciba un cordial y atento saludo de parte de quienes formamos parte de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja; que sus actuales y delicadas funciones sean siempre exitosas para el beneficio de nuestra sociedad lojana.

El motivo de la presente es para comunicar a su autoridad que el señor estudiante MARCO VINICIO ORDOÑEZ CABRERA con número de cédula: 1150133385 actualmente está matriculado en el noveno ciclo de la carrera de Telecomunicaciones de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la UNL donde además se encuentra desarrollando el Trabajo de Integración Curricular o tesis de grado denominado: ***"Estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) con visión a la transformación de Loja como Ciudad Inteligente"***. Con estos antecedentes y en base al convenio de cooperación interinstitucional que se mantiene vigente entre la UNL y la entidad que usted muy bien representa; de la manera más comedida solicito a usted autorice según corresponda el préstamo de un Analizador de Espectros para el monitoreo técnico de las bandas de 900Mhz y 2,4Ghz con lo cual el señor estudiante lo pueda utilizar en las fechas señaladas en el cronograma que se adjunta al presente oficio(Desde el lunes 09 de septiembre al viernes 13 de noviembre) y de esta manera, se pueda obtener la información vinculada a la explotación del espectro en las bandas antes señaladas en la ciudad de Loja puntualmente dentro del sector comprendido desde la puerta de la ciudad por la Av. Universitaria y la Av. Emiliano Ortega, hasta Av. Catacocha, Av. Eduardo Kingman y la Av. Gobernación de Mainas.

Es importante señalar que cualquier acción vinculada a la entrega, retiro y devolución diaria del equipo estaremos prestos a asumirla según usted la imponga y en base a las políticas institucionales de CNT.

Finalmente, es importante destacar que los datos obtenidos de la investigación propuesta por el señor Ordoñez Cabrera contribuyen significativamente al desarrollo local en la gestión del espectro radioeléctrico en las bandas ISM (915 MHz y 2.4 GHz). Esta investigación proporciona información relevante que facilitará el uso y la explotación eficiente de estas bandas en futuros proyectos que tanto empresas públicas y privadas deseen emprender, en el marco del paradigma de las Ciudades Inteligentes o Smart Cities.

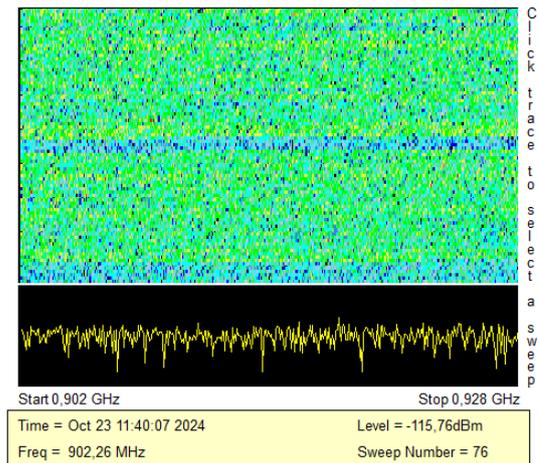
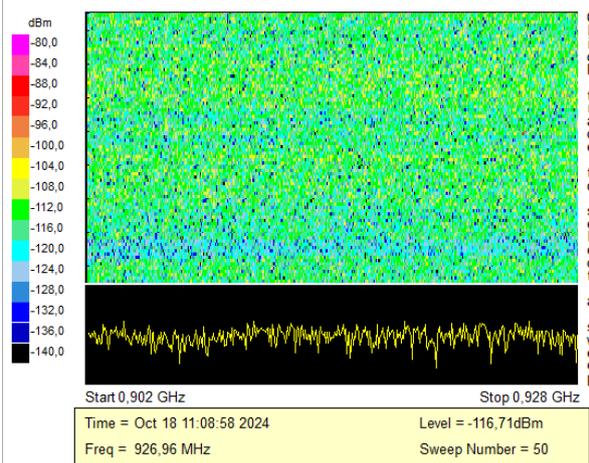
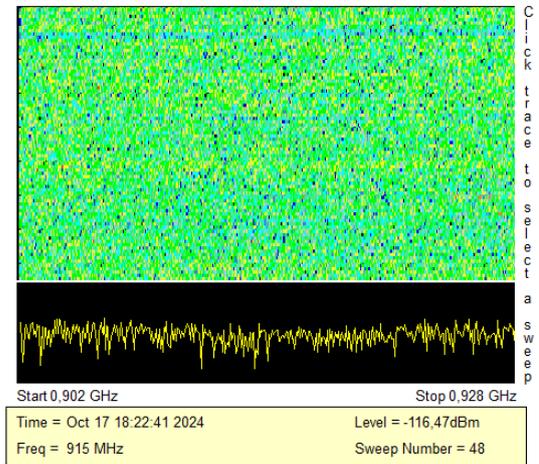
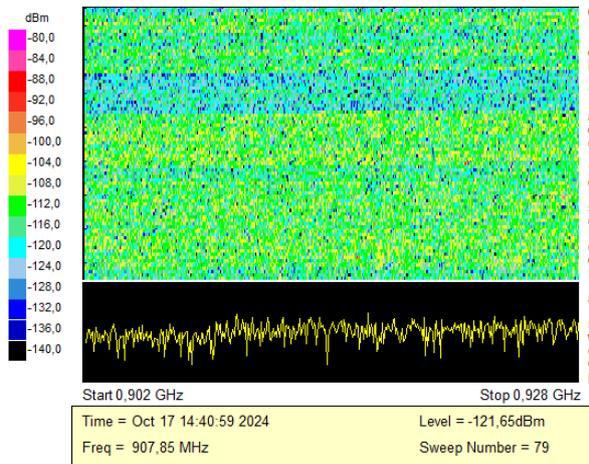
Ciudad Universitaria "Guillermo Falconí Espinosa" Casilla letra "S"  
Teléfono: 2545 – 689 Ext. 133  
[direccion.ciet@unl.edu.ec](mailto:direccion.ciet@unl.edu.ec)  
[www.telecomunicaciones.edu.ec](http://www.telecomunicaciones.edu.ec)



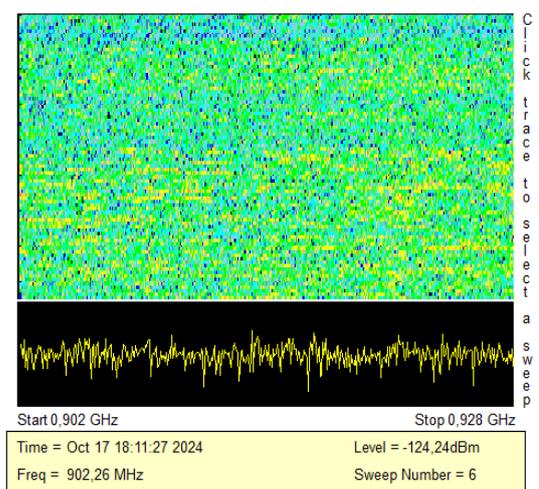
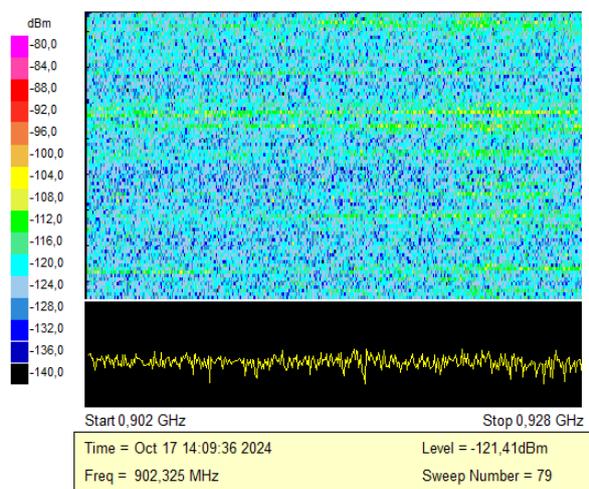
## Anexo 7: Espectrogramas del 2 al 5 de todos los puntos de medición

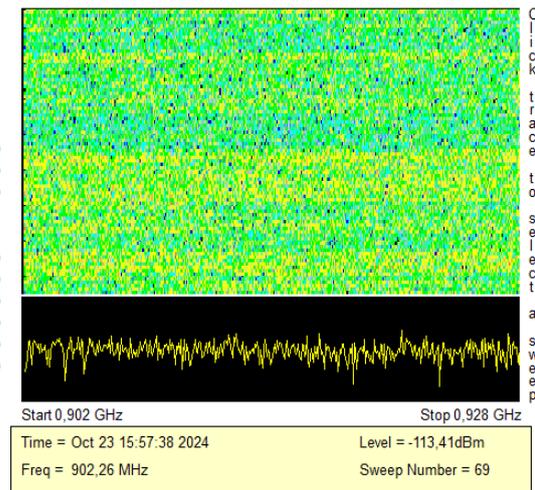
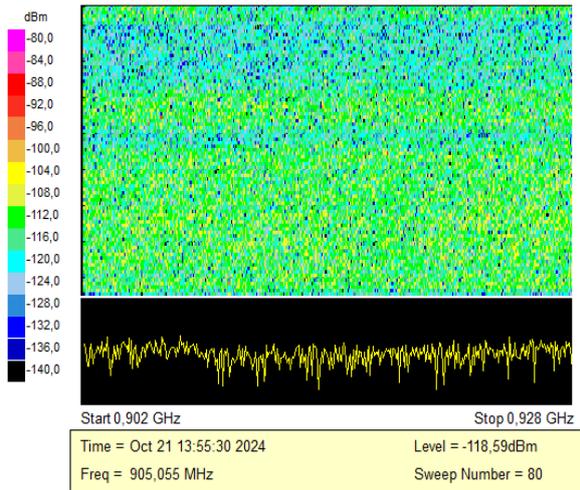
### Banda 915MHz

#### Punto 1

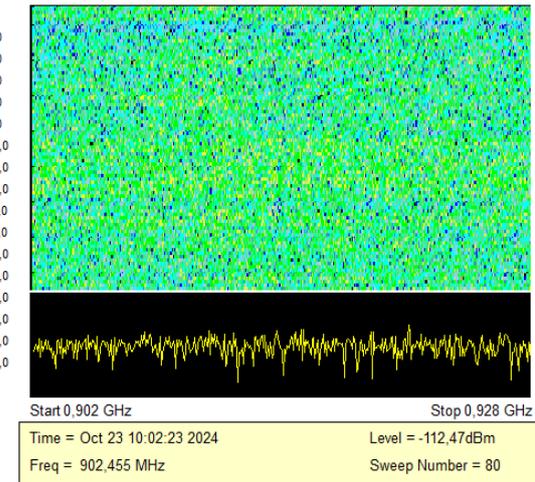
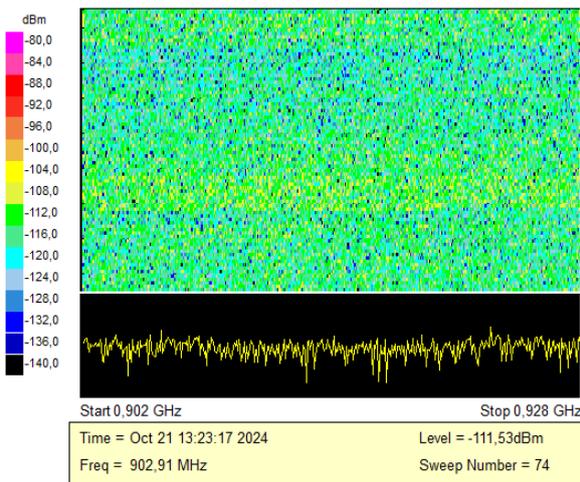
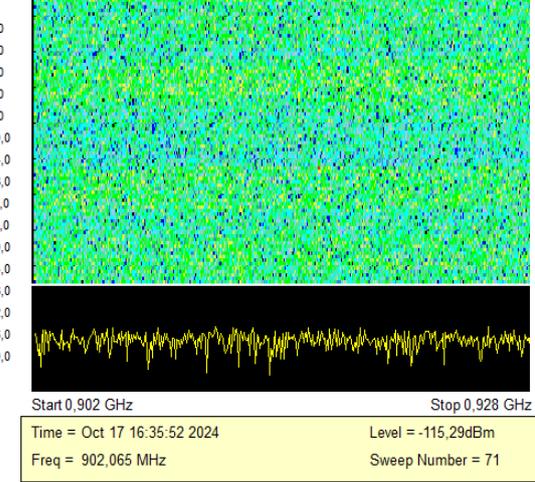
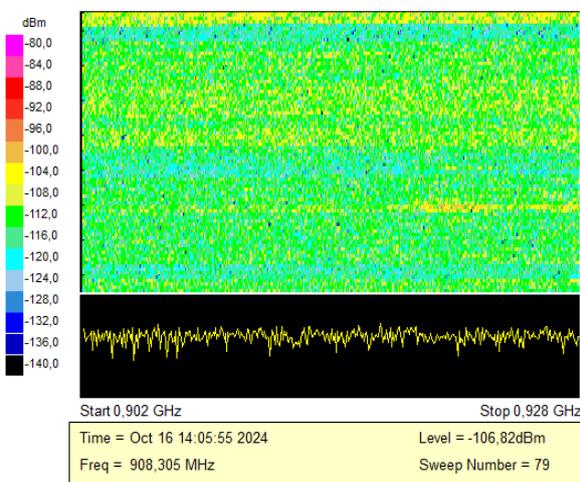


#### Punto 2

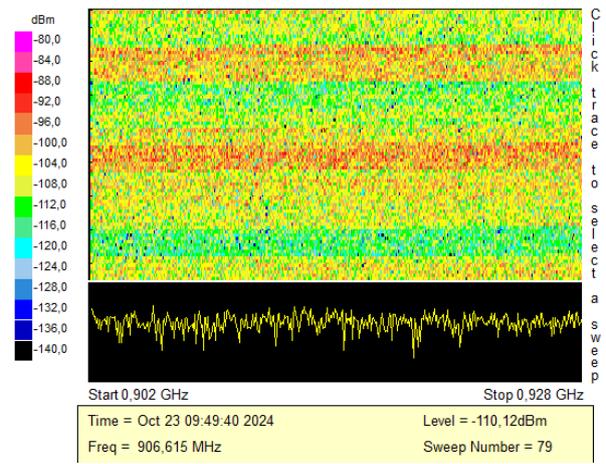
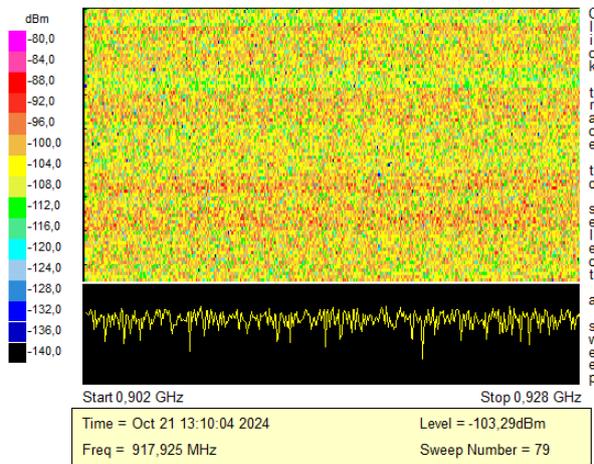
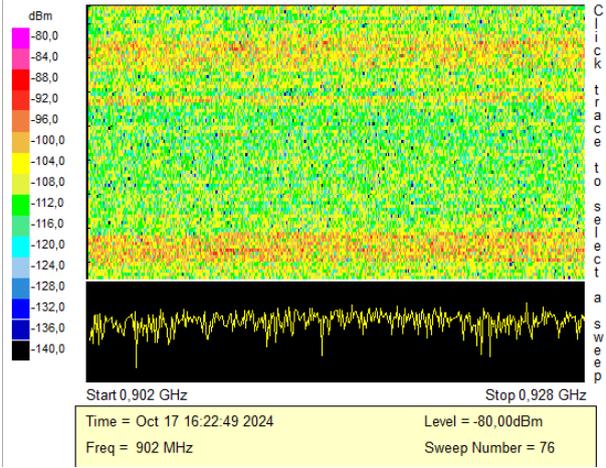
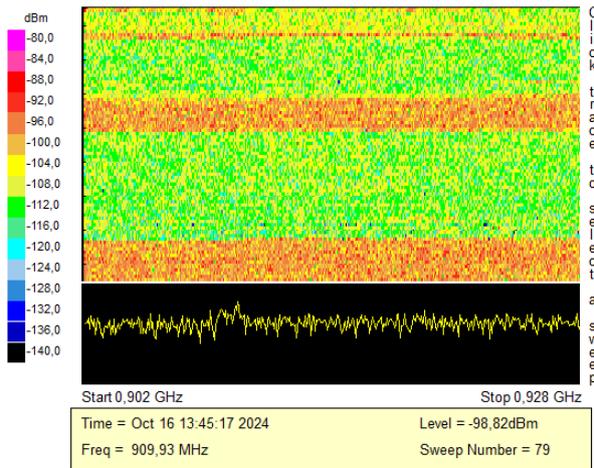




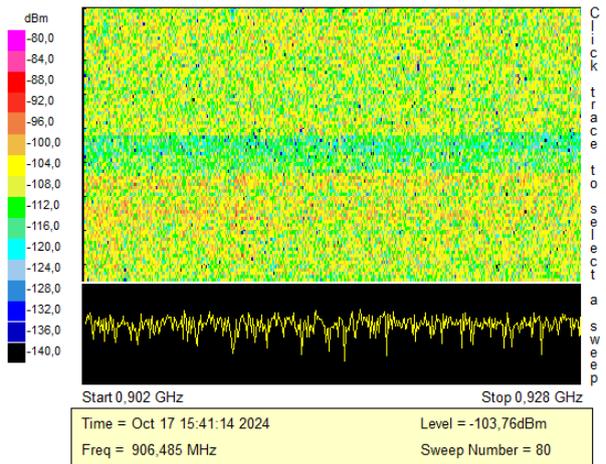
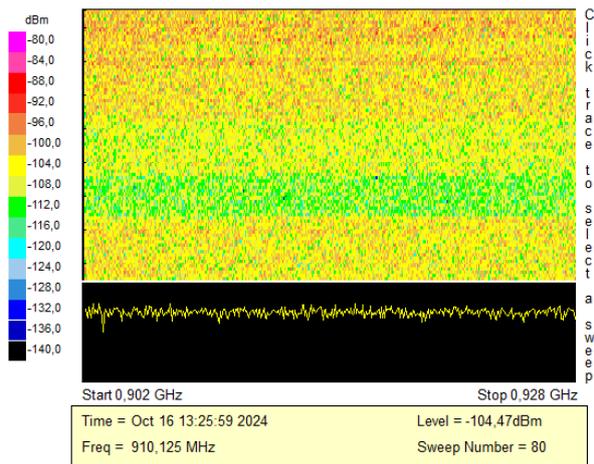
### Punto 3

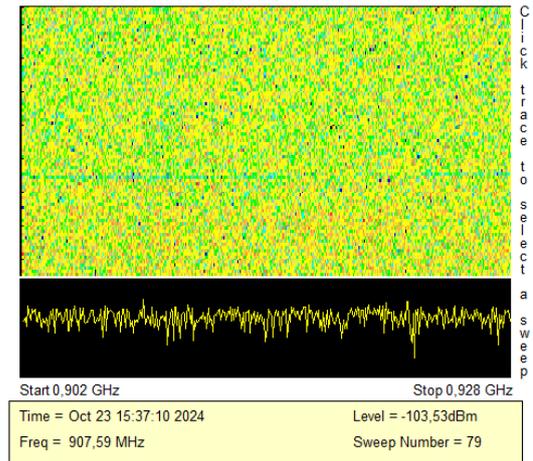
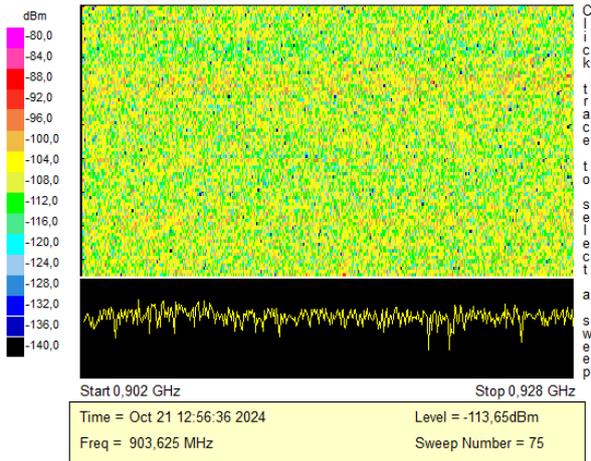


## Punto 4

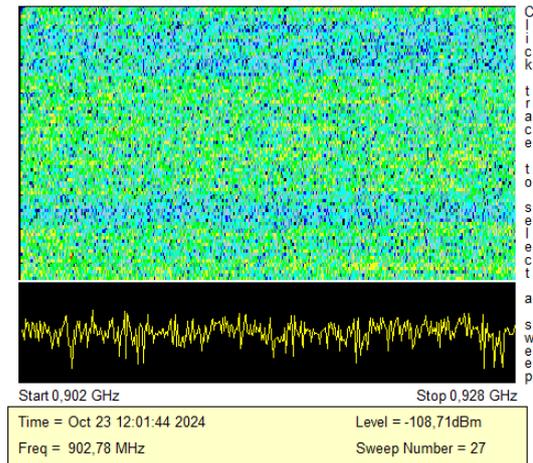
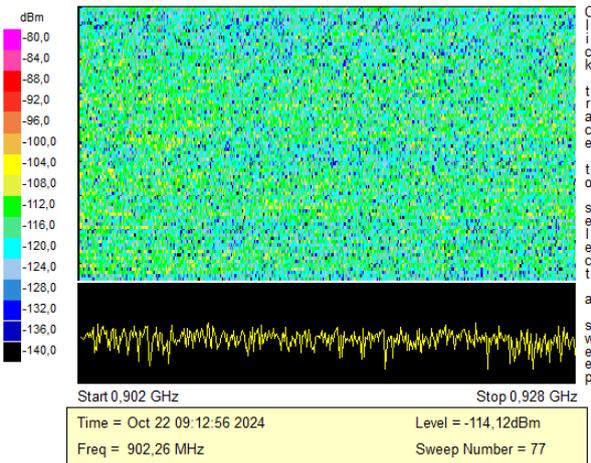
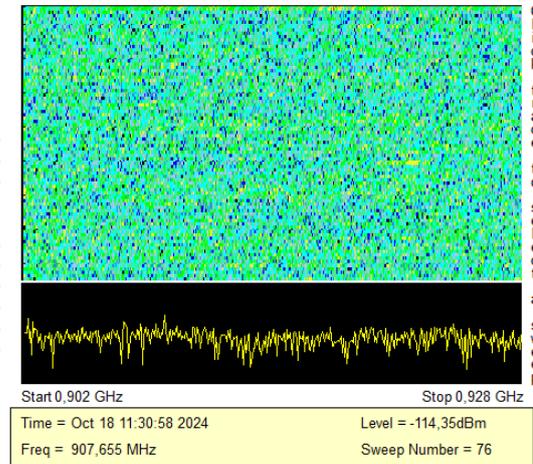
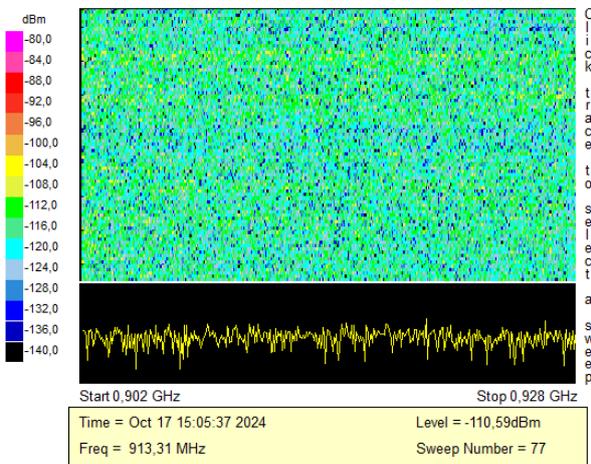


## Punto 5

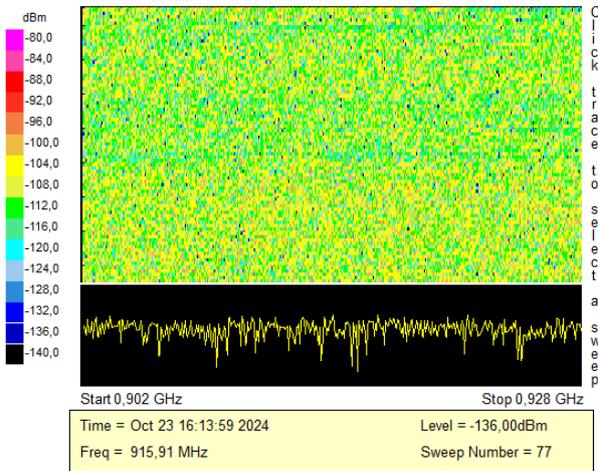
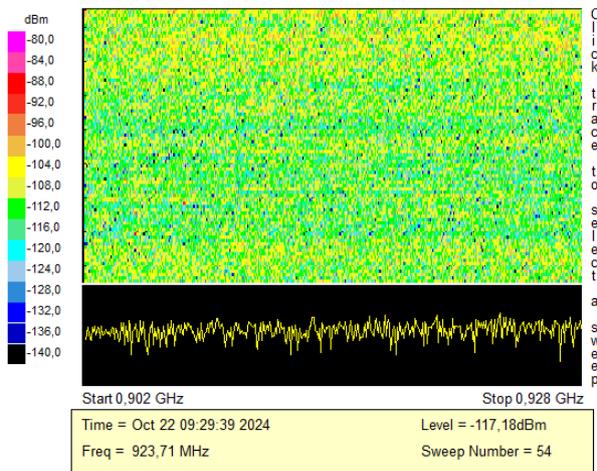
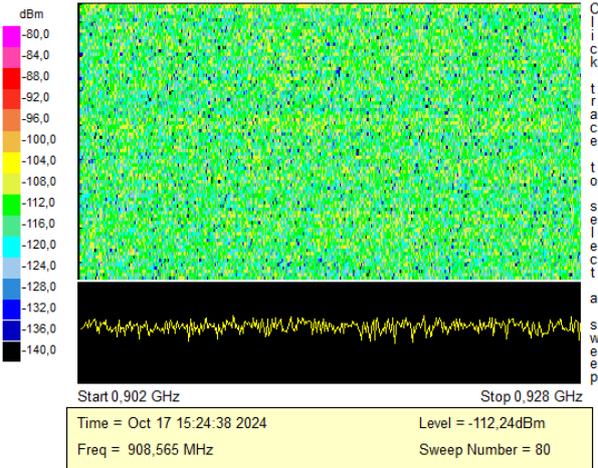
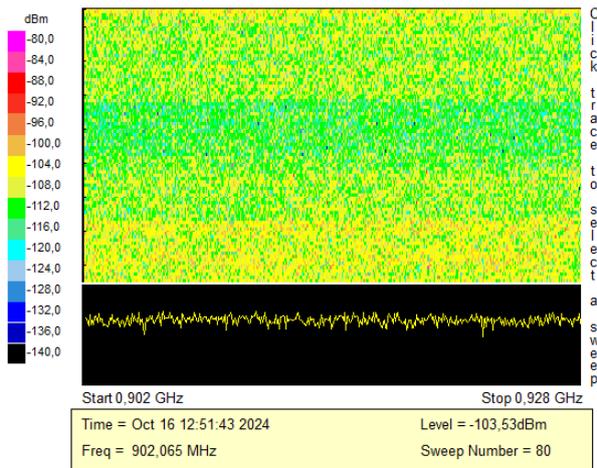




### Punto 6

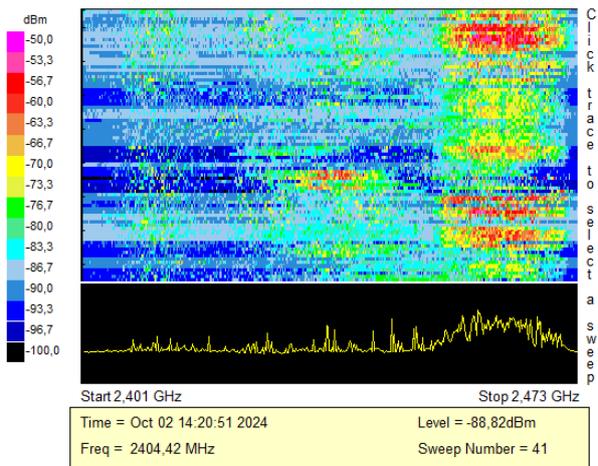
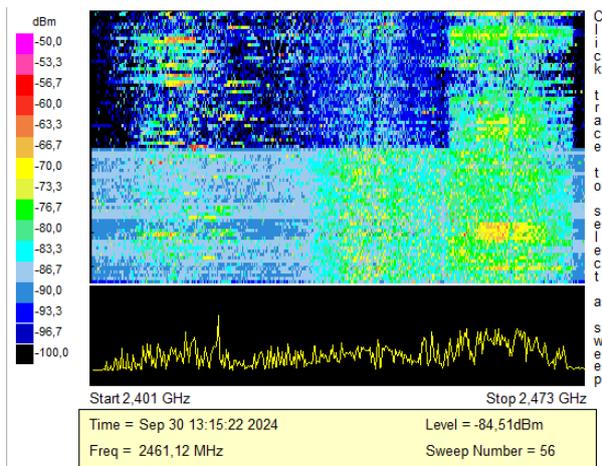


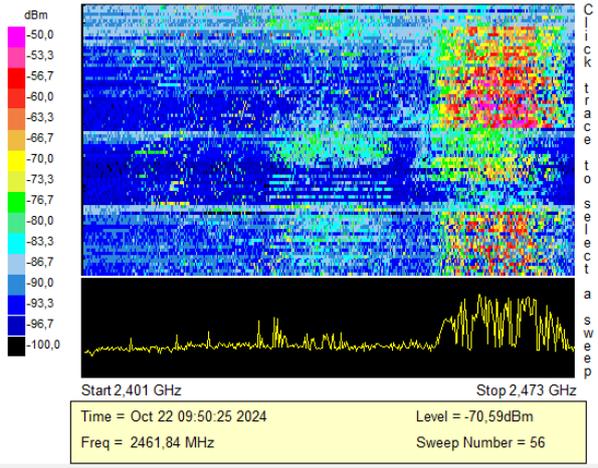
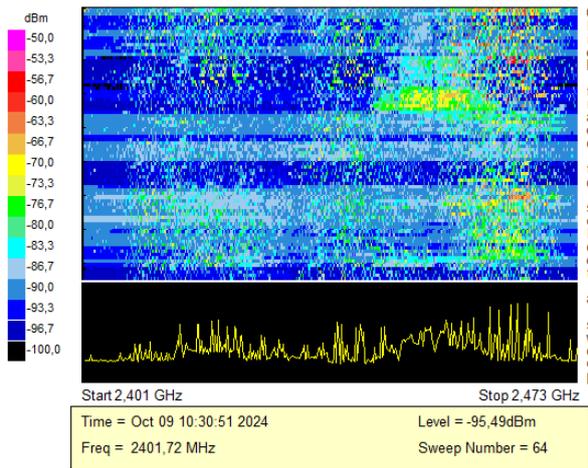
## Punto 7



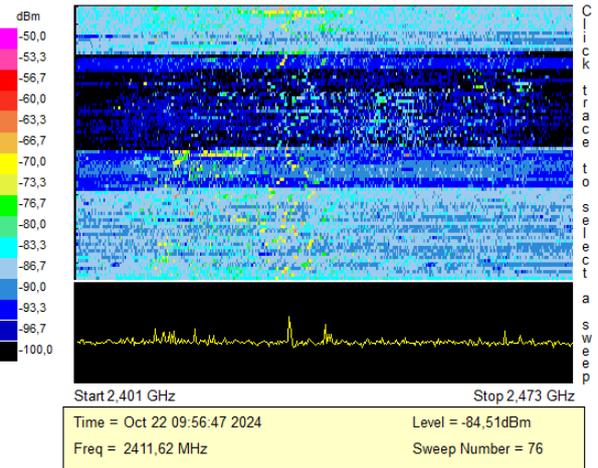
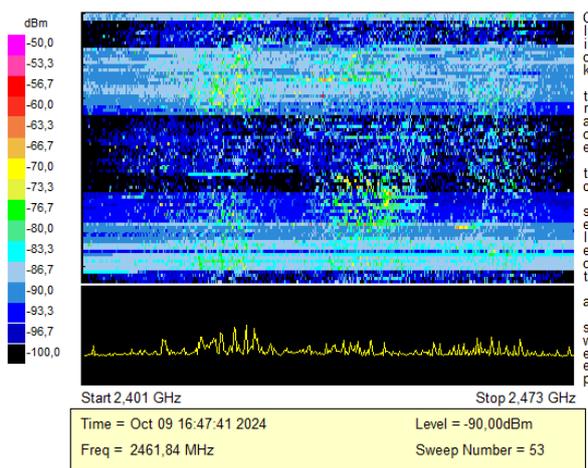
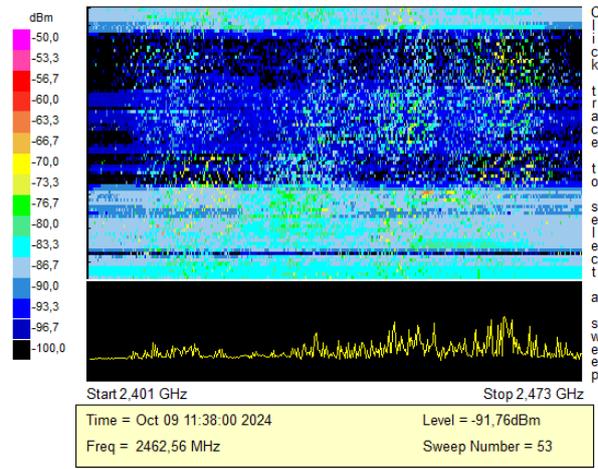
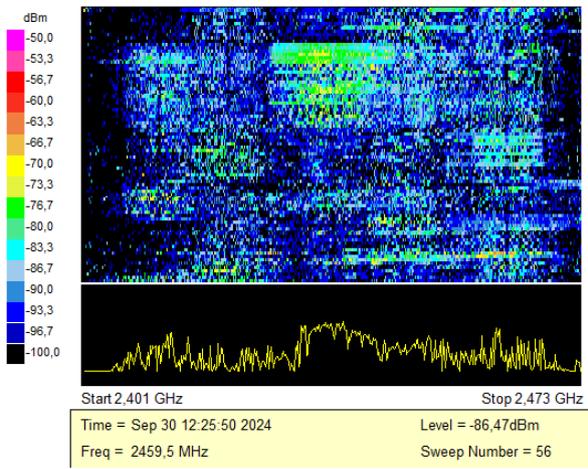
## Banda 2.4GHz

### Punto 1

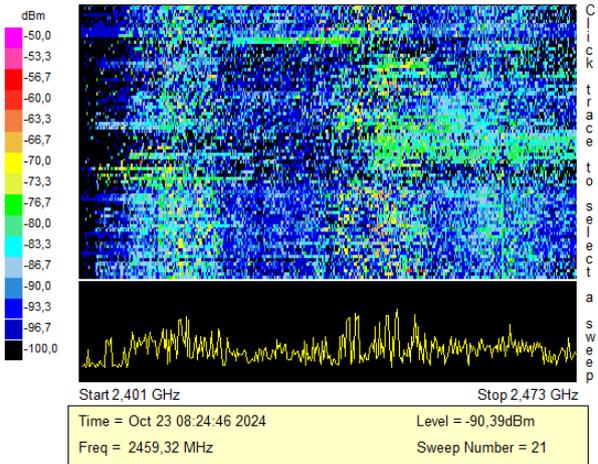
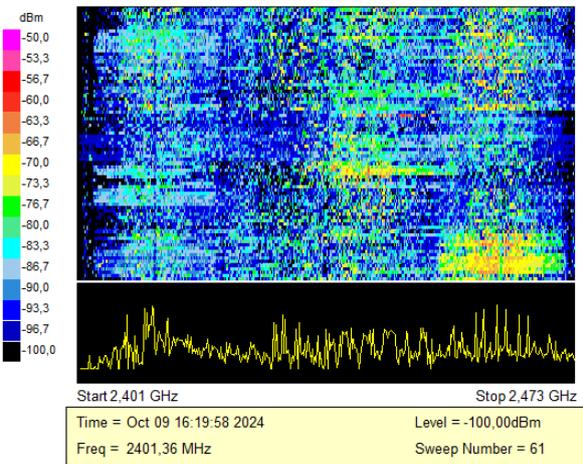
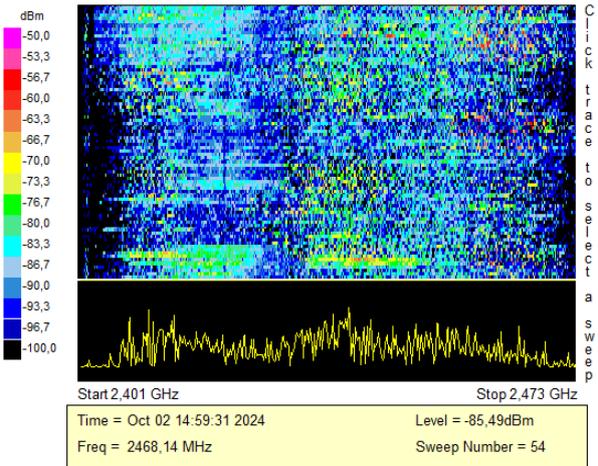
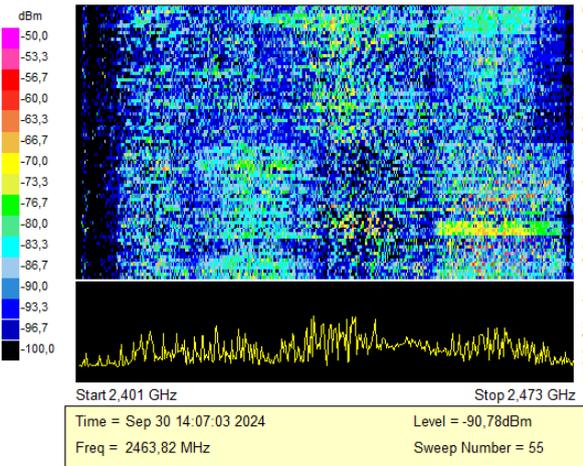




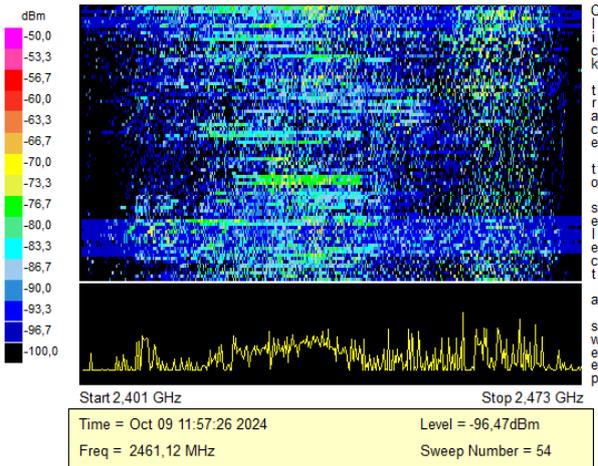
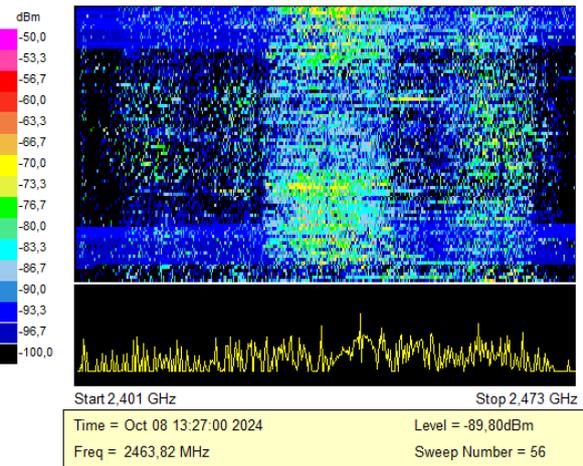
## Punto 2

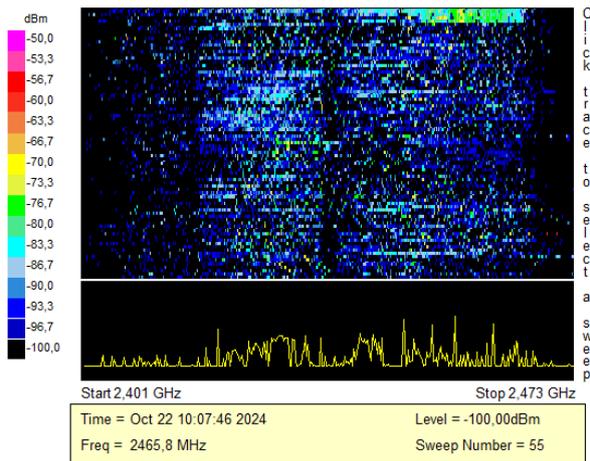
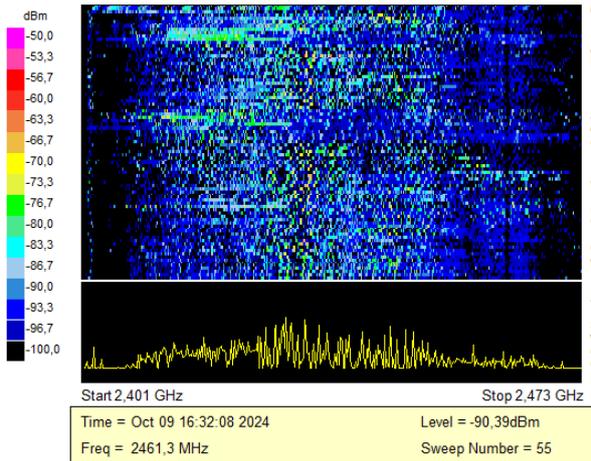


### Punto 3

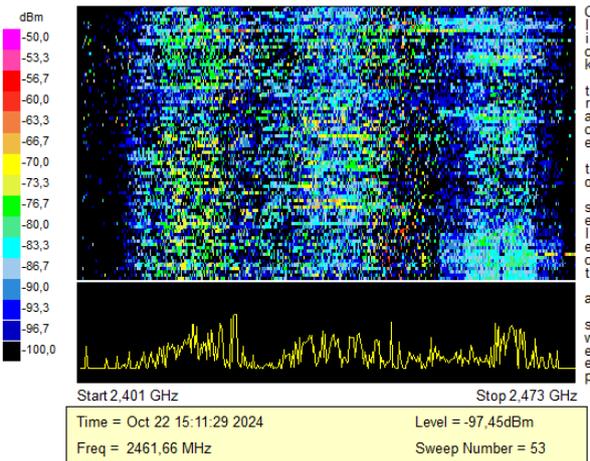
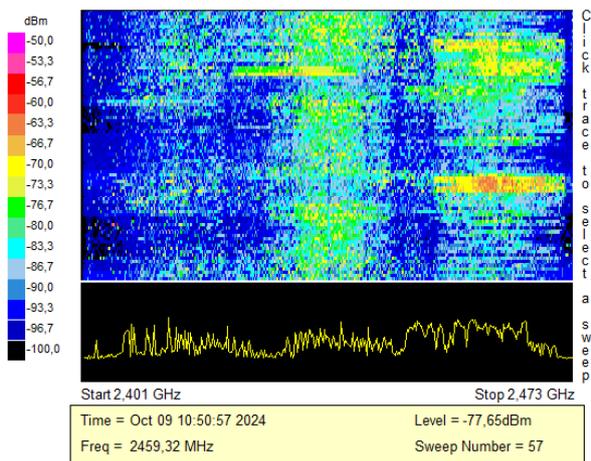
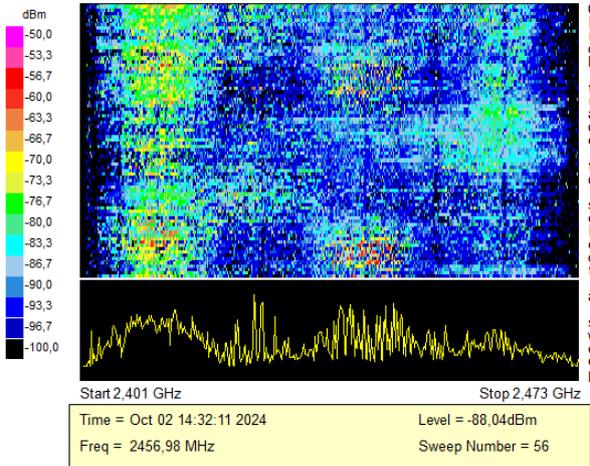
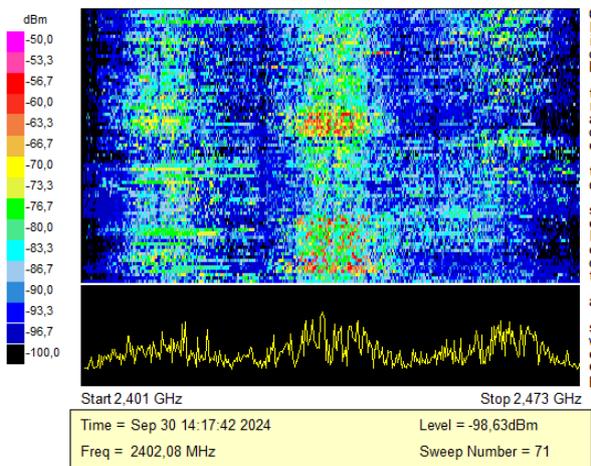


### Punto 4

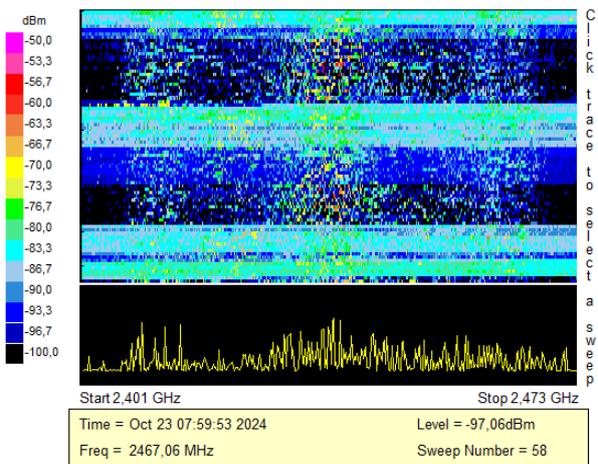
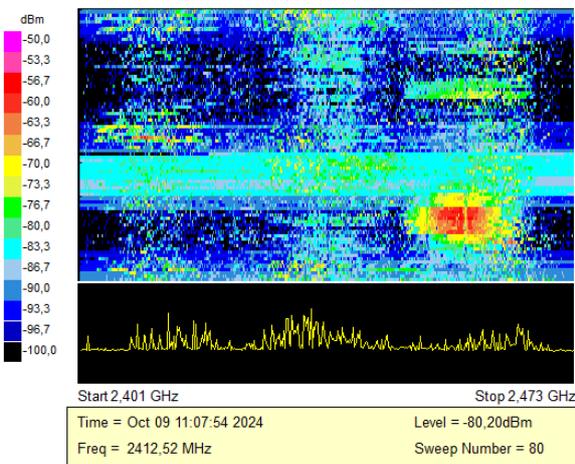
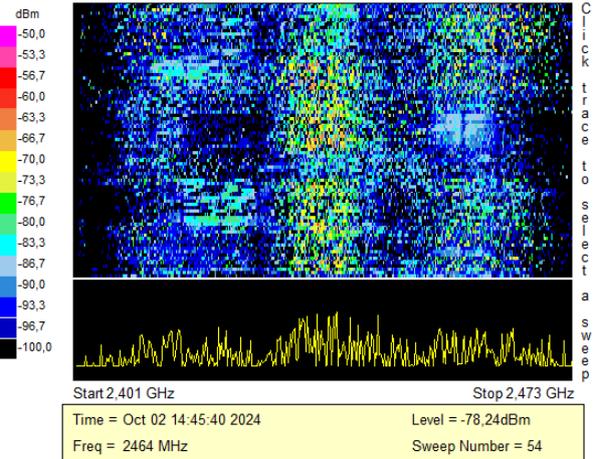
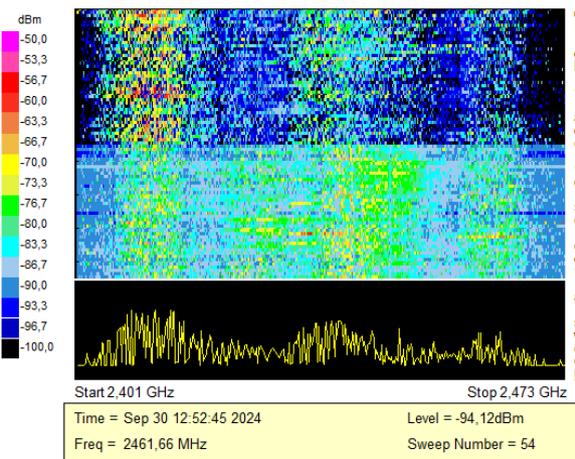




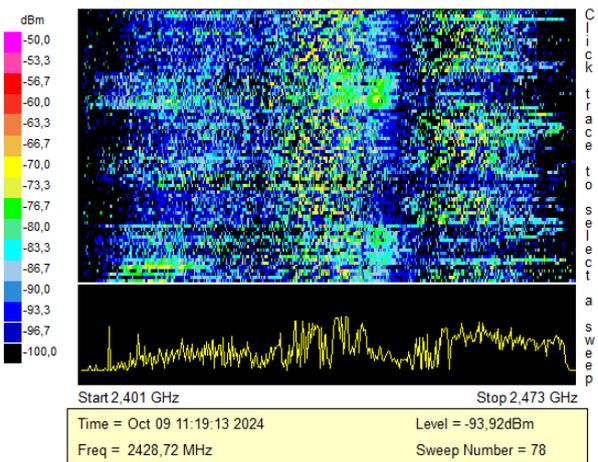
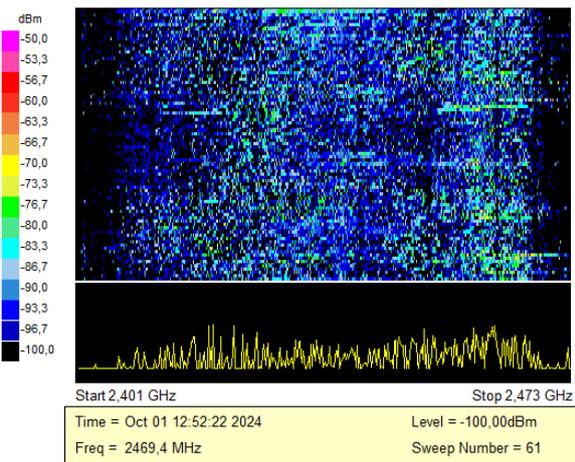
### Punto 5

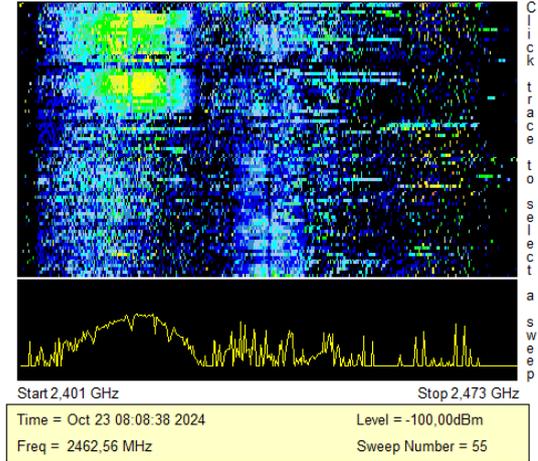
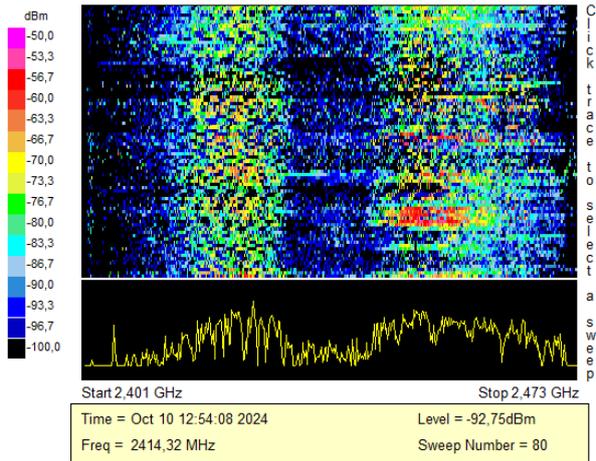


## Punto 6

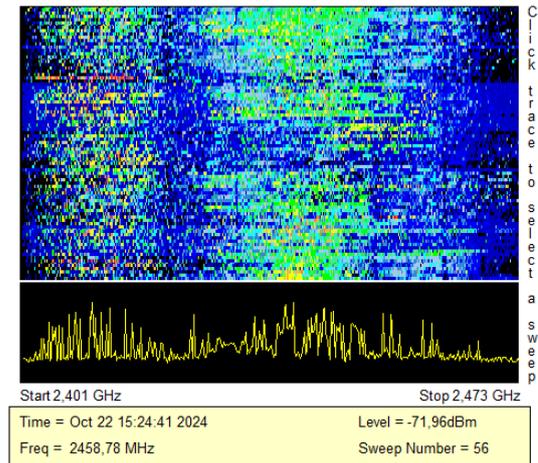
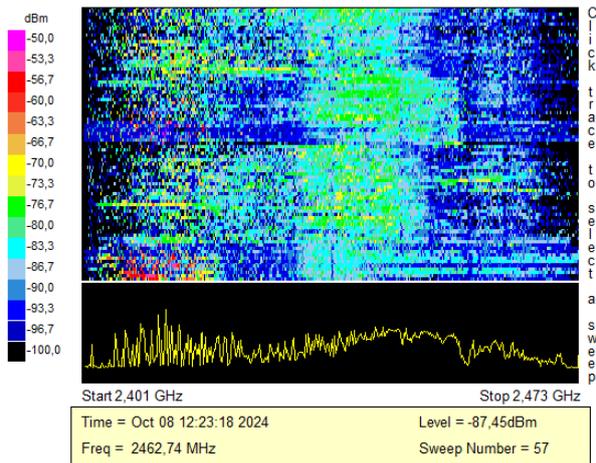
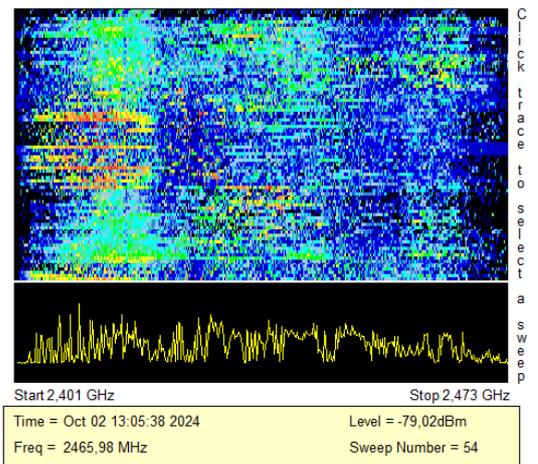
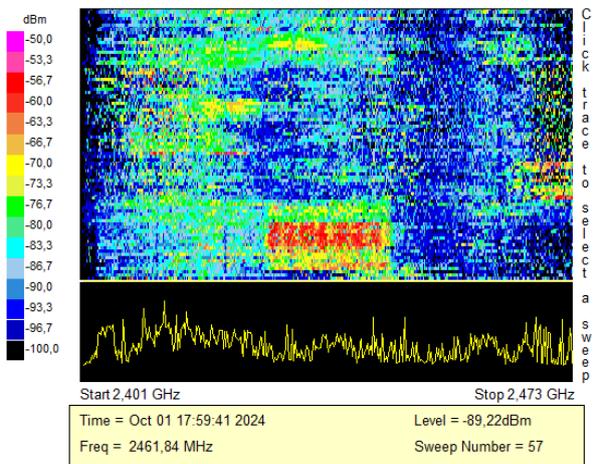


## Punto 7

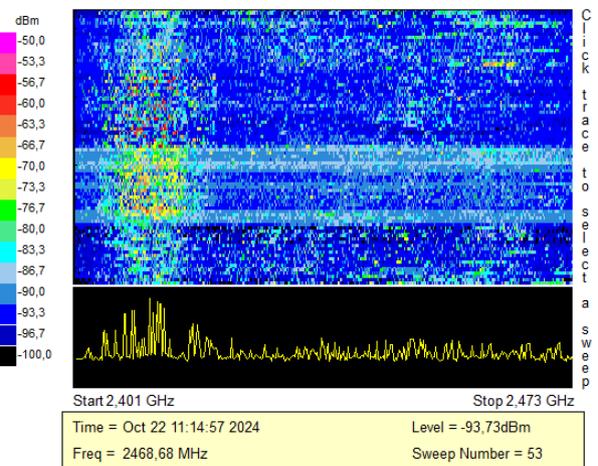
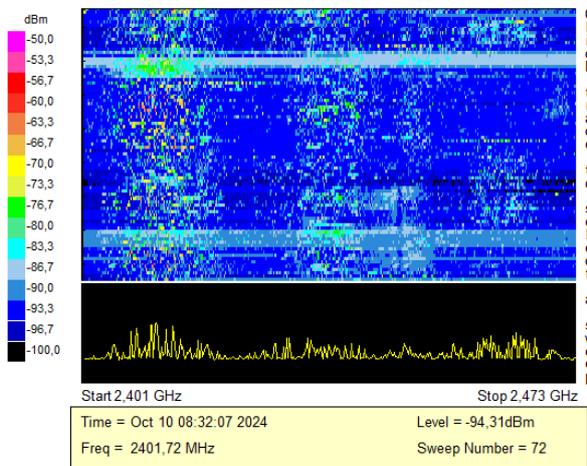
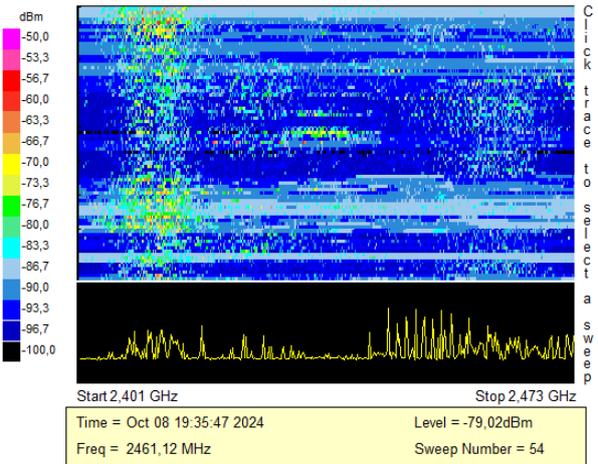
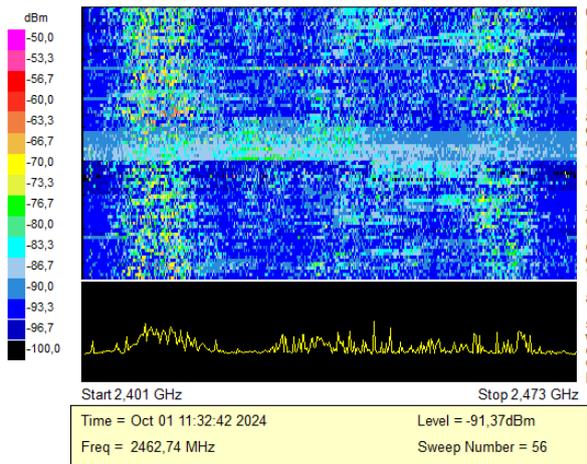




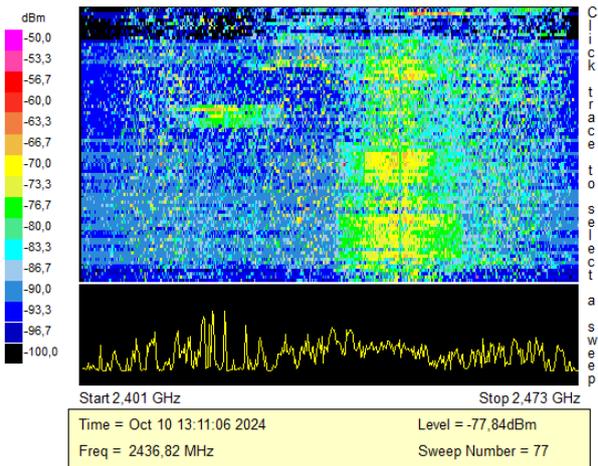
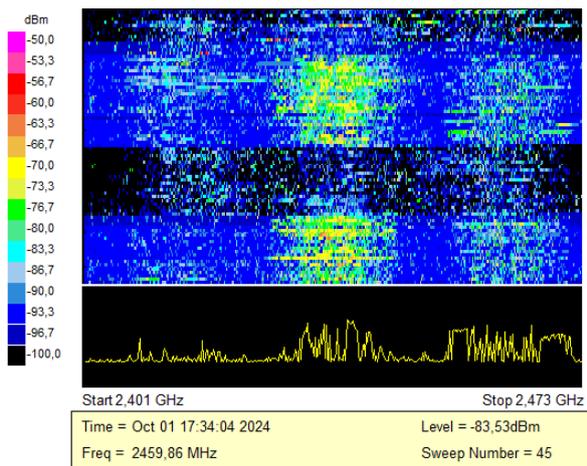
### Punto 8

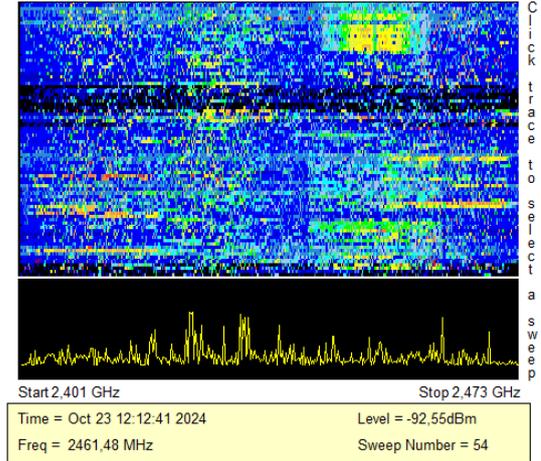
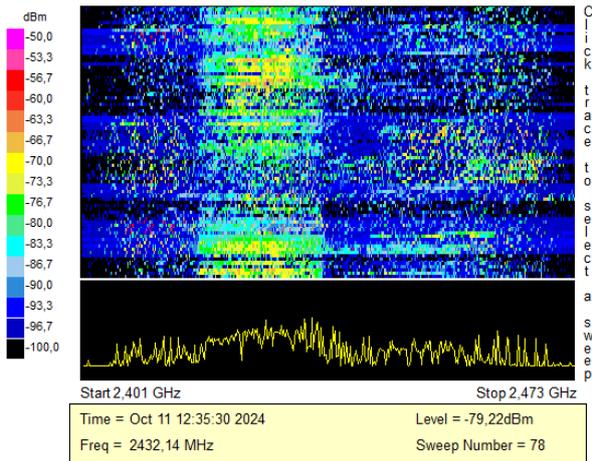


## Punto 9

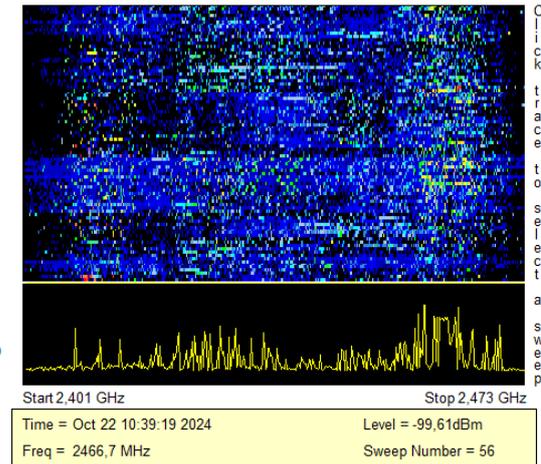
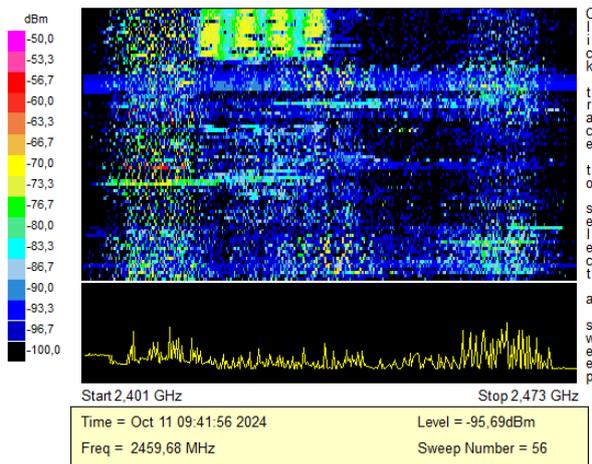
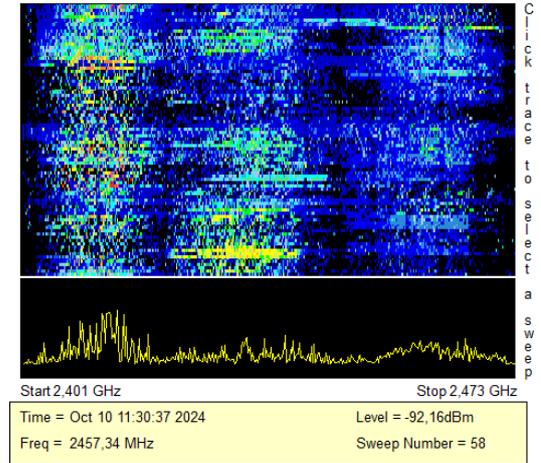
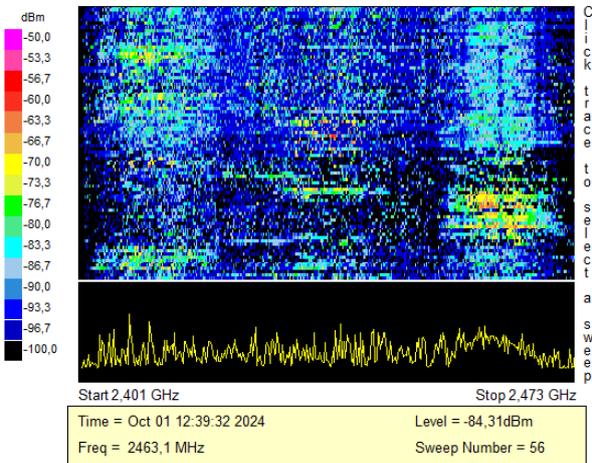


## Punto 10

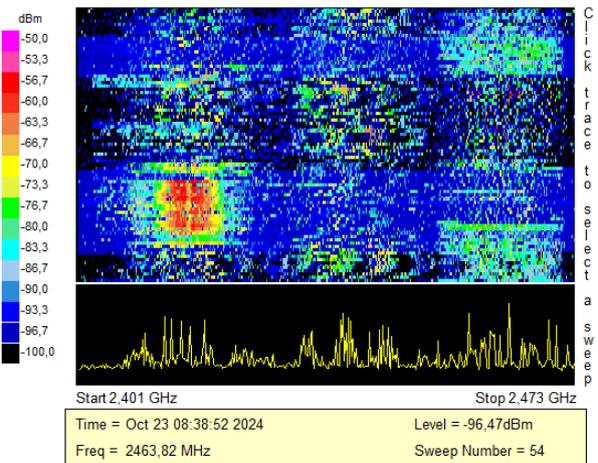
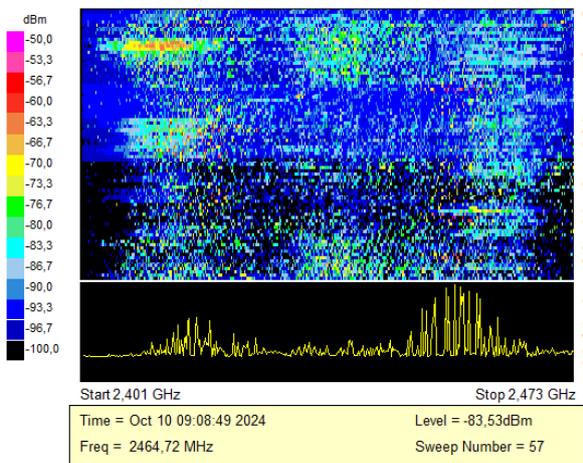
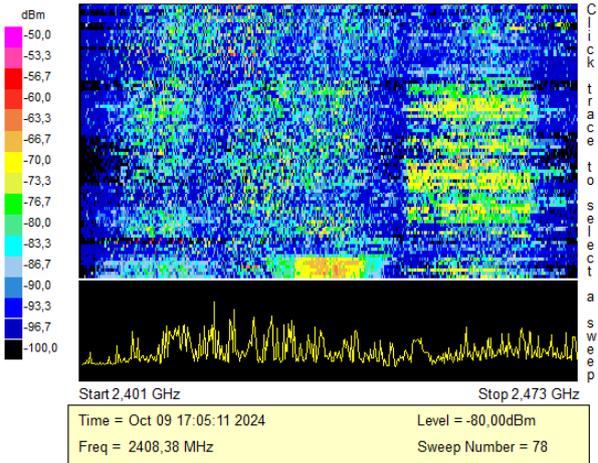
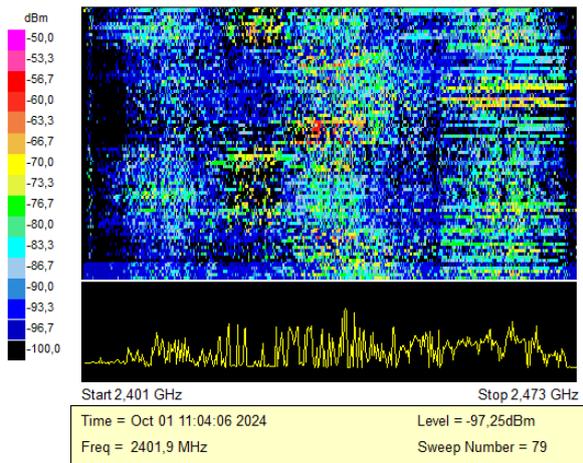




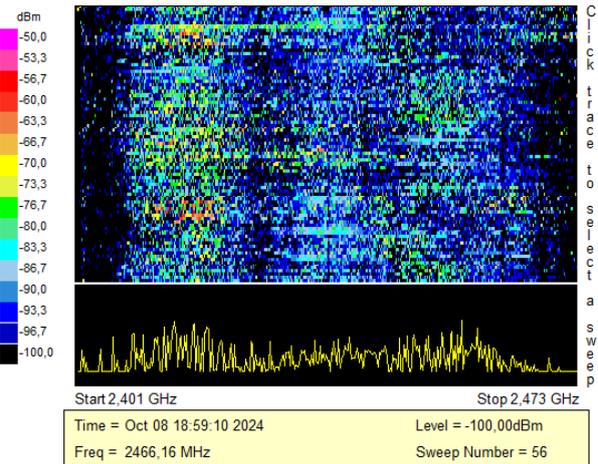
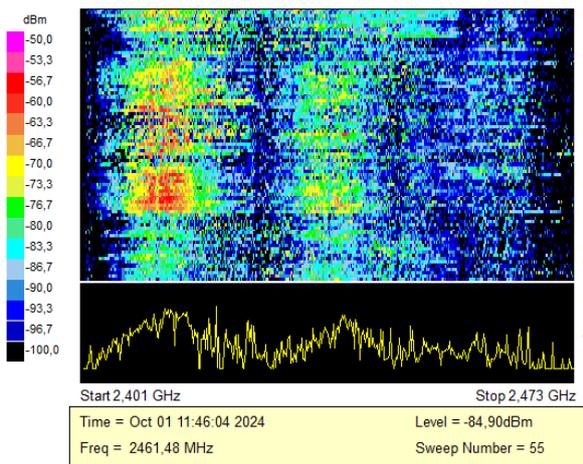
Punto 11

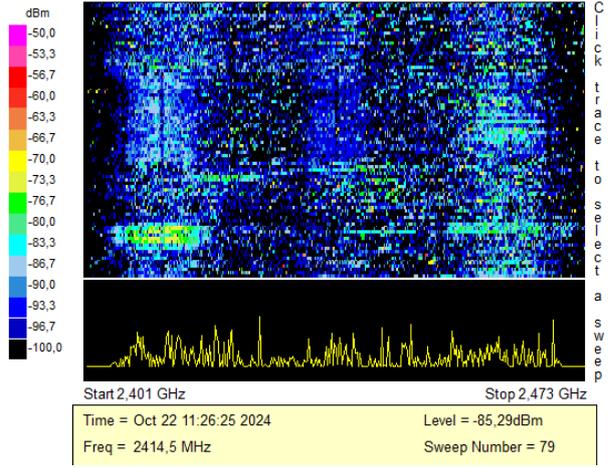
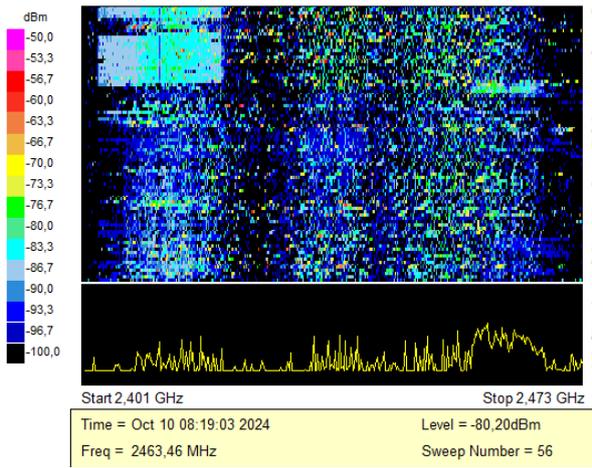


## Punto 12

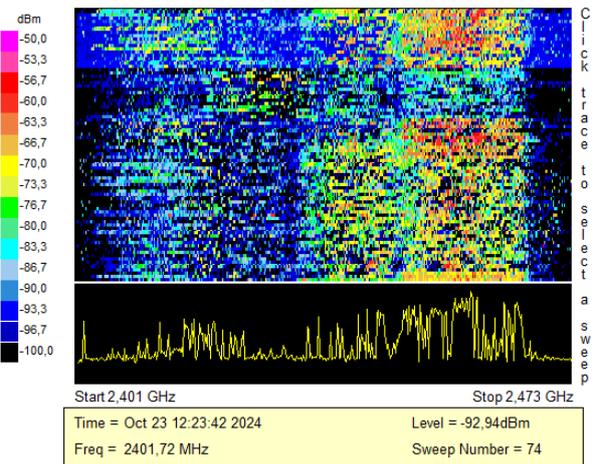
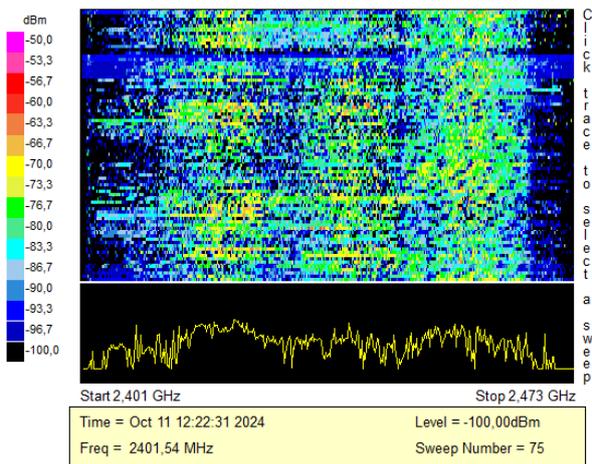
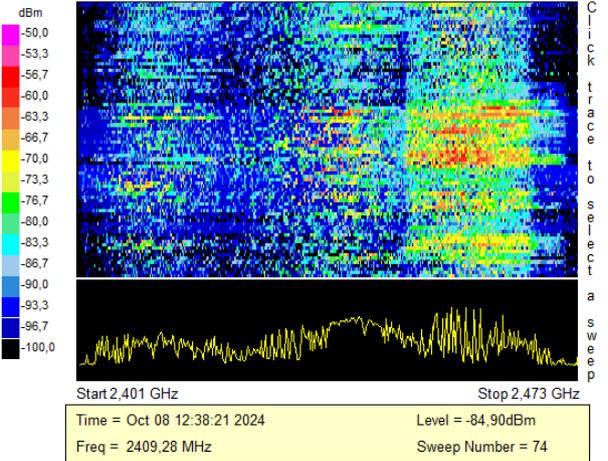
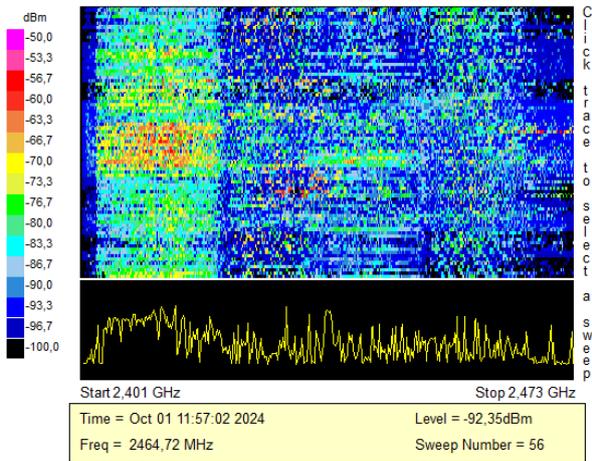


## Punto 13

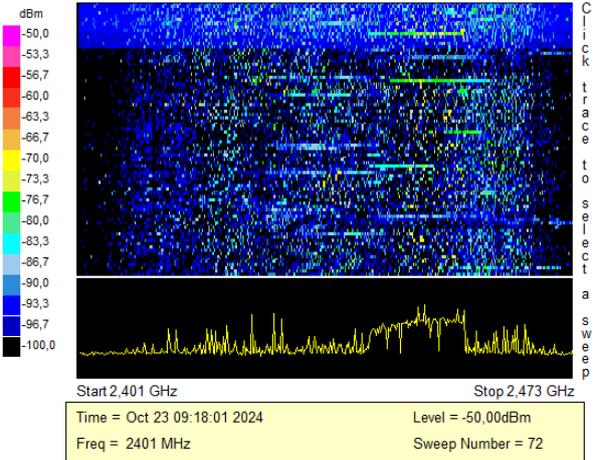
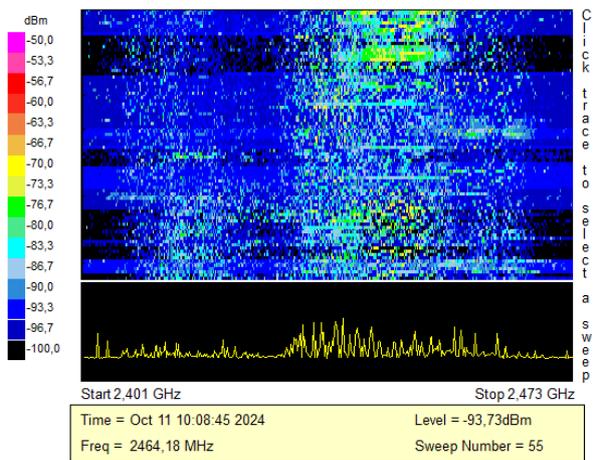
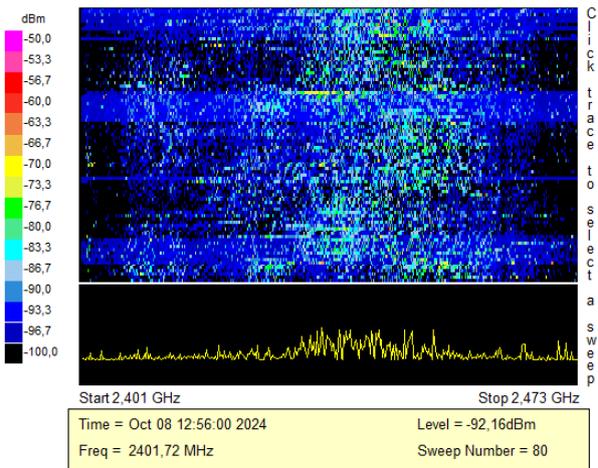
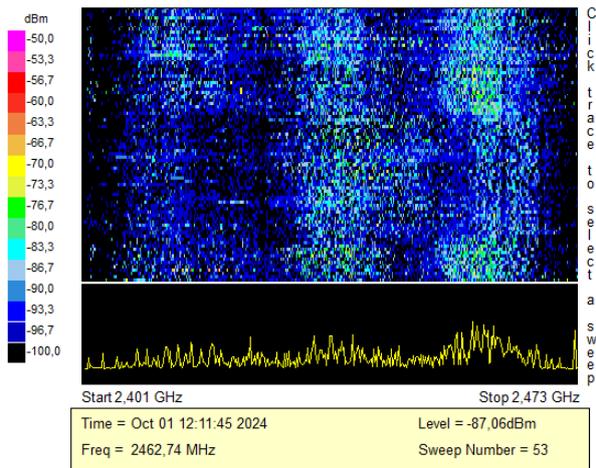




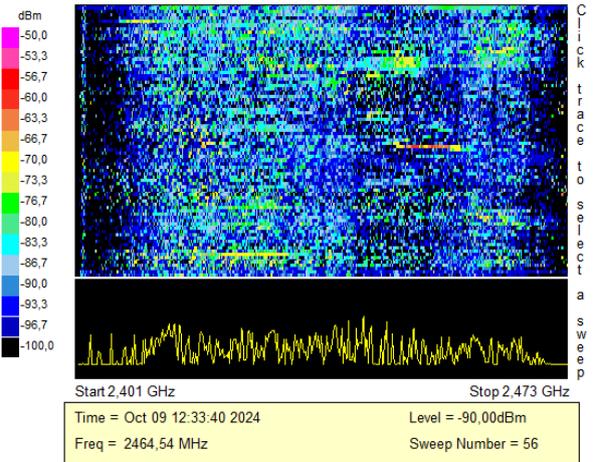
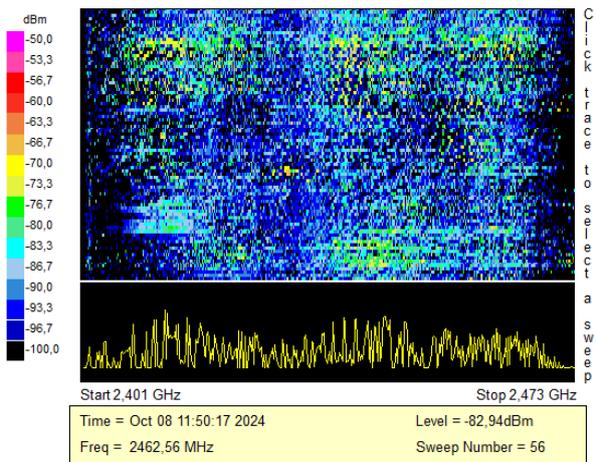
### Punto 14

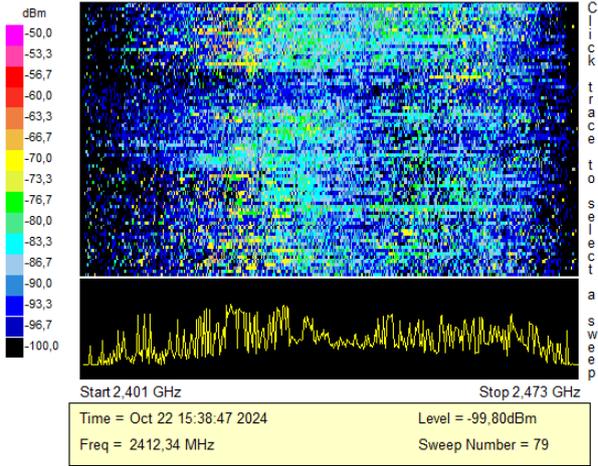
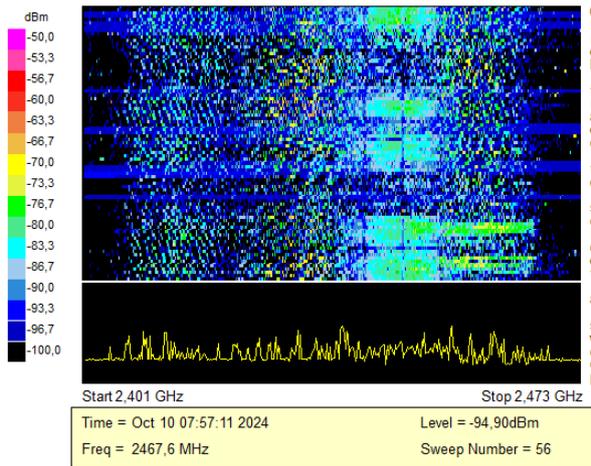


## Punto 15

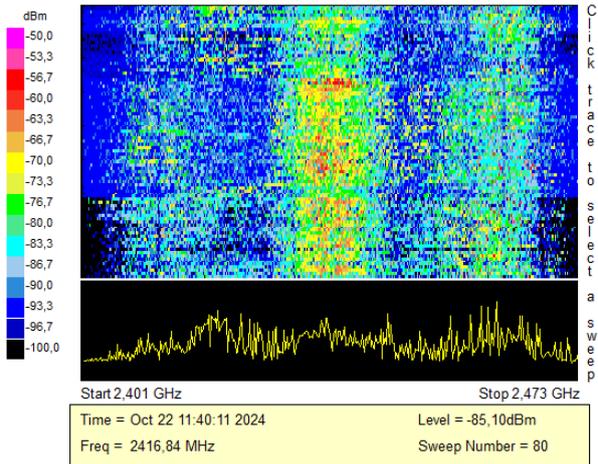
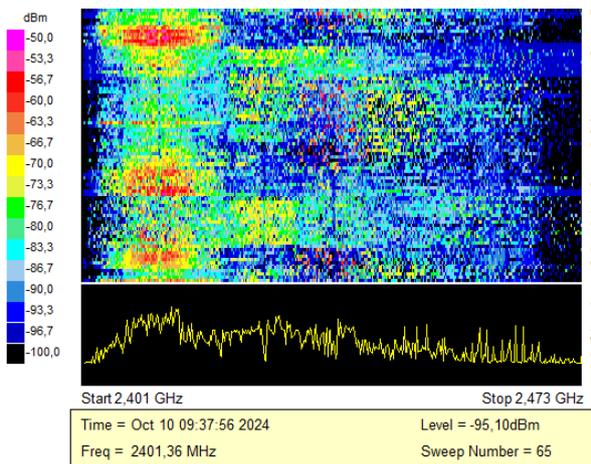
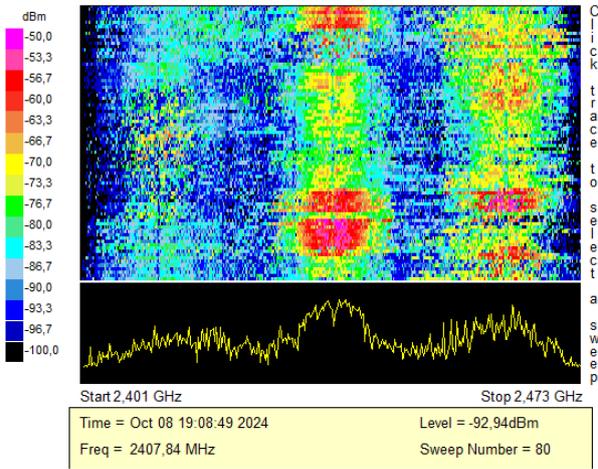
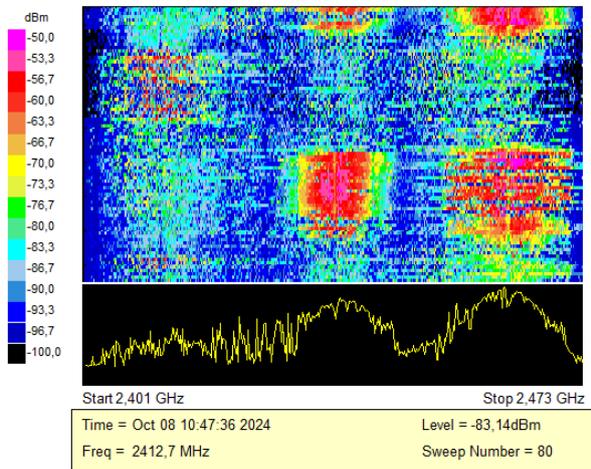


## Punto 16

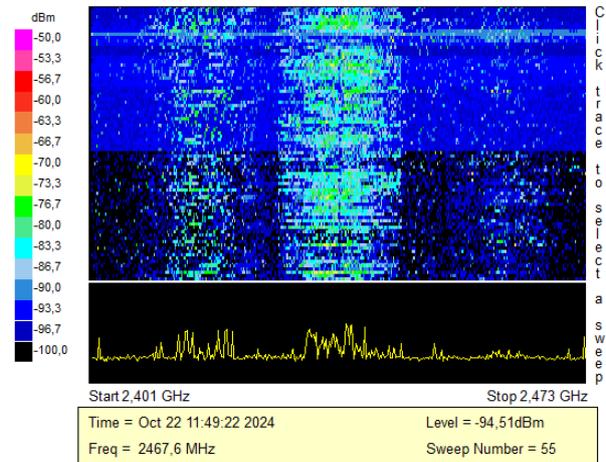
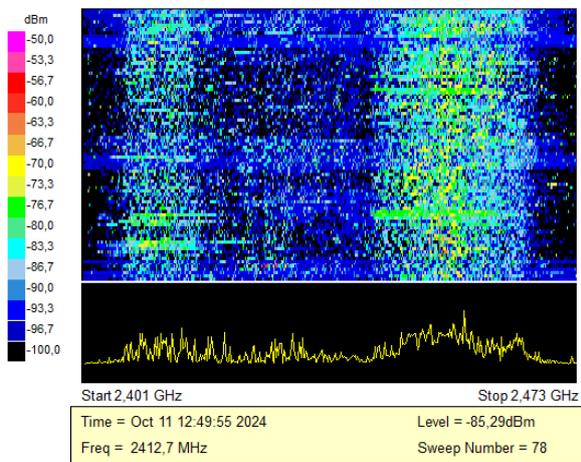
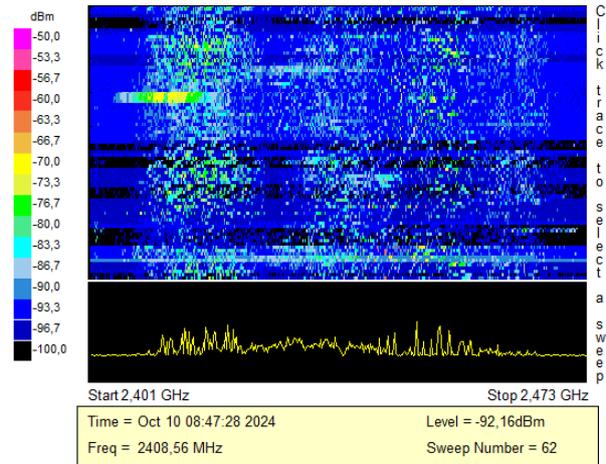
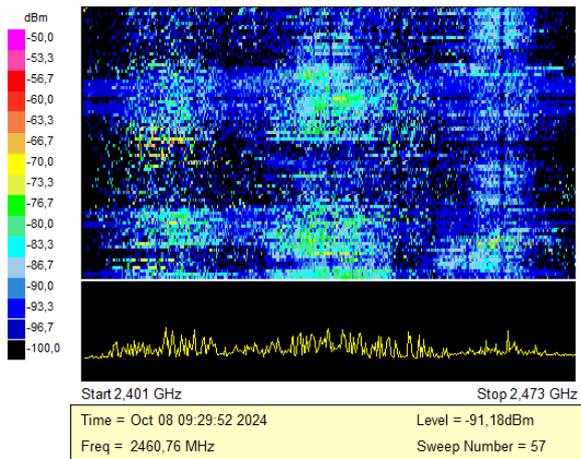




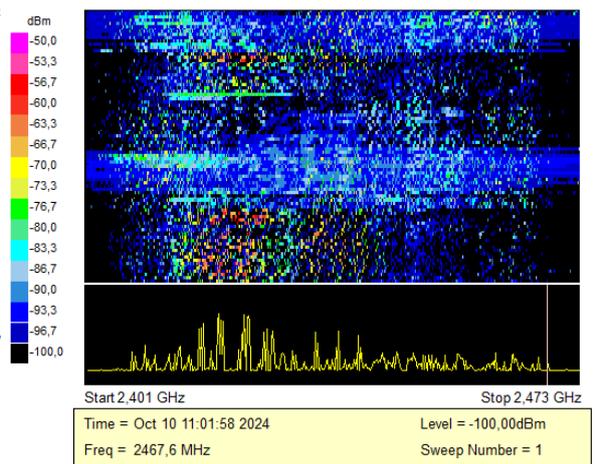
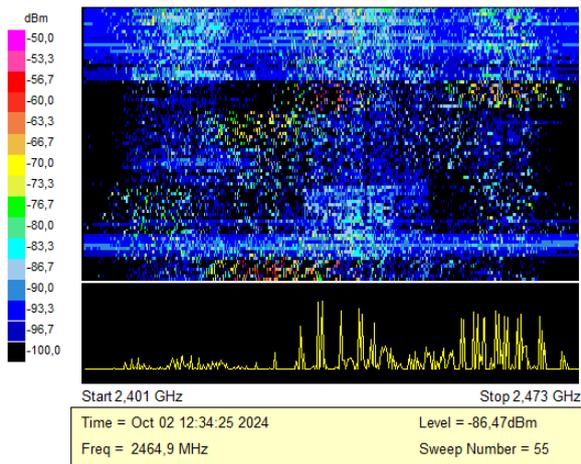
### Punto 17

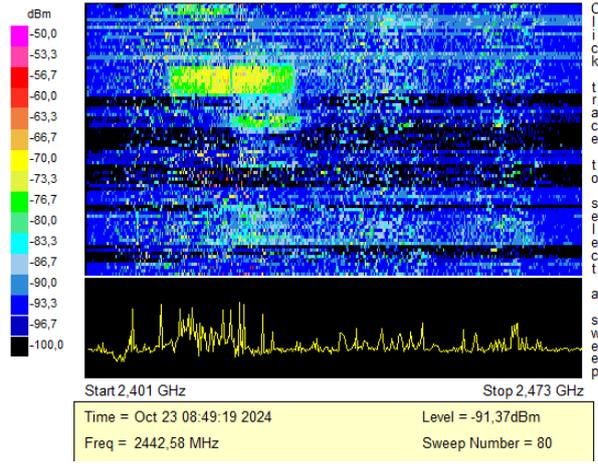
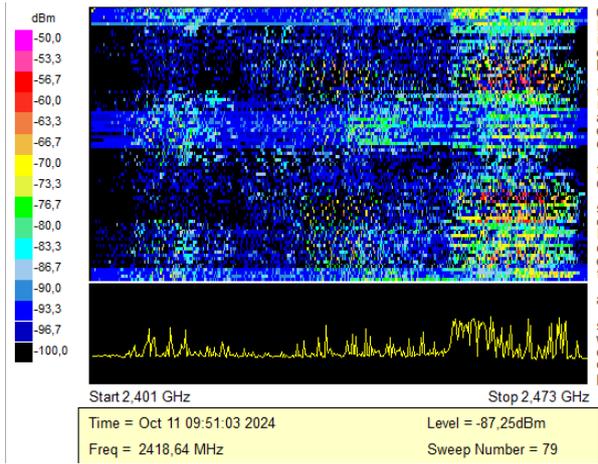


## Punto 18

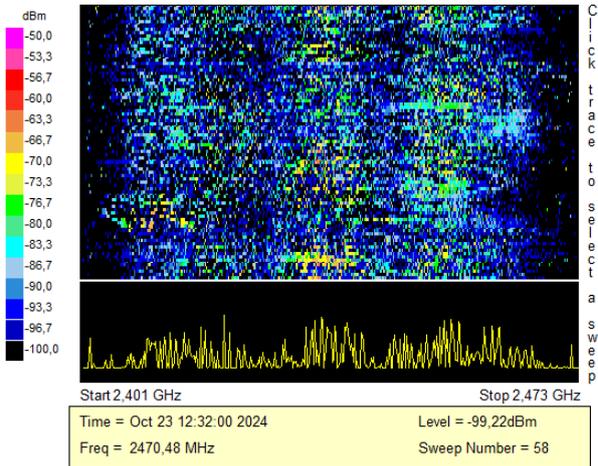
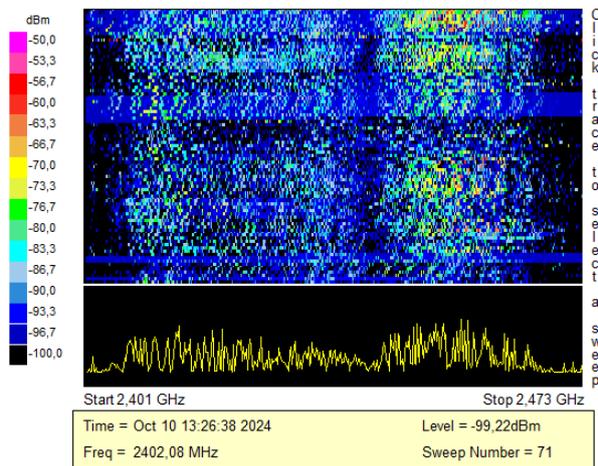
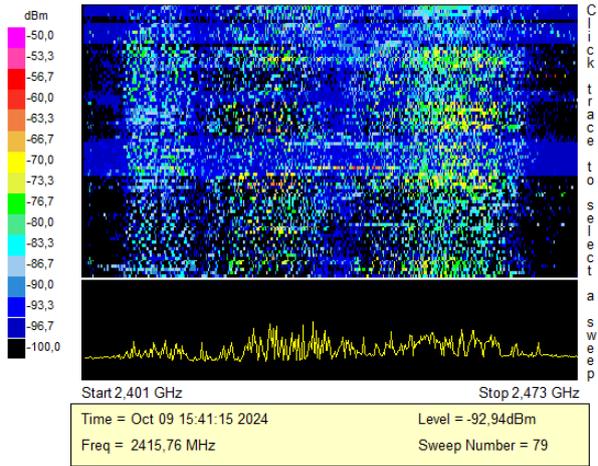
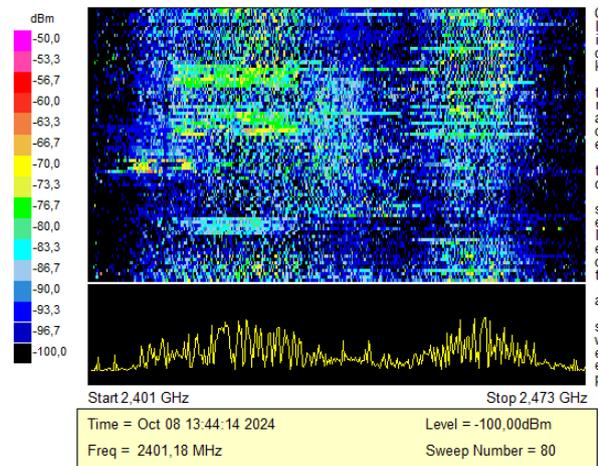


## Punto 19

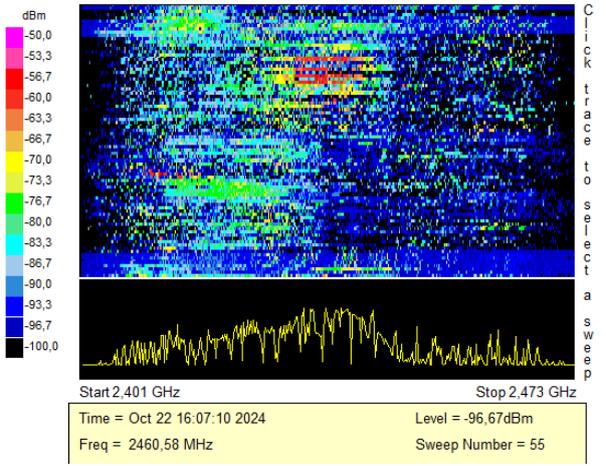
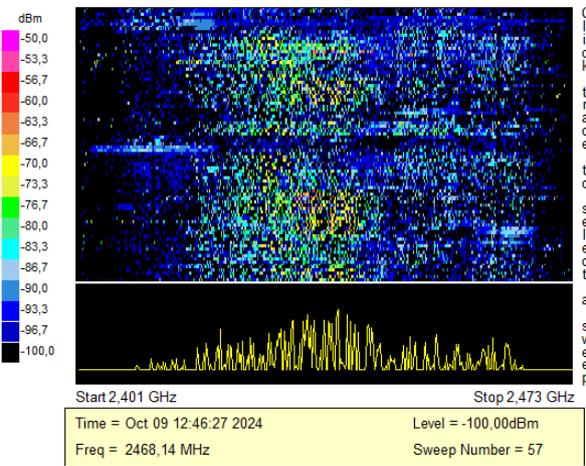
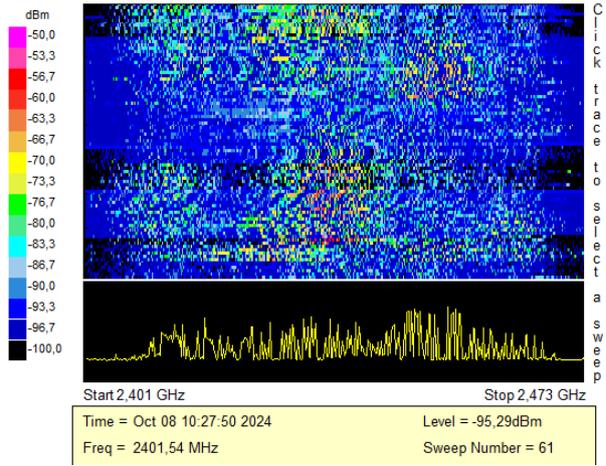
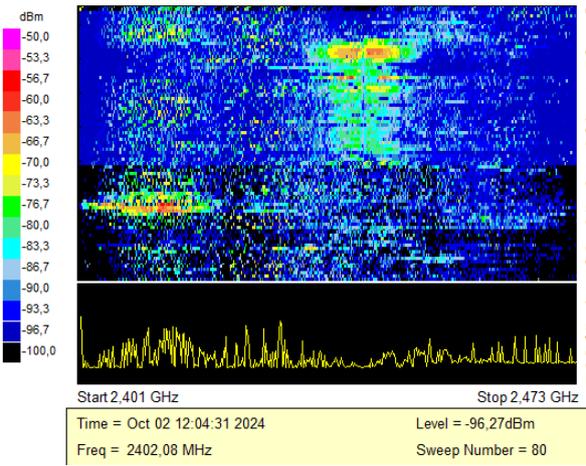




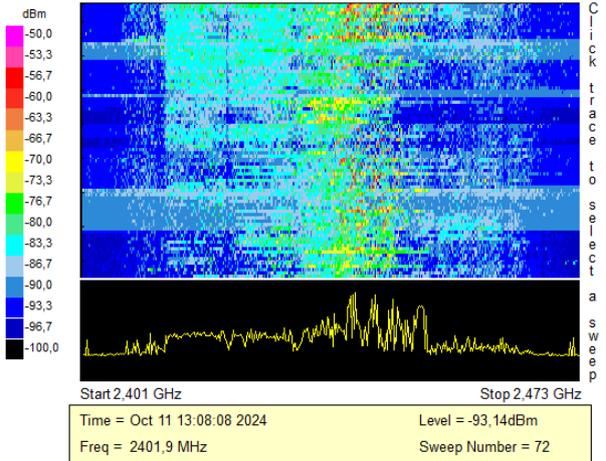
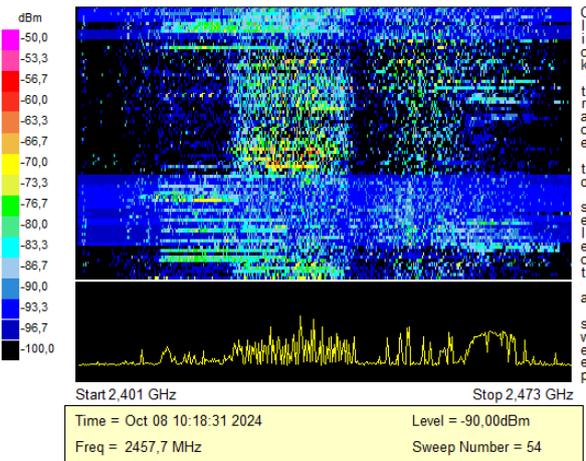
Punto 20

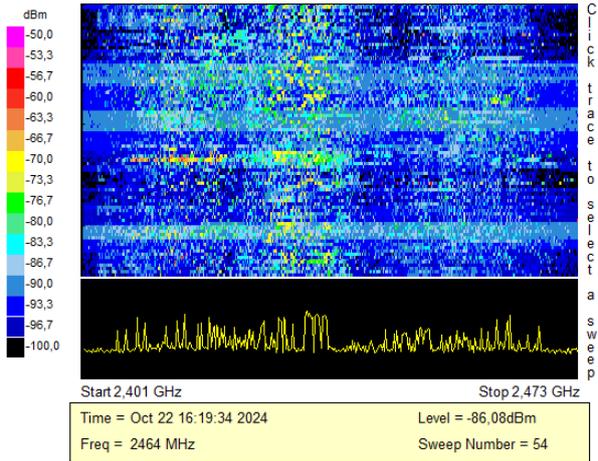
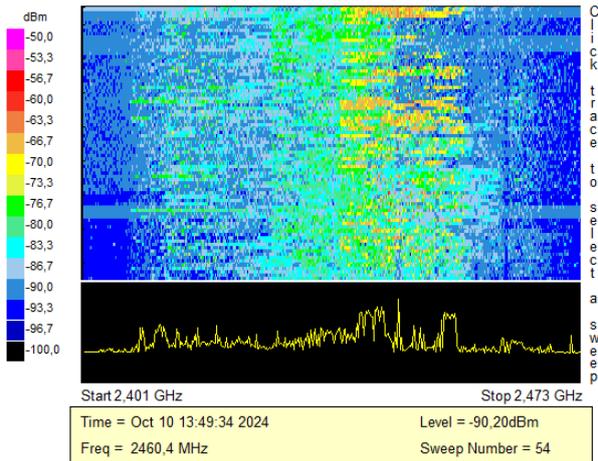


## Punto 21

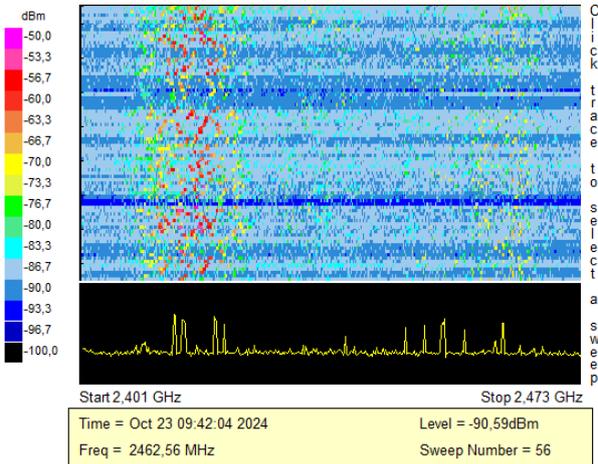
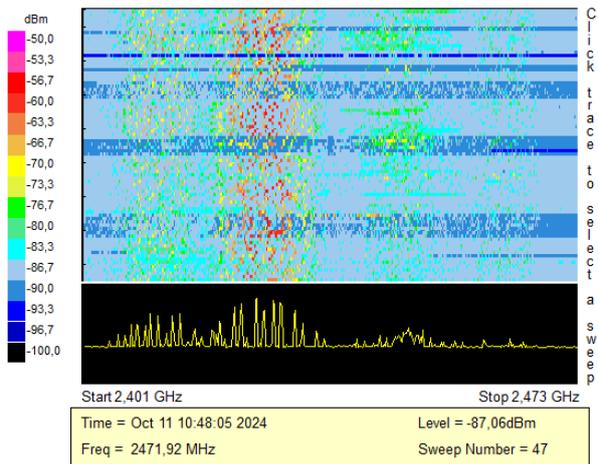
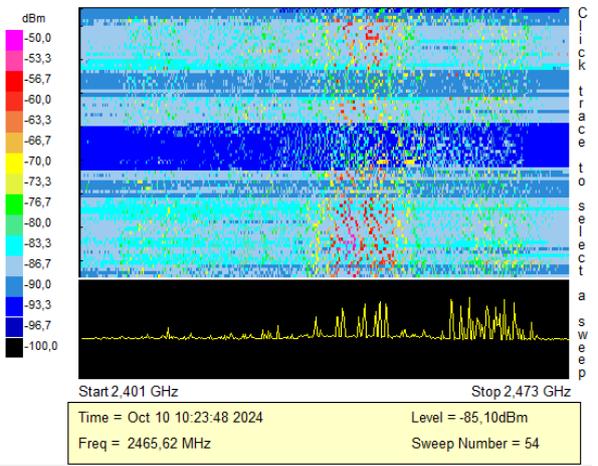
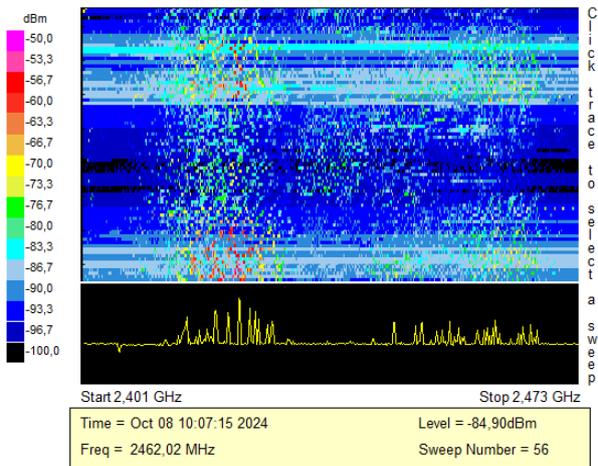


## Punto 22

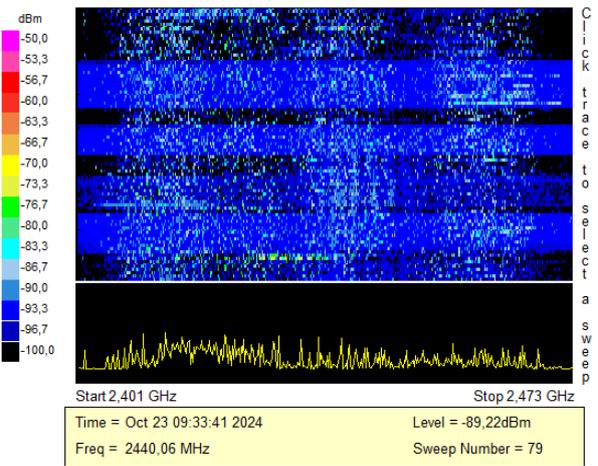
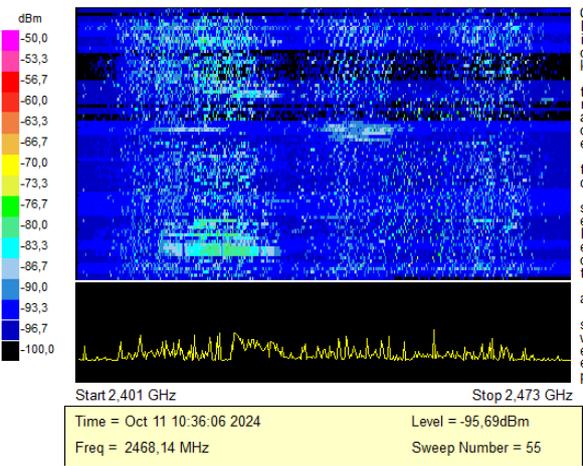
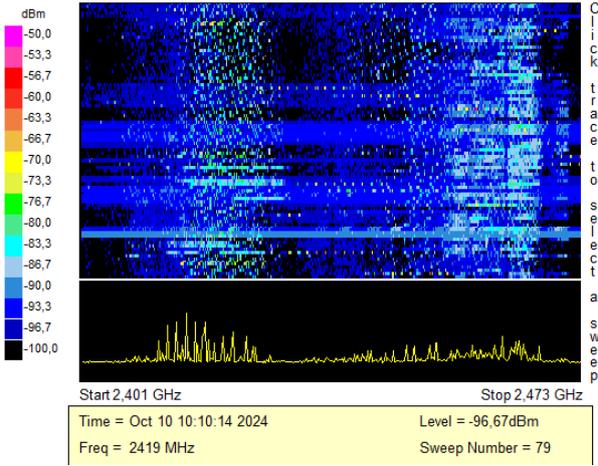
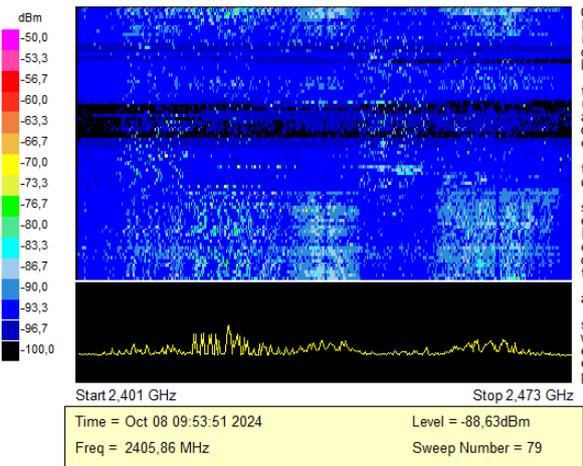




### Punto 23



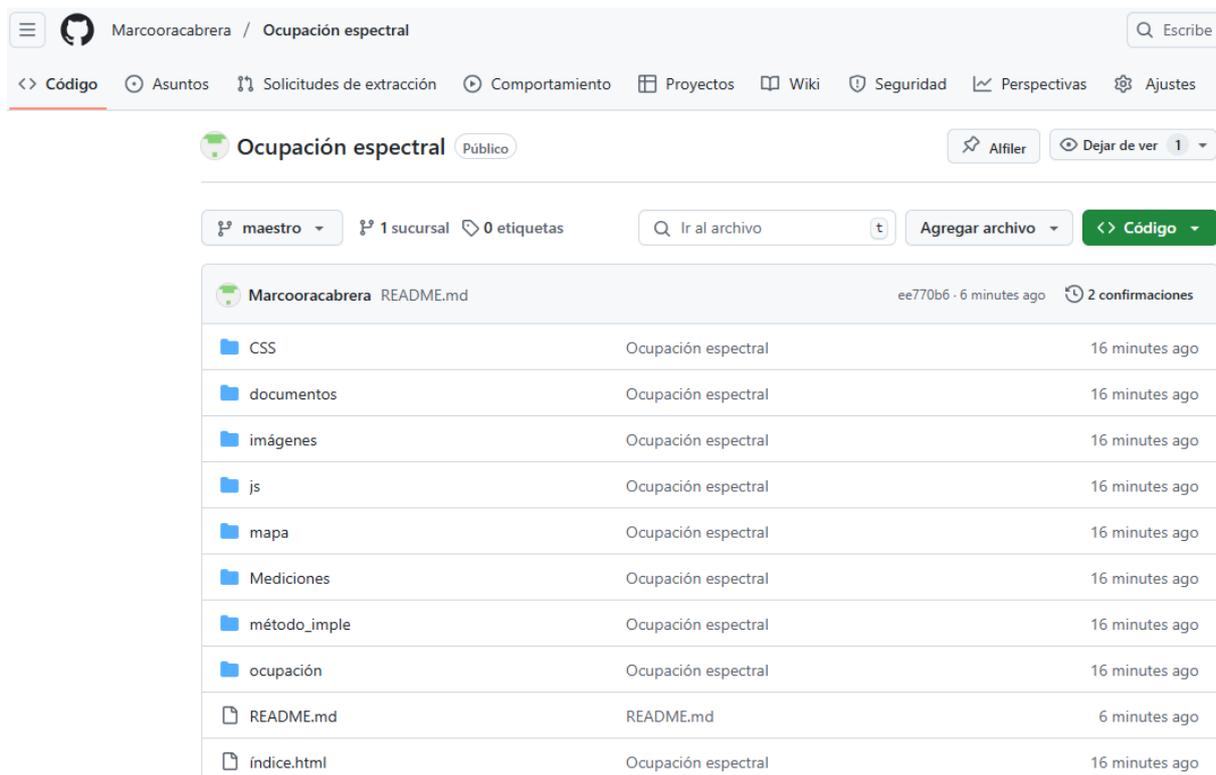
# Punto 24



## Anexo 8: Repositorio

Los códigos del proyecto, de la página WEB están alojados en el siguiente repositorio de Github. Por favor, acceda al enlace proporcionado para acceder a los mismos.

[https://github.com/marcooracabrera/Ocupasi-n\\_espectral/tree/master](https://github.com/marcooracabrera/Ocupasi-n_espectral/tree/master)



Marcooracabrera / Ocupación espectral

<> Código Asuntos Solicitudes de extracción Comportamiento Proyectos Wiki Seguridad Perspectivas Ajustes

Ocupación espectral Público Alfiler Dejar de ver 1

maestro 1 sucursal 0 etiquetas Ir al archivo t Agregar archivo <> Código

Nombre	Descripción	Fecha
Marcooracabrera README.md		ee770b6 · 6 minutos ago 2 confirmaciones
CSS	Ocupación espectral	16 minutos ago
documentos	Ocupación espectral	16 minutos ago
imágenes	Ocupación espectral	16 minutos ago
js	Ocupación espectral	16 minutos ago
mapa	Ocupación espectral	16 minutos ago
Mediciones	Ocupación espectral	16 minutos ago
método_imple	Ocupación espectral	16 minutos ago
ocupación	Ocupación espectral	16 minutos ago
README.md	README.md	6 minutos ago
índice.html	Ocupación espectral	16 minutos ago

**Anexo 9:** Certificado de traducción del resumen

Loja, 26 de abril del 2025

Lic. Viviana Lourdes Chamba Soto

**DOCENTE DE LA ESCUELA DE EDUCACION BASICA “CIUDAD DE ZUMBA”**

CERTIFICO:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular: **“Estudio de la ocupación del espectro radioeléctrico en las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) para redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) con visión a la transformación de Loja como ciudad inteligente”**, autoría de Marco Vinicio Ordoñez Cabrera con CI: **1150133385** de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autorizo al interesado hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Atentamente,



-----  
VIVIANA LOURDES CHAMBA SOTO

1104855109

REGISTRO SENEYCYT N°: 1008-2016-1705958