



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“Diseño de procedimiento para la determinación del nivel de ruido en la banda no licenciada de 5GHz y recomendación de mecanismos de mitigación sustentados en una verificación experimental”

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

### **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**Presentado por:**

**MICHELLE DENISSE FIERRO CERÓN**

**MICHELLE STEPHANIE PÉREZ PANCHANA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2018**

## DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia, quienes han sido mi mayor motivación para concluir con una gran meta, pero sobre todo por el inmenso amor que me brindan y por la formación en valores que me han hecho crecer como profesional.

Michelle Denisse Fierro Cerón

A Dios y especialmente a mi familia, por llenarme de tanto amor y ser el pilar fundamental de mi vida. A mis padres por demostrarme siempre su cariño y apoyo en cada momento, a mis tías por ser mis mejores consejeras e inculcarme los valores más importantes desde pequeña, a mi abuelita quien me ha cuidado siempre y ha hecho de mí la persona que soy hoy. Finalmente, a mi abuelito, quien desde el cielo ha sido mi motor, motivación y ejemplo en cada paso que doy.

Michelle Stephanie Pérez Panchana

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirme culminar una etapa de mi vida y lograr mi más ansiada meta. Agradezco el apoyo constante de mis padres, abuelitos y hermano, quienes han estado en los momentos más difíciles, pero también en los más felices durante mi vida universitaria. A mis profesores y amigos, en especial al Ing. Washington Medina, Félix Moncayo y César Yépez, ya que han sido una base fundamental para lograr con el objetivo del presente proyecto.

Michelle Denisse Fierro Cerón

Agradezco a Dios por todas sus bendiciones, por ser mi fortaleza y haberme brindado la sabiduría necesaria para culminar con éxito esta etapa. A mi familia, por apoyarme siempre incondicionalmente en todo momento. A mis profesores, en particular quisiera dar las gracias al Ing. César Yépez quien, con sus amplios conocimientos, fue una guía fundamental para el desarrollo de este trabajo. De igual manera al Ing. Washington Medina, quien con sus consejos y correcciones me ayudó a culminar satisfactoriamente este proyecto.

Michelle Stephanie Pérez Panchana

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

\_\_\_\_\_  
Michelle Denisse  
Fierro Cerón

\_\_\_\_\_  
Michelle Stephanie  
Pérez Panchana

# EVALUADORES

---

**Washington Medina Moreira, Mag.**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Félix Moncayo Rea, Ing.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El propósito de este proyecto es realizar un diseño del procedimiento para la determinación del nivel de ruido en la banda de 5GHz sobre una torre de telecomunicaciones en Cerro Azul; y, en base a las observaciones realizadas, proponer mecanismos de mitigación para contrarrestarlo. En el capítulo 1 se detalla la problemática, los objetivos y el alcance del proyecto.

El capítulo 2 se basa en el marco teórico; en él se destacan las definiciones más importantes relacionadas con el proyecto, tales como la diferencia entre ruido e interferencia, los tipos de torres de telecomunicaciones y las causas principales del ruido en la banda ISM de 5GHz.

En el capítulo 3 se detalla el proceso de la metodología, el escenario físico y su ubicación, la topología de red, los pasos para la adquisición de datos mediante un diagrama de flujo, sus variables, las características del equipo de medición y la manera de utilizar un software para realizar un radio enlace.

Finalmente, el capítulo 4 muestra los resultados obtenidos. Se presentan gráficas con el comportamiento del ruido sobre distintos escenarios, diferenciables por altura o dirección; a partir de esto se plantean técnicas para evitar o reducir el nivel de ruido sobre la banda ISM de 5GHz.

**Palabras Clave:** Ruido, Cerro Azul, Interferencia, Banda ISM.

## **ABSTRACT**

*The purpose of this project is to design a procedure for the determination of the noise level on the 5GHz band on a telecommunications tower in Cerro Azul. And based on the observations, propose mitigation mechanisms to reduce it. Chapter 1 details the problems, objectives and scope of the project.*

*Chapter 2 is based on the theoretical framework; the types of telecommunication towers and the main causes of noise in the 5GHz ISM band.*

*Chapter 3 details the whole process of the methodology, the physical place and its location, the network topology, the steps of data acquisition through a flow diagram and its variables, the characteristics of the device and how to use a software to simulate a radio link.*

*Finally, Chapter 4 shows the results obtained. There are graphs that show the noise behavior on different situations, either by height or direction. From these data, some techniques are proposed to avoid and reduce the noise level on the 5GHz ISM band.*

*Keywords: Noise, Cerro Azul, Interference, ISM Band.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Descripción del problema .....	2
1.2 Justificación del problema .....	3
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Estado del arte .....	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Metodología.....	6
CAPÍTULO 2.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Radioenlaces.....	8
2.1.1 Radioenlaces por microondas.....	8
2.1.2 Parámetros principales de un radioenlace .....	9
2.1.3 Antenas.....	10
2.1.4 Torres de telecomunicaciones .....	12
2.2 Espectro radioeléctrico .....	14
2.2.1 Definición .....	14

2.2.2	Bandas ISM .....	16
2.2.3	Plan Nacional de Frecuencias .....	16
2.3	Ruido .....	18
2.3.1	Clasificación del Ruido.....	18
2.3.2	Tipos de Ruido.....	18
2.4	Interferencias.....	20
2.4.1	Tipos de interferencias.....	21
2.5	Diferencia entre interferencia y ruido.....	23
2.6	Causantes principales del ruido en la banda de 5GHz.....	23
2.6.1	Señales de Radio o TV con gran potencia.....	23
2.6.2	Equipos que transmiten sobre la misma banda de frecuencia o canal .....	24
2.6.3	Sistemas de Radar .....	24
2.7	El Analizador espectral.....	24
CAPÍTULO 3.....		25
3.	DISEÑO METODOLÓGICO .....	25
3.1	Introducción.....	25
3.2	Descripción del escenario .....	25
3.3	Equipo de medición .....	27
3.4	Adquisición de datos .....	28
3.4.1	Topología física del sistema de adquisición de datos .....	28
3.4.2	Configuración del equipo como “Analizador Espectral” .....	29
3.4.3	Parámetros por modificar para las mediciones del piso de ruido.....	33
3.4.4	Procedimiento para la adquisición de datos .....	33
3.4.5	Modelo de mediciones capturadas .....	36
3.5	Implementación de las recomendaciones .....	37
3.5.1	LINKPlanner.....	37

CAPÍTULO 4.....	40
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	40
4.1 Análisis general de cada escenario .....	41
4.2 Comportamiento del ruido a distintas alturas en función de la orientación equipo .....	42
4.2.1 Interpretación a 15 metros de altura .....	50
4.2.2 Interpretación a 25 metros de altura .....	60
4.2.3 Interpretación a 35 metros de altura .....	68
4.3 Comportamiento del ruido en diferentes momentos del día .....	76
4.4 Estrategias que permiten reducir los efectos del ruido .....	77
4.4.1 Técnicas para mitigar el piso de ruido .....	77
4.4.2 Técnicas para subsistir ante la presencia del ruido .....	78
4.5 Verificación experimental mediante simulación .....	81
4.5.1 Simulación sin considerar los mecanismos de mitigación recomendados .....	82
4.5.2 Simulación considerando los mecanismos de mitigación recomendados .....	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXOS.....	90

## **ABREVIATURAS**

AP	Access Point
ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GESP	Grupo de Espectro
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
IP	Internet Protocol
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ITU-R	International Telecommunication Union
MCS	Modulation and Coding Scheme
PC	Computadora Personal
PNF	Plan Nacional de Frecuencias
QOS	Quality of Service
RF	Radiofrecuencia
SNR	Relación señal a ruido

## SIMBOLOGÍA

°	Grados
dB	Decibelio
dBi	Decibel isotrópico
dBm	Decibelio milivatio
m	Metro
KHz	Kilohercio
MHz	Megahercio
GHz	Gigahercio

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de un Radioenlace [11].....	8
Figura 2.2 Patrón de Radiación en 3D [18] .....	11
Figura 2.3 Patrón de Radiación de una Antena Directiva [19].....	12
Figura 2.4 Tipos de Polarización [20] .....	12
Figura 2.5 Tipos de Torres de Telecomunicaciones [22].....	14
Figura 2.6 Distribución del Espectro Radioeléctrico [25] .....	15
Figura 3.1 Torres de Telecomunicaciones en Cerro Azul.....	25
Figura 3.2 Caseta B39 en Cerro Azul.....	26
Figura 3.3 Coordenadas y ubicación de la caseta B39 .....	26
Figura 3.4 Equipo "ePMP Force 180" de Cambium Networks.....	27
Figura 3.5 Esquema de medición .....	28
Figura 3.6 Configuración de la IP de la PC .....	29
Figura 3.7 Interfaz de acceso al equipo.....	30
Figura 3.8 Configuración como Analizador Espectral.....	30
Figura 3.9 Descarga del programa "Spectrum Analyzer" .....	31
Figura 3.10 Analizador Espectral de Cambium Networks .....	31
Figura 3.11 Adquisición de datos en el rango de 5000 – 5200 [MHz] .....	32
Figura 3.12 Diagrama de flujo para medición del piso de ruido.....	35
Figura 3.13 Gráfica modelo de medición del piso de ruido.....	36
Figura 3.14 Importación de las coordenadas del sistema transmisor y receptor .....	37
Figura 3.15 Ubicación de transmisor y receptor .....	38
Figura 3.16 Ventana que muestra los parámetros del equipo .....	38
Figura 3.17 Configuración de equipos transmisores y receptores.....	39
Figura 4.1 Orientación de los sectores de Guayaquil .....	40
Figura 4.2 Patrón del comportamiento del ruido a 0° .....	44
Figura 4.3 Patrón del comportamiento del ruido a 30° .....	44
Figura 4.4 Patrón del comportamiento del ruido a 60° .....	45
Figura 4.5 Patrón del comportamiento del ruido a 90° .....	45
Figura 4.6 Patrón del comportamiento del ruido a 120°.....	46
Figura 4.7 Patrón del comportamiento del ruido a 150°.....	46
Figura 4.8 Patrón del comportamiento del ruido a 180°.....	47
Figura 4.9 Patrón del comportamiento del ruido a 210°.....	47

Figura 4.10 Patrón del comportamiento del ruido a 240°.....	48
Figura 4.11 Patrón del comportamiento del ruido a 270°.....	48
Figura 4.12 Patrón del comportamiento del ruido a 300°.....	49
Figura 4.13 Patrón del comportamiento del ruido a 330°.....	49
Figura 4.14 Ubicación a 15 metros sobre la torre.....	50
Figura 4.15 Escenario espectral a 15 metros orientado a 90° con nivel de potencia de ruido de -20 dBm aproximadamente .....	50
Figura 4.16 Escenario espectral a 15 metros orientado a 210° con nivel de potencia de ruido de -50 dBm aproximadamente. ....	51
Figura 4.17 Escenario espectral a 15 metros orientado a 330° con nivel de potencia de ruido de -65 dBm aproximadamente .....	51
Figura 4.18 Escenario espectral a 90° en el rango de 5000 - 5200 MHz. ....	52
Figura 4.19 Escenario espectral a 90° en el rango de 5200 - 5400 MHz. ....	53
Figura 4.20 Escenario espectral a 90° en el rango de 5400 - 5600 MHz. ....	53
Figura 4.21 Escenario espectral a 90° en el rango de 5600 - 5800 MHz. ....	54
Figura 4.22 Escenario espectral a 90° en el rango de 5800 - 5970 MHz. ....	54
Figura 4.23 Escenario espectral a 240° en el rango de 5000 - 5200 MHz. ....	55
Figura 4.24 Escenario espectral a 240° en el rango de 5200 - 5400 MHz. ....	55
Figura 4.25 Escenario espectral a 240° en el rango de 5400 - 5600 MHz. ....	56
Figura 4.26 Escenario espectral a 240° en el rango de 5600 - 5800 MHz. ....	56
Figura 4.27 Escenario espectral a 240° en el rango de 5800 - 5970 MHz. ....	57
Figura 4.28 Escenario espectral a 270° en el rango de 5000 - 5200 MHz. ....	57
Figura 4.29 Escenario espectral a 270° en el rango de 5200 - 5400 MHz. ....	58
Figura 4.30 Escenario espectral a 270° en el rango de 5400 - 5600 MHz. ....	58
Figura 4.31 Escenario espectral a 270° en el rango de 5600 - 5800 MHz. ....	59
Figura 4.32 Escenario espectral a 270° en el rango de 5800 - 5970 MHz. ....	59
Figura 4.33 Ubicación a 25 metros sobre la torre.....	60
Figura 4.34 Escenario espectral a 25 metros orientado a 270° con nivel de potencia de ruido de -25 dBm aproximadamente. ....	61
Figura 4.35 Escenario espectral a 25 metros orientado a 300° con nivel de potencia de ruido de -60 dBm aproximadamente. ....	61
Figura 4.36 Escenario espectral a 25 metros orientado a 360° con nivel de potencia de ruido de -75 dBm aproximadamente. ....	62

Figura 4.37 Escenario espectral a 240° en el rango de 5000 - 5200 MHz. ....	63
Figura 4.38 Escenario espectral a 240° en el rango de 5200 - 5400 MHz. ....	63
Figura 4.39 Escenario espectral a 240° en el rango de 5400 - 5600 MHz. ....	64
Figura 4.40 Escenario espectral a 240° en el rango de 5600 - 5800 MHz. ....	64
Figura 4.41 Escenario espectral a 240° en el rango de 5800 - 5970 MHz. ....	65
Figura 4.42 Escenario espectral a 270° en el rango de 5000 - 5200 MHz. ....	65
Figura 4.43 Escenario espectral a 270° en el rango de 5200 - 5400 MHz. ....	66
Figura 4.44 Escenario espectral a 270° en el rango de 5400 - 5600 MHz. ....	66
Figura 4.45 Escenario espectral a 270° en el rango de 5600 - 5800 MHz. ....	67
Figura 4.46 Escenario espectral a 270° en el rango de 5800 - 5970 MHz. ....	67
Figura 4.47 Ubicación a 35 metros sobre la torre.....	68
Figura 4.48 Escenario espectral a 35 metros orientado a 210° con nivel de potencia de ruido de -55 dBm aproximadamente. ....	69
Figura 4.49 Escenario espectral a 35 metros orientado a 180° con nivel de potencia de ruido de -70 dBm aproximadamente. ....	69
Figura 4.50 Escenario espectral a 35 metros orientado a 360° con nivel de potencia de ruido de -75 dBm aproximadamente. ....	70
Figura 4.51 Escenario espectral a 210° en el rango de 5000 - 5200 MHz. ....	71
Figura 4.52 Escenario espectral a 210° en el rango de 5200 - 5400 MHz. ....	71
Figura 4.53 Escenario espectral a 210° en el rango de 5400 - 5600 MHz. ....	72
Figura 4.54 Escenario espectral a 210° en el rango de 5600 - 5800 MHz. ....	72
Figura 4.55 Escenario espectral a 210° en el rango de 5800 - 5970 MHz. ....	73
Figura 4.56 Escenario espectral a 300° en el rango de 5000 - 5200 MHz. ....	73
Figura 4.57 Escenario espectral a 300° en el rango de 5200 - 5400 MHz. ....	74
Figura 4.58 Escenario espectral a 300° en el rango de 5400 - 5600 MHz. ....	74
Figura 4.59 Escenario espectral a 300° en el rango de 5600 - 5800 MHz. ....	75
Figura 4.60 Escenario espectral a 300° en el rango de 5800 - 5970 MHz. ....	75
Figura 4.61 Simulación utilizando la potencia máxima y menor directividad .....	82
Figura 4.62 Simulación utilizando la potencia mínima y mayor directividad .....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Bandas de frecuencias del Espectro Radioeléctrico [24].....	15
Tabla 2.2 Bandas ISM o No Licenciadas [24].....	16
Tabla 2.3 Atribución de la banda de 5GHz en el Ecuador [24].....	17
Tabla 3.1 Parámetros del equipo de medición [36] .....	27
Tabla 3.2 Variables del sistema de medición .....	33
Tabla 3.3 Variables pertenecientes a la gráfica modelo de medición del piso de ruido.	36
Tabla 4.1 Orientación de los sectores de Guayaquil .....	41
Tabla 4.2 Porcentaje de saturación de la banda de 5 GHz según la dirección.....	43
Tabla 4.3 Direcciones y sectores críticos a 15 metros .....	52
Tabla 4.4 Frecuencias críticas a 15 metros.....	60
Tabla 4.5 Direcciones y sectores críticos a 25 metros. ....	62
Tabla 4.6 Frecuencias críticas a 25 metros.....	68
Tabla 4.7 Direcciones y sectores críticos a 35 metros. ....	70
Tabla 4.8 Frecuencias críticas a 35 metros.....	76
Tabla 4.9 Esquema MCS [37].....	78
Tabla 4.10 Frecuencias que presentan bajos niveles de ruido.....	79
Tabla 4.11 Límites de transmisión en la banda de 5GHz. [38] .....	80

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones han sido la base fundamental para transmitir señales a largas distancias permitiendo el intercambio de información entre dos o más puntos; siendo el transmisor, receptor y el medio los componentes principales en un sistema de comunicación. Es importante destacar que, por varias razones, existe la posibilidad de que el mensaje transmitido no sea recibido de manera correcta y una de estas causas es la interferencia. [1]

Cuando se requiere que un sistema de comunicación sea eficaz, se necesita la existencia de línea de vista entre la antena transmisora y receptora, por esta razón es esencial colocarlas en lugares altos como lomas o cerros, donde la elevación es importante para lograr una excelente cobertura.

No obstante, existe la posibilidad de que muchos de estos equipos estén ubicados dentro de una misma área, generando zonas de congestión del espectro radioeléctrico, ruido e interferencias. Esta situación causa alteración entre las señales transmitidas y provocan un déficit de calidez de servicio a los clientes por parte de su proveedor.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene como finalidad diseñar un procedimiento para cuantificar la intensidad del nivel de ruido y a su vez se propondrán mecanismos que permitan mitigar este problema generado por múltiples antenas transmisoras sobre una misma zona en un cerro de la ciudad de Guayaquil que presente saturación del espectro radioeléctrico.

## 1.1 Descripción del problema

En los sistemas de comunicaciones, uno de los principales factores que afectan las señales que se desean transmitir es el ruido externo en dicho canal ya que tiende a transformar o disfrazar la información, afectando directamente el ancho de banda utilizado. El nivel de ruido en los canales de telecomunicaciones se presenta debido a distintas causas y no hay manera de eliminarlo por completo, aun así, es posible aminorar sus efectos para entregar una mejor calidad de servicio al usuario final [2].

Cerro Azul es el cerro más elevado que existe en la ciudad de Guayaquil, cuenta con una altura aproximadamente de 507 metros [3], convirtiéndolo en uno de los lugares predilectos para la ubicación de sistemas transmisores, a fin de obtener una buena cobertura de las señales emitidas. De la observación que se hace, se puede notar que podría existir una acumulación excesiva de dispositivos en determinadas torres de telecomunicaciones; por esta razón se estima que el nivel de ruido debe ser muy alto.

Celeritel Solutions, empresa proveedora de servicios de internet, indica que, en efecto, últimamente se ha incrementado la cantidad de transmisores en Cerro Azul lo que provocaría una congestión del espectro radioeléctrico en las bandas no licenciadas, aumentando considerablemente el nivel de ruido, generando deterioro de QoS (Quality of Service), latencia, pérdida parcial o total de la conexión. Por estas razones, Celeritel no puede expandir su cobertura ni brindar servicio a más clientes por la cantidad de ruido existente que ocasiona la incapacidad de brindar el ancho de banda solicitado [4].

A través del espectro radioeléctrico es posible ofrecer múltiples servicios de telecomunicaciones como radio, televisión, datos e internet y son dichos servicios los que se ven afectados pese a tener una importancia considerable a la contribución del desarrollo del país. El internet posee la mayor demanda de usuarios con una cantidad promedio de 13,5 millones de beneficiarios en el país [5].

El problema antes expuesto afecta a las bandas ISM, bandas libres para uso comercial; sin embargo, el enfoque del proyecto va destinado a la frecuencia de 5GHz.

## **1.2 Justificación del problema**

Según el INEC, en el 2017 el 44% de los hogares guayaquileños reportaron tener acceso a internet [6], por lo que, se puede considerar que este servicio es uno de los más requeridos por las personas.

En base a las estadísticas obtenidas es evidente que el internet, al ser uno de los servicios más solicitados, debe mejorar la calidad de su señal y de esta manera permitir la accesibilidad a más usuarios contribuyendo al desarrollo de sus necesidades.

Adicionalmente, “Xavier Moreano, gerente nacional de marketing de Netlife, comenta que el crecimiento del internet en Ecuador sigue siendo uno de los recursos más elementales para el desarrollo de la sociedad y que es importante trabajar en eliminar las brechas digitales, permitiendo la accesibilidad en todos los sectores del país” [7].

La importancia de realizar el presente trabajo consiste en exponer mecanismos que permitan aminorar las deficiencias que trae consigo el ruido generado por equipos externos en las bandas de acceso libre. Con éxito se lograrán resolver falencias como: la disminución de la cobertura debido a los equipos interferidos, la intermitencia del tráfico de la señal, baja velocidad de transferencia de datos, latencia, entre otros.

Los problemas mencionados anteriormente se evidenciarán en base a las mediciones del ruido que se van a realizar; además se darán a conocer las frecuencias disponibles en la banda de 5GHz donde se puedan realizar enlaces óptimos. El presente trabajo puede resultar beneficioso para las empresas prestadoras del servicio de acceso a internet, puesto que se creería que con las medidas que se vayan a proponer se reducirá el ruido y consecuentemente todos

los problemas mencionados anteriormente desaparecerán, sin necesidad de incurrir en gastos adicionales.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un procedimiento para determinar y mitigar el nivel de ruido de la banda no licenciada de 5GHz en zonas de gran congestión de sistemas transmisores.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Revisar teorías sobre las causas de las interferencias en los equipos que trabajan en las bandas no licenciadas.
2. Conocer las características y el debido funcionamiento del equipo de medición a utilizar.
3. Diseñar una metodología de medición del nivel de ruido.
4. Realizar las mediciones de la intensidad del ruido de acuerdo al procedimiento planteado.
5. Recomendar estrategias que permitan mitigar el nivel del ruido en el sitio de medición.
6. Implementar mediante una simulación uno de los mecanismos de mitigación recomendados.

### **1.4 Estado del arte**

Resulta evidente que los problemas mencionados anteriormente han aumentado a partir de la migración de frecuencias de operación desde la banda de 2.4 GHz a la de 5 GHz; las interferencias y el ruido son problemas que han existido desde el inicio de las telecomunicaciones hasta la actualidad.

El grupo de espectro, parte del foro de expertos del “Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación”, en el año 2012 realizó un análisis en la cual se habla del uso de las bandas libres en España; detectando problemas como la interferencia y saturación del espectro en las torres de telecomunicaciones. Indican que las posibles causas serían la ineficiencia de los equipos tecnológicos, la falta de calidad

de servicio o inclusive el tipo de duplexación; posteriormente recomiendan algunas soluciones para reducir estos fallos [8].

En definitiva, el GESP muestra como una posible solución:

“Respecto a la acumulación de equipos en las torres de telecomunicación, los propietarios de dichas torres son también los principales perjudicados por el uso de tecnologías poco eficientes que limitan el número de equipos que podrían instalarse, por lo que su negocio de alquiler de espacio en torre se ve limitado. Convendría que explorasen un modelo de alquiler en función del espectro ocupado en lugar de un alquiler por antena o equipo instalado, pues realmente el número de equipos que la torre puede albergar no es un problema de espacio, sino de espectro disponible. Esto llevaría al uso de tecnologías más eficientes que podrían multiplicar el número de equipos que tienen cabida en una misma torre” [8].

Sin embargo, en la actualidad ya existen empresas que en base a estudios previos han encontrado la manera de elaborar dispositivos que logren reducir el nivel de ruido. Albentia Systems es una empresa española que está dedicada a diseñar, construir y vender dispositivos que presentan resistencia ante el ruido del medio [9].

Finalmente, a pesar de que existan posibles soluciones en situaciones similares, no se ha observado en la literatura científica que se haya desarrollado un estudio análogo en Cerro Azul.

## **1.5 Alcance**

El trabajo que se realizará tiene como fin examinar durante el mes de noviembre del presente año, el comportamiento espectral de la banda libre de 5GHz; las mediciones se efectuarán en la torre de telecomunicaciones ubicada en la caseta B39 de Cerro Azul, en la ciudad de Guayaquil.

Se cumplirán 3 etapas de trabajo de manera que se realicen mediciones, cada una durante un rango de tiempo de 5 a 8 minutos con el radio integrado “ePMP Force

180” en modo de analizador espectral durante 9 días; con el fin de estudiar el comportamiento del ruido tanto en horarios laborales y de descanso.

Durante las pruebas que se efectuarán posteriormente para controlar el nivel de ruido, se manipularán ciertos parámetros de algunos equipos transmisores a través de simulaciones para comprobar mecanismos de las observaciones que se realizarán.

## **1.6 Metodología**

En primer lugar, se procederá a efectuar un extensivo estudio de teorías mediante documentos, libros e investigaciones acerca de las causas de interferencias en los equipos que trabajan en las bandas no licenciadas, especialmente en zonas de congestión de sistemas transmisores.

Una vez conocidos los factores que producen aquellos problemas, se examinarán las características y el debido funcionamiento del equipo integrado “ePMP Force 180” con el fin de dominar su manejo y la modificación de sus parámetros para así finalmente utilizarlo como analizador espectral.

De este modo, se procederá a diseñar un procedimiento de medición del nivel de ruido, teniendo en cuenta ciertas medidas como: el lugar al que se tendrá acceso en Cerro Azul, la altura de la torre de telecomunicaciones, las medidas de seguridad, los materiales, el horario rotativo y los permisos necesarios para acceder a dicha zona de trabajo. El procedimiento consiste en pasos a seguir para hacer del tiempo un recurso productivo.

Posteriormente, una vez comprendidos los pasos a seguir, se realizarán las mediciones del nivel de ruido con los recursos dominados anteriormente, que son el equipo integrado y la metodología de ejecución por un periodo de 9 días en la caseta B39 de la torre de telecomunicaciones de 45 metros en Cerro Azul en la ciudad de Guayaquil.

A partir de las mediciones, se interpretarán tres gráficos: caída de agua, cantidad de señal recibida e intensidad de la señal promedio a diferentes alturas abarcando

los 360° de la zona con el fin de abarcar los datos necesarios para recomendar estrategias que logren mitigar el nivel de ruido en el sitio y llegar a conclusiones pertinentes.

Finalmente, una vez que se hayan concluido resultados, se implementará a través de simulaciones, uno de los mecanismos de mitigación recomendados a través del acceso a los parámetros y configuraciones de ciertos equipos.

# CAPÍTULO 2

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Radioenlaces

#### 2.1.1 Radioenlaces por microondas

Un radio enlace proporciona conexión entre los terminales de un sistema de telecomunicaciones en línea de vista por medio de ondas electromagnéticas. Los radioenlaces por microondas se destacan por utilizar equipos que trabajan en las bandas de frecuencia por encima de 3 GHz; se denominan “microondas” debido a que las longitudes de onda de este rango de frecuencias, pertenecientes al espectro radioeléctrico, van desde las milimétricas hasta las micrométricas [10].



**Figura 2.1 Esquema de un Radioenlace [11]**

Como se observa en la figura 2.1, un enlace vía microondas está compuesto por 3 elementos principales: transmisor, medio y receptor. El transmisor es el encargado de modular la señal digital a la frecuencia que se quiere transmitir, el medio debe ser una ruta despejada y libre entre el transmisor y receptor, finalmente el receptor es visto esencialmente como el encargado de demodular la señal recibida y transformarla nuevamente en una señal digital [12].

La principal limitante de los enlaces por microondas es la distancia entre el transmisor y el receptor; a frecuencias más bajas, entre 2 y 8 GHz, se puede llegar

a transmitir a distancias entre 30 y 45 kilómetros; mientras que las altas frecuencias, entre 12 y 23 GHz, permiten distancias hasta aproximadamente 24 kilómetros [12]. La curvatura de la Tierra es un factor determinante al momento de diseñar un enlace, puesto que a mayores distancias de cobertura existe una mayor influencia de obstáculos. Para evitar esto, se utilizan torres de telecomunicaciones que permiten elevar las antenas tanto transmisoras como receptoras manteniendo la línea de vista y evadiendo todo tipo de obstáculo que se presente en el camino [12].

Sin embargo, aun cuando esto no funciona, se pueden colocar repetidoras cuya función es aumentar el nivel de visibilidad que se pierde debido a la curvatura de la Tierra, permitiendo ampliar a más kilómetros el rango de cobertura.

## **2.1.2 Parámetros principales de un radioenlace**

### ***2.1.2.1 Transmisores***

Todo sistema transmisor está encargado de realizar ciertas funciones básicas, las cuales se detallan a continuación [13]:

- Generar una señal con la frecuencia adecuada.
- Proponer ciertas maneras de modulación, tal que la señal que posee la información pueda modificar la señal de la portadora.
- Amplificar la potencia de la señal a transmitir, de modo que sea capaz de recorrer largas distancias sin deteriorarse.

En términos generales, el transmisor puede definirse como un dispositivo electrónico que capta la señal digital que se desea transmitir para convertirla en una señal de radiofrecuencia y de esta manera, luego transmitirlas a largas distancias [13].

### ***2.1.2.2 Sensibilidad o Umbral del receptor***

La sensibilidad es la potencia mínima de la señal deseada que el receptor logrará detectar. Es un valor que se encuentra definido en las hojas de especificaciones técnicas del equipo de radiocomunicaciones, de la misma

manera se encuentra descrito el valor del ancho de banda de recepción, por lo que el umbral de recepción tiene relación con el ruido del canal [14].

En otras palabras, el umbral o sensibilidad del receptor puede definirse como el voltaje mínimo que debe tener la portadora de radiofrecuencia (RF) para generar una relación de señal a ruido (SNR), la cual, usualmente se indica la salida de la parte demoduladora. Es esencial enfatizar la gran importancia que mantiene este parámetro, dado que es capaz de limitar el funcionamiento del sistema de comunicaciones [15].

Posteriormente, es necesario acotar que el nivel de sensibilidad del receptor se verá afectado por las múltiples interferencias que atacan a un sistema, ya sean internas o externas.

#### **2.1.2.3 Medio de transmisión**

Se refiere a la vía por la cual viaja la información permitiendo que se realice el enlace entre el transmisor y el receptor. Es la manera en que se interconectan ambos sistemas, puede ser a través de un par de alambres, cable coaxial, fibra óptica u ondas electromagnéticas; estos diversos medios traen consigo atenuación, lo que implica un deterioro de la señal conforme va aumentando la distancia. [16]

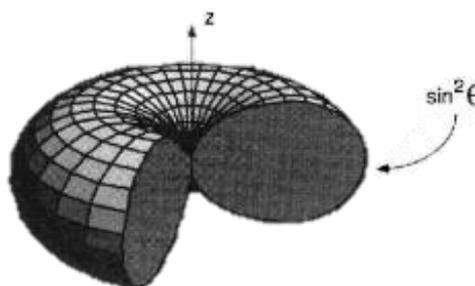
### **2.1.3 Antenas**

Las antenas deberían ser vistas esencialmente como el componente más importante de los sistemas de comunicación, generalmente se encuentran colocadas en las torres de telecomunicaciones. Podrían definirse como dispositivos electrónicos que se encargan de convertir una señal de RF que viaja por un conductor, en ondas de radio que viajan por el espacio abierto.

Las antenas presentan la mayor intensidad de radiación en una sola dirección, tratando de disminuir las que se irradian en las demás direcciones [17]. Existen algunas características importantes de las antenas que es necesario conocer, como: el patrón de radiación, la ganancia, la directividad y el tipo de polarización.

### **2.1.3.1 Patrón de radiación**

El patrón de radiación indica la manera en que se distribuye la energía mediante una gráfica tridimensional, tal como se muestra en la figura 2.2. Resulta de la unión de las gráficas del patrón de elevación y del azimut, obteniendo una noción de cómo se irradia la energía desde la antena [18].



**Figura 2.2 Patrón de Radiación en 3D [18]**

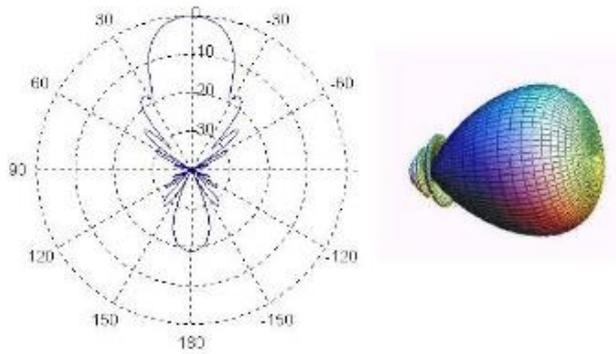
### **2.1.3.2 Ganancia**

La ganancia no es más que la relación entre la potencia que entra a la antena con la potencia que sale de la misma; definida en términos de dBi lo cual hace referencia a una comparación entre la energía que emite la antena en cuestión con la energía emitida desde una antena isotrópica [18].

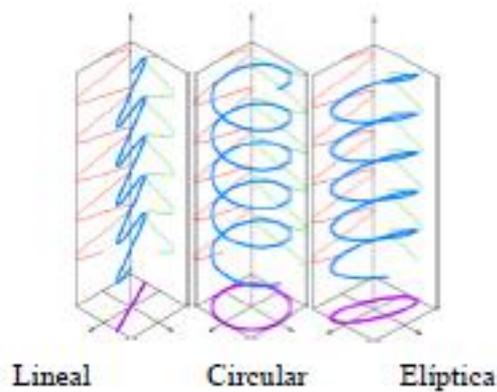
### **2.1.3.3 Directividad y Polarización**

En la figura 2.3 se puede observar que la directividad es una medida que demuestra la capacidad que posee la antena para irradiar energía en una dirección específica. Por otro lado, la figura 2.4 expone los distintos tipos de polarización. La polarización representa la orientación que adquieren las ondas electromagnéticas sobre un plano [20].

Para obtener el máximo rendimiento de un sistema de comunicación es necesario conocer el tipo de polarización de las antenas transmisoras y receptoras, y procurar que ambas tengan la misma polaridad.



**Figura 2.3 Patrón de Radiación de una Antena Directiva [19]**



**Figura 2.4 Tipos de Polarización [20]**

#### **2.1.4 Torres de telecomunicaciones**

Las torres son estructuras que sirven para soportar antenas transmisoras y equipos de telecomunicaciones, para la transmisión de señales y de energía eléctrica. La altura es uno de los parámetros más influyentes en la consideración de diseño, dado que a mayor altura se tendrá mayor radio de cobertura, pero asimismo estará más propensa al viento; de igual manera es primordial que se realice un estudio del lugar donde se instalará la torre, ya sea a nivel del suelo o sobre una edificación [21].

Los departamentos de radiofrecuencia y transmisión del país delimitan la zona de distribución de las antenas y su altura para que desempeñen su función de manera apropiada [22].

### **2.1.4.1 Tipos de Torres de Telecomunicaciones**

Existen distintos tipos de torres que se ajustan a las necesidades y a las circunstancias del sitio donde se requiera su instalación. En la actualidad, son muchas las compañías encargadas de la elaboración e instalación de estas torres [22].

#### **2.1.4.1.1 Torres monopolo**

Este tipo de torres se utilizan cuando se requiera mantener la estética; se las ubican en lugares reducidos puesto que no ocupan gran espacio. Se las instalan generalmente en áreas urbanas, se camuflan, pueden ser pintadas y usualmente son utilizadas como iluminación pública. La figura 2.5a muestra como este tipo de torres de telecomunicaciones se construyen en secciones tubulares de radios variables donde cada monopolo tiene su escalera de acceso [22].

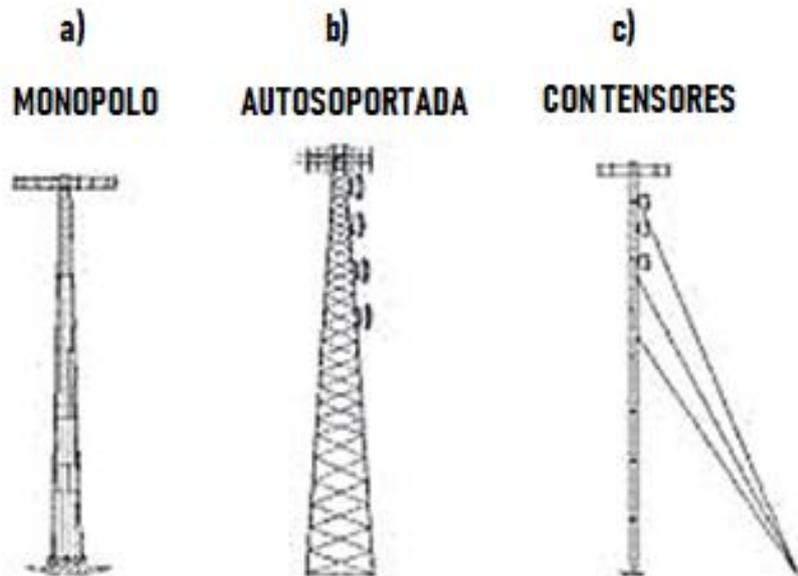
#### **2.1.4.1.2 Torres Auto soportadas**

En la figura 2.5b se puede observar que este tipo de torres son capaces de soportarse por sí mismas, no necesitan de cables tensores en sus aristas para sujetarse, se construyen a nivel del suelo, en cerros o áreas urbanas donde exista una base propicia para poder soportar fuerzas como el viento. Es ideal para resistir antenas que operen a elevadas frecuencias y físicamente sean de gran tamaño. Pueden tener diferentes formas como triangulares y cuadrangulares, que a su vez pueden ser rectas o piramidales [22].

#### **2.1.4.1.3 Torres Arriostradas o con Tensores**

Este tipo de torres necesitan cables tensores en sus aristas a varias distancias para poder sujetarse, en la figura 2.5c se puede notar como los tirantes le ofrecen tracción a la torre. Se construyen en lugares amplios dado que requiere de arriostres. Es una estructura

fácil de instalar, es más económica que la torre auto soportada y brinda excelentes particularidades de soporte de peso a alturas considerables [22].



**Figura 2.5 Tipos de Torres de Telecomunicaciones [22]**

## **2.2 Espectro radioeléctrico**

### **2.2.1 Definición**

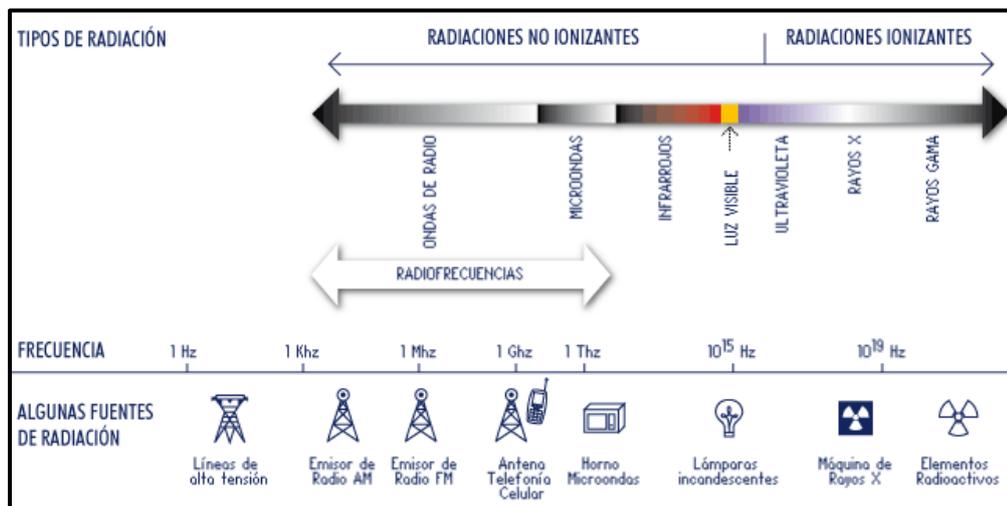
La figura 2.6 muestra la distribución del espectro radioeléctrico, el cual está compuesto de una gama de frecuencias, las cuales según su denominación tienen características y usos típicos para las comunicaciones; es también un recurso natural restringido por el Estado ya que, gracias a él, los servicios de telecomunicaciones son brindados.

Una característica importante del espectro radioeléctrico es que se denomina como la base que da firmeza y permite relacionar, dentro del sector de las telecomunicaciones, el trabajo industrial y empresarial, investigaciones y su desarrollo, la radiodifusión sonora y televisión abierta, servicios públicos, etc. Generando gran influencia sobre el ámbito económico, más específicamente en el desarrollo de empresas que se dedican a la provisión y comercialización de servicios, sobre todo en la formación de nuevas fuentes de trabajo [23].

Según la tabla 2.1, el espectro radioeléctrico está subdividido en ocho bandas, las cuales debido a sus peculiares características y distintas longitudes de onda tienen un diferente uso en las variadas formas de servicios de telecomunicaciones.

**Tabla 2.1 Bandas de frecuencias del Espectro Radioeléctrico [24]**

Número de banda	Simbología	Definición	Rango de frecuencias
4	VLF	Muy bajas frecuencias	3-30 KHz
5	LF	Bajas frecuencias	30-300 KHz
6	MF	Medias frecuencias	300-3000 KHz
7	HF	Altas frecuencias	3-30 MHz
8	VHF	Muy altas frecuencias	30-300 MHz
9	UHF	Ultra altas frecuencias	300-3000 MHz
10	SHF	Súper altas frecuencias	3-30 GHz
11	EHF	Extra altas frecuencias	30-300 GHz



**Figura 2.6 Distribución del Espectro Radioeléctrico [25]**

## 2.2.2 Bandas ISM

En términos generales, las bandas ISM también conocidas como bandas libres o no licenciadas pueden ser definidas como bandas de frecuencias que no requieren de licencia para poder utilizarse; han sido reservadas internacionalmente para el uso específico dentro del área industrial, científica y médica [26]. No requieren de autorizaciones que determinen el uso exclusivo de una frecuencia, la única condición que se debe cumplir es no exceder el nivel límite de potencia transmitida.

Las bandas no licenciadas, definidas actualmente por la ITU-R, que se encuentran dentro del rango de frecuencias entre 900 MHz y 6 GHz son:

**Tabla 2.2 Bandas ISM o No Licenciadas [24]**

BANDA	RANGO
<b>900 MHz</b>	902 – 928 MHz
<b>2.4 GHz</b>	2.4 – 2.4835 GHz
<b>5 GHz</b>	5.15 – 5.35 GHz y 5.725 – 5.825 GHz

## 2.2.3 Plan Nacional de Frecuencias

La ARCOTEL señala:

“El PNF es el documento que expresa la soberanía del Estado Ecuatoriano, en materia de administración del espectro radioeléctrico, establece las normas para la atribución de las bandas y canales radioeléctricos para los diferentes servicios de radiocomunicaciones, convirtiéndose éste en el documento de referencia para normalizar el uso del espectro radioeléctrico. El objetivo principal del PNF es proporcionar los lineamientos para un proceso eficiente y eficaz de gestión del espectro radioeléctrico, manteniendo una nomenclatura sencilla y de fácil interpretación, brindando una herramienta para la utilización óptima del mismo y previniendo interferencias perjudiciales entre los distintos servicios” [24].

Dentro del PNF se proporciona el cuadro de atribuciones de las bandas de frecuencias nacionales. No obstante, dado que la banda de interés particular es la de 5GHz, se detalla en la tabla 2.3 sus asignaciones.

**Tabla 2.3 Atribución de la banda de 5GHz en el Ecuador [24]**

BANDAS [MHz]	ATRIBUCIONES
<b>5000-5091</b>	Móvil aeronáutico por satélite Radionavegación aeronáutica Radionavegación por satélite
<b>5091-5150</b>	Fijo por satélite Móvil aeronáutico Móvil aeronáutico por satélite Radionavegación aeronáutica
<b>5150-5250</b>	Fijo por satélite Móvil Radionavegación aeronáutica
<b>5250-5470</b>	Exploración de la tierra por satélite Móvil Radiolocalización Investigación espacial
<b>5470-5570</b>	Exploración de la tierra por satélite Móvil Radiolocalización Radionavegación marítima Investigación espacial
<b>5570-5650</b>	Móvil Radiolocalización Radionavegación marítima
<b>5650-5725</b>	Móvil Radiolocalización Aficionados Investigación espacial
<b>5725-5830</b>	Radiolocalización Aficionados
<b>5830-5850</b>	Radiolocalización Aficionados Aficionados por satélite
<b>5850-5925</b>	Fijo por satélite Fijo Móvil Radiolocalización Aficionados

## **2.3 Ruido**

Se puede definir el ruido como un fenómeno natural, presente en las comunicaciones, que puede deteriorar la señal emitida desde el transmisor al receptor en grandes medidas. Decir que el ruido es una señal, presentaría ambigüedad ya que dicho fenómeno no representa información, salvo en casos excepcionales pero muchos autores lo definen como una señal no deseada variante en amplitud y fase [27].

El concepto de ruido debe entenderse como señales (eléctricas) aleatorias e inconstantes que se originan de forma natural dentro o fuera de un sistema [28]. La señal portadora de información puede ocultar o eliminar totalmente su contenido cuando este tipo de señales de ruido se agregan [28]. No obstante, un problema de ruido no se puede eliminar nunca completamente, ni si quiera en teoría.

### **2.3.1 Clasificación del Ruido**

Es posible clasificar el ruido que presenta un sistema en dos grupos:

#### ***2.3.1.1 Ruido interno***

Es aquel ruido que procede naturalmente de los equipos eléctricos y electrónicos [29].

#### ***2.3.1.2 Ruido externo***

Es causado por el acoplamiento magnético o eléctrico de un sitio con otro del mismo sistema o con otros sistemas, ya sean de índole natural o elaborados por el ser humano. Este tipo de ruido puede presentarse periódicamente, aleatoriamente o de manera intermitente. [29]

### **2.3.2 Tipos de Ruido**

Existen varios tipos de ruido según su clasificación.

### **2.3.2.1 Ruido Atmosférico**

Este tipo de ruido se debe especialmente a las descargas atmosféricas, que mediante la reflexión en la ionósfera hace que se propaguen en todas las direcciones. Se genera con mayor intensidad cuando existen descargas eléctricas en las tormentas. [28]

El nivel del ruido cambia de manera inversa con la frecuencia, es decir, cuando las frecuencias son bajas el ruido es mayor y si las frecuencias son altas éste, se reduce; hay que especificar que también depende de la ubicación geográfica, de las condiciones climáticas, del momento del día, etc [28].

### **2.3.2.2 Ruido Galáctico**

Son perturbaciones que se generan fuera de la atmósfera, una de sus fuentes principales es el sol y también lo son una gran cantidad de estrellas [28].

### **2.3.2.3 Ruido Térmico**

Se produce por el movimiento que produce la energía térmica sobre los electrones en las resistencias. Este tipo de ruido se presenta sobre la antena receptora, el medio conductor y el receptor [28].

### **2.3.2.4 Ruido Elaborado por el Hombre**

Es provocado por dispositivos eléctricos cualquier clase, por ejemplo, los receptores de televisión, motores y artefactos eléctricos, alumbrado fluorescente, generadores industriales de calefacción, etc. La intensidad de este tipo ruido suele ser muy grande en los lugares con alta población y en zonas industriales [28].

### **2.3.2.5 Ruido Impulsivo**

El ruido impulsivo es de gran amplitud pero de corta duración, por ejemplo, el que produce un fenómeno meteorológico como el rayo. Es común que se confunda con el ruido atmosférico, sin embargo, la diferencia predomina en que, a pesar de ser causado por agentes externos el ruido impulsivo tiene menor tiempo duración que el ruido atmosférico [28].

### **2.3.2.6 Diafonía**

Cuando circula una corriente eléctrica por un conductor se crea un campo magnético alrededor del mismo y si se encuentra un conductor transmitiendo en una zona cercana, se creará una superposición de campos magnéticos generando diafonía [28].

### **2.3.2.7 Eco**

Se produce cuando surge una señal no deseada que posee las mismas características de la señal transmitida pero atenuada y retrasada con respecto a la original [28].

### **2.3.2.8 Ruido de Choque**

El ruido de choque se genera cuando circula corriente a través de los diodos, produciendo impulsos eléctricos. Al conocer que la corriente es el flujo de electrones, se puede decir que este tipo de ruido es proporcional a la misma. En caso de que no exista circulación de corriente, el ruido de choque se elimina por completo quedando presente solamente el ruido térmico [28].

## **2.4 Interferencias**

Las interferencias son perturbaciones no intencionales que alteran el funcionamiento de los sistemas eléctricos; además de ser efectos causados por equipos externos que generan radiación, emisiones o inducciones afectando la recepción en un sistema de comunicación.

Este fenómeno provoca usualmente degeneración de la señal, baja calidad de un servicio de telecomunicaciones y pérdidas de información desde el transmisor hacia el receptor [30].

### **2.4.1 Tipos de interferencias**

A continuación, se abarcarán los tipos de interferencias que se diferencian unas de las otras debido a su manera de ser producidas.

#### ***2.4.1.1 Interferencia de Radiofrecuencia***

También llamada interferencia electromagnética, es aquella que es causada por la emisión de señales de radiofrecuencia cerca de la frecuencia del receptor o por fuentes externas de radiación electromagnética [31].

Se pueden dividir en distintos grupos según su origen [31]:

- Naturales: Son aquellas producidas por descargas atmosféricas, descargas electrostáticas, ruido cósmico o radiaciones naturales.
- Radiadas: Son aquellas interferencias emitidas explícitamente a través de campos electrostáticos o electromagnéticos, desde la fuente al receptor.
- Conducidas: Son aquellas interferencias emitidas mediante un medio común de la fuente al receptor.

#### ***2.4.1.2 Interferencia Co-canal***

Este tipo de interferencia ocurre cuando un dispositivo opera en la misma banda que otro y provoca obstrucciones e interferencias en el canal, son las más nocivas. Es importante destacar que cuando la señal trabaja con polarización idéntica se llama interferencia co-canal y co-polar; mientras que cuando la señal utiliza polarización ortogonal se llama interferencia co-canal de polarización cruzada [14].

### **2.4.1.3 Interferencia Adyacente**

Es totalmente opuesta a la interferencia descrita en el párrafo anterior ya que es aquella que es causada por una señal en una banda diferente a la banda de la señal útil. En términos generales, puede ser definido como la interferencia provocada por un transmisor que trabaja en un canal vecino ya sea superior o inferior al canal del transmisor requerido o deseado, dándole sentido al nombre del tipo de obstrucción [32].

### **2.4.1.4 Interferencia Eléctrica**

Es aquella que no es causada intencionalmente por parte de los equipos electrónicos, ya que por lo general el dispositivo no fue diseñado para ser fuente de energía de RF [32]. Existen distintos tipos de interferencia eléctrica, los que son producidos por el ruido de un equipo eléctrico o electrónico y el proveniente de fenómenos naturales.

Durante los últimos años, ha sido de gran importancia para las industrias y el Estado reducir las interferencias dañinas por lo que ahora la interferencia eléctrica corresponde a un pequeño porcentaje de inconvenientes de interferencias en comparación a los causados por los sistemas inalámbricos [32].

### **2.4.1.5 Intermodulación**

La diferencia de este tipo de interferencia con las demás es que ésta no se crea por una fuente externa, sino que se crea dentro del mismo sistema inalámbrico. También llamada "Intermod", este tipo de interferencia es producida por señales llenas de energía que no se encuentran cerca a la frecuencia inalámbrica [32].

## **2.5 Diferencia entre interferencia y ruido**

El ruido y la interferencia son de gran relevancia en los sistemas de comunicaciones dado que restringen la eficacia de la señal y limitan la calidad de la información, sin embargo, su manera de proceder es diferente. Como se mencionó anteriormente, el ruido es una señal indeseada variante en amplitud y fase, mientras que la interferencia sigue patrones o modelos ya fijos con frecuencias que no se pueden reconocer fácilmente.

Por otra parte, el ruido es propio de los equipos, es responsabilidad de los fabricantes tomar las consideraciones necesarias para que dicho parámetro no afecte su funcionamiento, mientras que la interferencia involucra un mal funcionamiento del sistema y depende mucho de su diseño.

Hablando en términos de señales, la interferencia se produce cuando dos señales se interrumpen unas a otras en el mismo espacio y el ruido es cuando una señal indeseada se mezcla con una señal útil al momento de la transmisión en un sistema de comunicación [27].

Es muy importante reconocer y diferenciar dichas variables para poder interpretar correctamente resultados.

## **2.6 Causantes principales del ruido en la banda de 5GHz**

El ruido que se presenta en la banda de 5GHz corresponde a diversos motivos que serán mencionados a continuación.

### **2.6.1 Señales de Radio o TV con gran potencia**

Si el equipo está instalado junto a un transmisor de este tipo, recibirá una gran cantidad de radiación. Teniendo presente que las señales emitidas, tanto de televisión y de radio, son muy seguidas y continuas no solo pueden causar problemas sobre el cableado Ethernet si no también ocasionar problemas sobre la transmisión afectando la señal que percibe el receptor [33].

### **2.6.2 Equipos que transmiten sobre la misma banda de frecuencia o canal**

Cuando existen equipos cercanos que trabajan sobre la misma banda de 5GHz, se produce una gran interferencia co-canal, que ya ha sido definida anteriormente; sin embargo, considerando que en esta banda de frecuencias el uso del espectro es libre, es probable que el equipo no sea el único que esté transmitiendo en dicho canal lo cual podría dar lugar a la congestión del espectro en el canal mencionado anteriormente [33].

### **2.6.3 Sistemas de Radar**

Al existir señales de sistemas de radares cercanos a los transmisores es posible que generen ruido en el medio, pues, usualmente transmiten altos niveles de potencia en cortos pulsos de tiempo generando interferencia en los receptores [33].

## **2.7 El Analizador espectral**

Es una herramienta de medición que permite estudiar el comportamiento de una señal en el dominio de la frecuencia. Entre sus funciones, es idóneo para modelar ondas de radio que se encuentren superpuestas unas a las otras en un rango de frecuencias determinado.

La transformada de Fourier es el estudio matemático que se encuentra relacionado con el análisis espectral, pues permite descomponer la señal compleja en señales simples [34].

En la actualidad, existen equipos que traen consigo integrados la función de analizador espectral, pero por lo general, existen analizadores analógicos y digitales.

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑO METODOLÓGICO

### 3.1 Introducción

Según los objetivos planteados anteriormente, en este capítulo se detallará el procedimiento que se diseñó para determinar el nivel de ruido que presenta la banda de 5GHz en un área de Cerro Azul.

Se indicarán los recursos y herramientas necesarias para la obtención de los datos; como el lugar, la topología de red, detalles del equipo, diagramas, entre otros pasos que fueron necesarios para la elaboración del diseño metodológico. También se expondrán las bases de la simulación para la recomendación de mecanismos de mitigación del ruido.

### 3.2 Descripción del escenario

En Cerro Azul existen dos secciones de torres, el grupo A que se encuentra en la zona más baja y el grupo B en la más alta del Cerro, como se puede apreciar en la figura 3.1

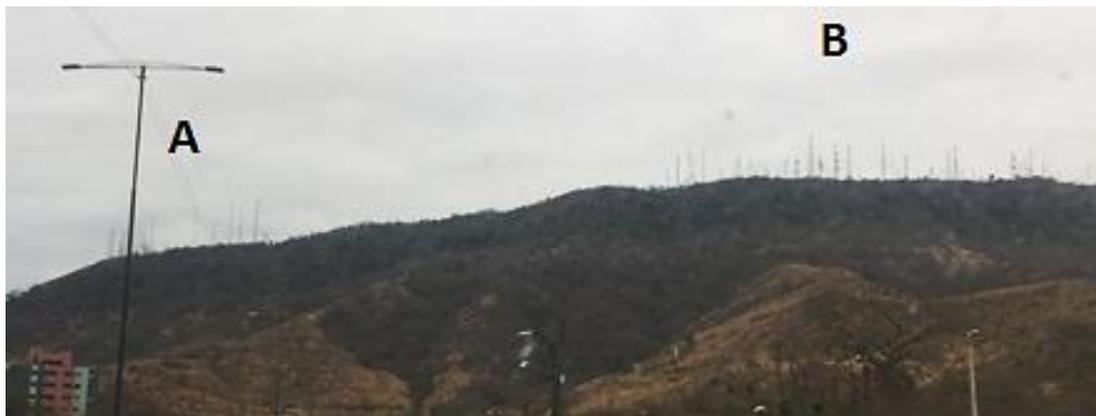
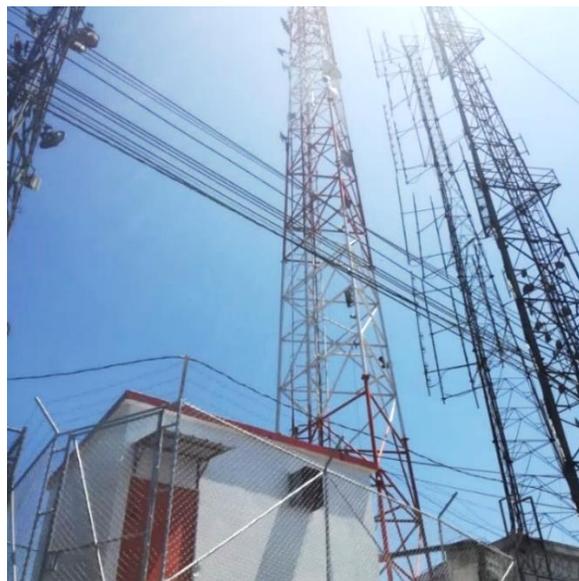


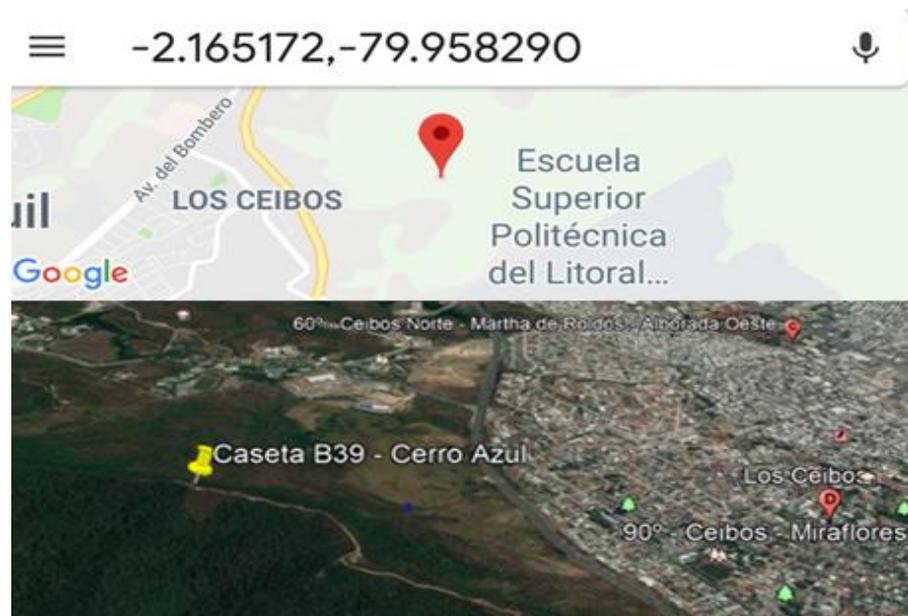
Figura 3.1 Torres de Telecomunicaciones en Cerro Azul

El terreno en cuestión está situado en el grupo B de Cerro Azul a 507 metros sobre el nivel del mar [3], posee una caseta identificada como B39 y una torre de telecomunicaciones auto soportada de 45 metros de altura (Figura 3.2).

En la figura 3.3 se observa que tanto la caseta como la torre están ubicadas en las coordenadas  $-2.165172, -79.958290$ , lo cual representa una latitud de  $2^{\circ} 9' 54.61''$  S y una longitud  $79^{\circ} 57' 29.84''$  O.



**Figura 3.2 Caseta B39 en Cerro Azul**



**Figura 3.3 Coordenadas y ubicación de la caseta B39**

### 3.3 Equipo de medición



**Figura 3.4 Equipo "ePMP Force 180" de Cambium Networks**

Uno de los recursos necesarios para la obtención de datos fue el radio integrado "Cambium Networks – ePMP Force 180" (Figura 3.4).

Es un equipo de la segunda generación de módulos ePMP, gracias a su tamaño compacto, rendimiento y funcionamiento es usado por muchos radioaficionados [35]. El equipo es capaz de trabajar como punto de acceso, módulo suscriptor o analizador espectral; siendo este último el que se utilizó para realizar la adquisición de los datos. Las características más importantes del equipo se detallan a continuación en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Parámetros del equipo de medición [36]**

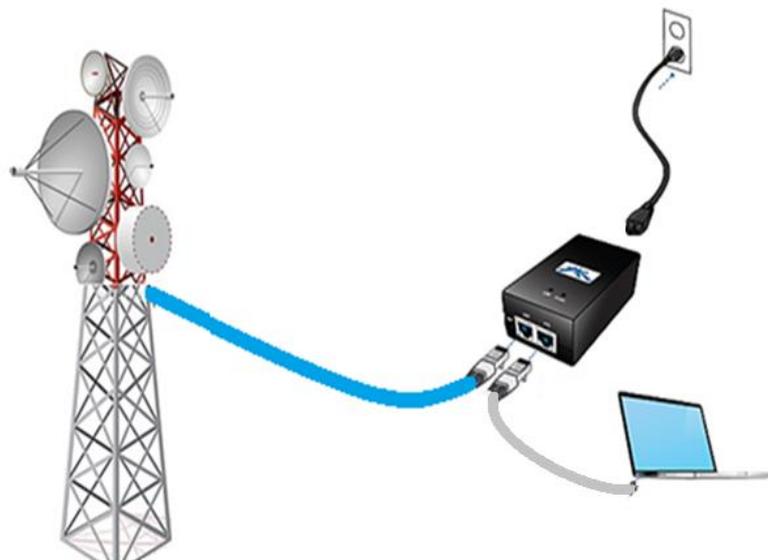
Parámetros	Descripción
<b>Rango de Frecuencia</b>	4910-5970 MHz
<b>Tipo de antena</b>	Integrada
<b>Ganancia</b>	16 dBi
<b>Azimut</b>	15°
<b>Elevación</b>	30°
<b>Polarización cruzada</b>	15 dB
<b>Ancho de banda</b>	5, 10, 20 MHz

### 3.4 Adquisición de datos

#### 3.4.1 Topología física del sistema de adquisición de datos

El radio integrado “Cambium Networks - ePMP Force 180”, dos cables ethernet (1 y 45 metros de largo), un adaptador PoE y una laptop fueron los recursos indispensables para lograr con el diseño de medición.

A continuación, se puede observar la representación de la topología física del sistema (Figura 3.5).



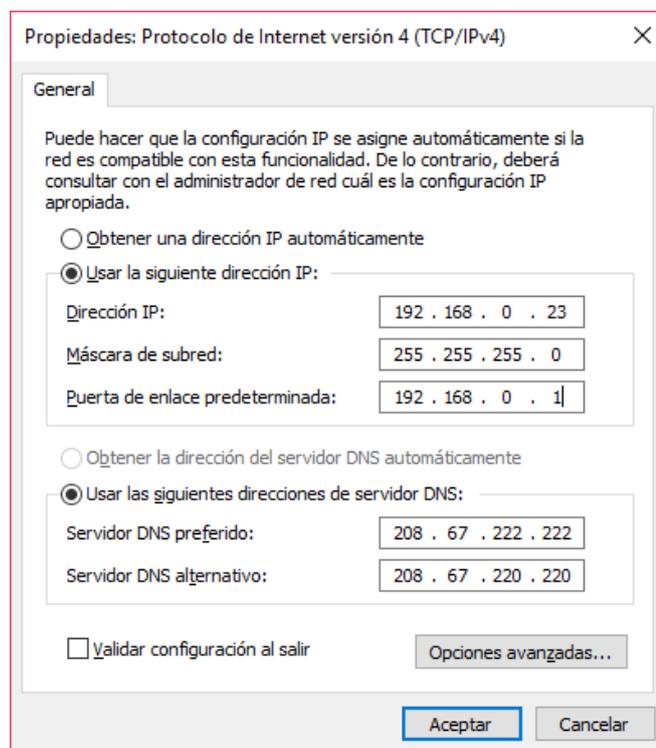
**Figura 3.5 Esquema de medición**

El cable ethernet de 45 metros es el que se mueve junto con el equipo a diferentes alturas en la torre, éste va conectado al puerto Gigabit Power+Data del PoE; mientras que el cable ethernet de 1 metro se conecta al puerto Gigabit Data del PoE para la adquisición de datos a través de la laptop.

### 3.4.2 Configuración del equipo como “Analizador Espectral”

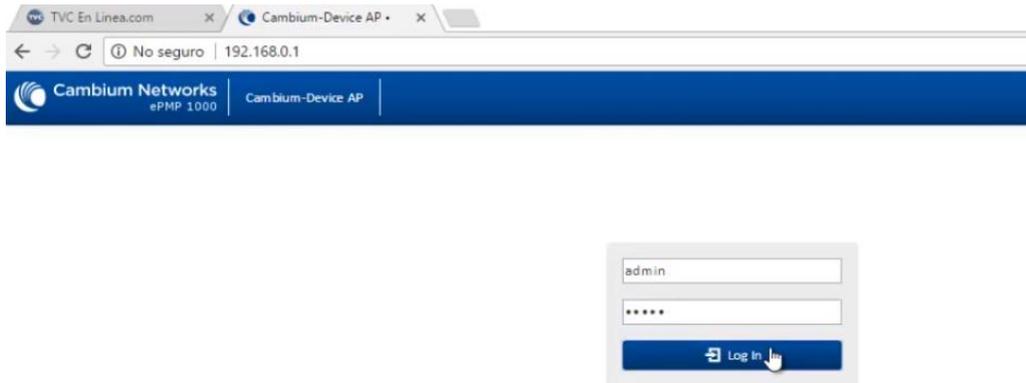
Luego de armar el sistema tal como muestra la figura 3.5, se configuró el equipo para que trabaje como analizador espectral; para acceder a este recurso es preciso conocer que la radio trae consigo un software que permite monitorear el comportamiento espectral del ruido en la banda de frecuencia de 5GHz, al cual se ingresa mediante una PC o laptop.

En primer paso, se configuró la PC o laptop con una dirección IP que se encuentre dentro de la red 192.168.0.0/24 con mucha precaución de no utilizar las direcciones 192.168.0.1 o 192.168.0.2 ya que estas direcciones IP pertenecen al radio en modo AP y suscriptor respectivamente. (Figura 3.6).



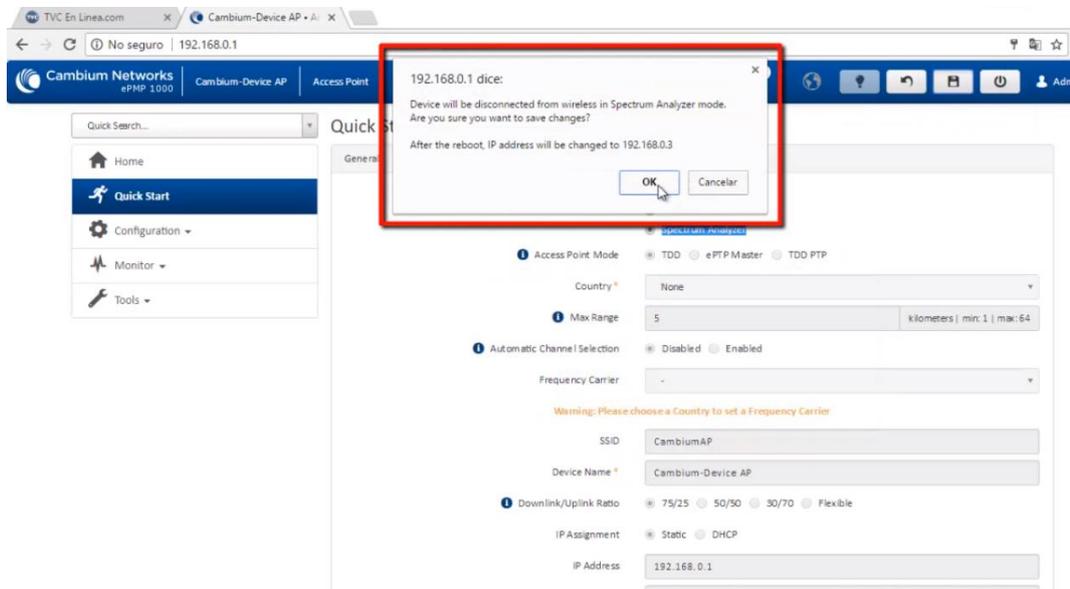
**Figura 3.6 Configuración de la IP de la PC**

Luego en el navegador web, de preferencia utilizar Mozilla Firefox, se accedió a la página <http://192.168.0.2>. Para acceder a la configuración del equipo fue necesario ingresar la palabra “admin” como usuario y contraseña por default, tal como se indica en la figura 3.7.



**Figura 3.7 Interfaz de acceso al equipo**

En la pantalla de inicio se dirigió al botón de “Quick Start”, en la parte superior y central se muestran varias opciones en la cual se seleccionó la opción “Spectrum Analyzer”. Posteriormente, se grabaron los cambios y se reinició el equipo. Tener en cuenta que se mostró un mensaje de precaución que indica la nueva dirección IP que adquirirá el equipo para futuras configuraciones (Figura 3.8).



**Figura 3.8 Configuración como Analizador Espectral**

A continuación, se ingresó a la nueva dirección IP que mostró el mensaje, en este caso <http://192.168.0.3>. Se accedió a la interfaz de equipo con el mismo usuario y contraseña registrados anteriormente; dentro del menú que se muestra en la parte izquierda se seleccionó la opción de "Tools", luego "Spectrum Analyzer". Esto muestra un botón que dice "Download Spectrum Analyzer Tool" del cual descargó la herramienta en Java (Figura 3.9).

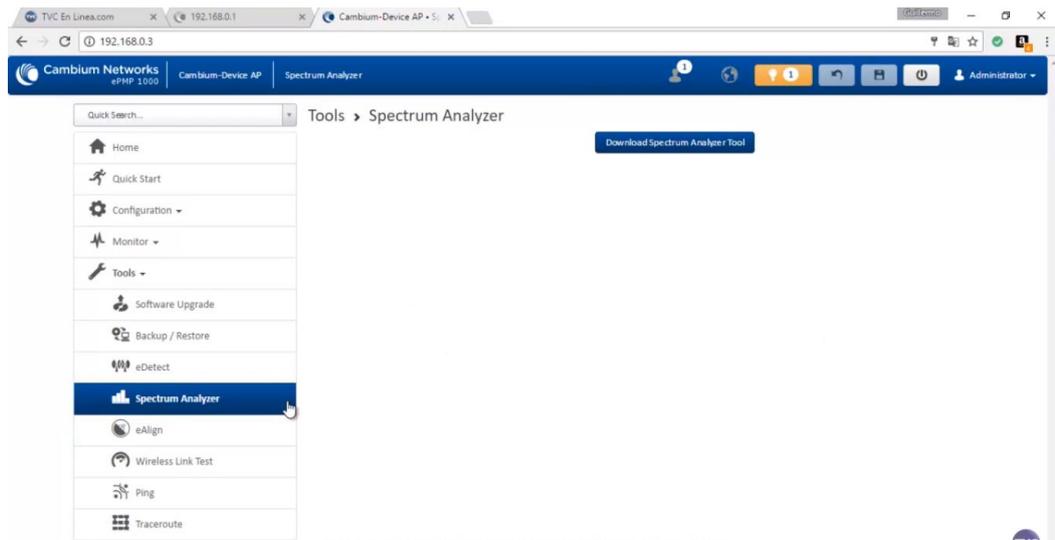


Figura 3.9 Descarga del programa "Spectrum Analyzer"

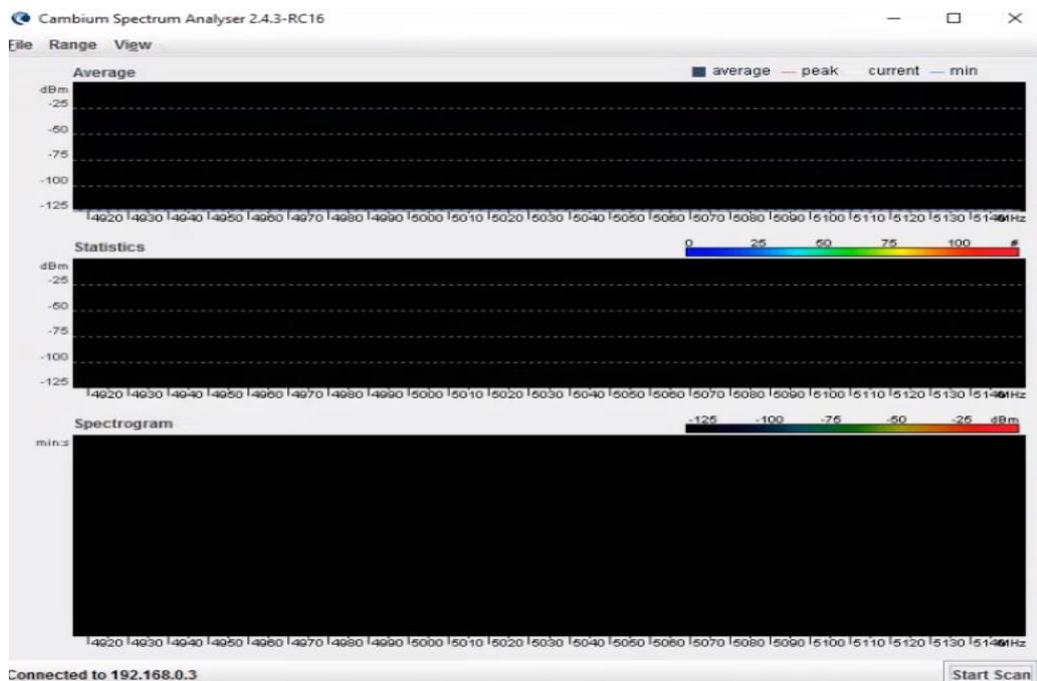


Figura 3.10 Analizador Espectral de Cambium Networks

Para ejecutar el archivo fue necesario añadir la IP 192.168.0.3 en páginas permitidas ya que la configuración de seguridad de Java la bloqueaba. Al abrir el programa se visualizó lo que indica la figura 3.10, en ella se pueden observar 3 tipos de gráficas:

- **Gráfica del Promedio:** se muestran los niveles de potencia máxima, media y mínima.
- **Gráfica Estadística:** permite observar estadísticamente los datos que fueron adquiridos durante un periodo de tiempo.
- **Espectrograma:** permite la visualización de los niveles de energía a lo largo del tiempo, dentro del rango de frecuencias que se ha configurado.

Por último, para configurar el rango de frecuencias en el que se va a realizar cada análisis espectral se ingresó a la opción “Range” y después “Custom”. Una vez completado todo este procedimiento se pulsó el botón “Start Scan”, ubicado en la parte inferior derecha, y así se empezaron a obtener poco a poco las respectivas mediciones hasta completar un tiempo estimado, como se puede apreciar en la figura 3.11

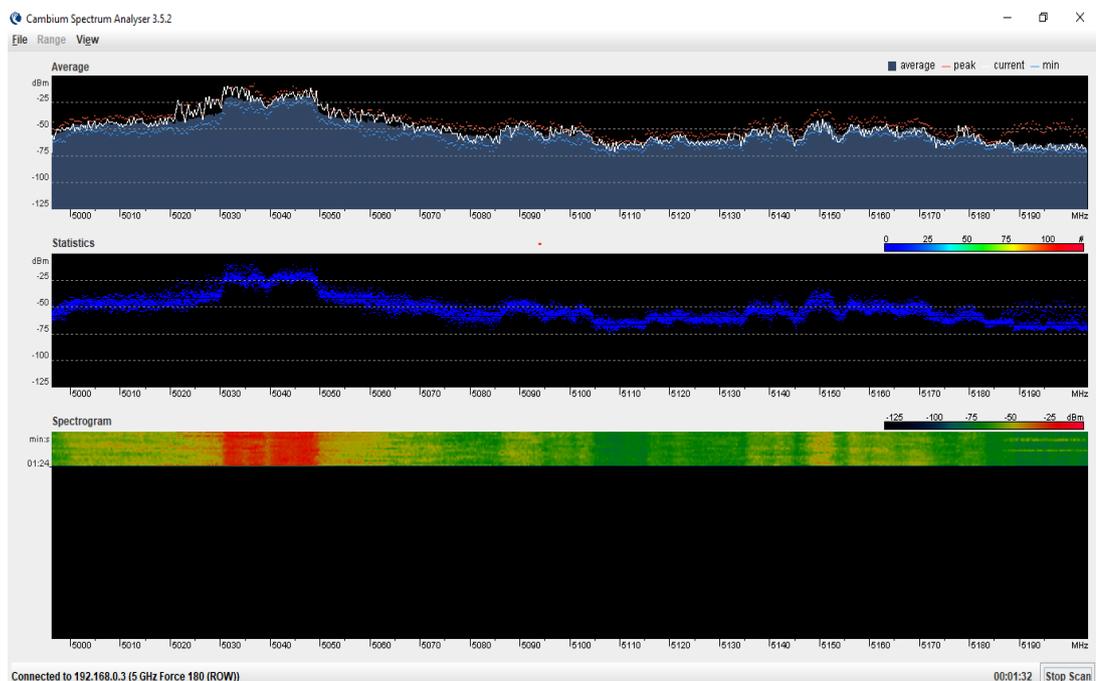


Figura 3.11 Adquisición de datos en el rango de 5000 – 5200 [MHz]

### 3.4.3 Parámetros por modificar para las mediciones del piso de ruido

Para observar el comportamiento espectral en diversos escenarios fue necesario variar algunos parámetros, de manera que se obtuvieron distintos resultados para las diferentes situaciones.

Los cambios que se realizaron con el equipo físicamente fueron de altura y dirección, realizando un barrido espectral sobre los 360° del plano de la ciudad sobre algunas alturas de la torre; ejecutando el mismo procedimiento 3 veces al día.

Los parámetros de medición para la obtención de los tres tipos de gráficas denominadas caída de agua, cantidad de señal recibida e intensidad de la señal promedio se detallan en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Variables del sistema de medición**

Parámetros	Descripción
<b>Rango de frecuencias</b>	(5000-5970) MHz
<b>Alturas</b>	15, 25, 35 m
<b>Dirección</b>	0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300°, 330°
<b>Momento del día</b>	Mañana, tarde y noche
<b>Días</b>	9 días, entre laborales y fines de semana
<b>Tiempo de medición</b>	Entre 25 - 40 minutos por cada dirección

### 3.4.4 Procedimiento para la adquisición de datos

En el esquema de la figura 3.12 se explica mediante un diagrama de flujo los pasos más importantes para la obtención de las gráficas que mostrarán el comportamiento del piso de ruido.

Para empezar, de acuerdo con la topología que se mencionó al inicio de este capítulo se instaló el equipo a una altura de 15 metros en la torre y con ayuda de una brújula se lo colocó en la dirección de 0°. Luego, con una computadora portátil se procedió a configurar el equipo de manera que trabaje como analizador espectral. Una vez realizado este paso, al descargarse la herramienta en Java llamada “Cambium Spectrum Analyzer”, se lo ejecutó y se procedió a configurar los rangos de frecuencia en los cuales se realizaron las mediciones.

De manera resumida, a la altura de 15 metros de la torre y orientación de 0° se adquirieron cinco gráficas distintas que mostraron el comportamiento espectral del ruido, cada una con un tiempo de adquisición de 5 a 8 minutos; la primera en el rango de 5000 – 5200 MHz, la segunda desde 5200 – 5400 MHz, la tercera desde 5400 – 5600 MHz, la cuarta desde 5600 – 5800 MHz y la última desde 5800 – 5970 MHz.

Es importante destacar que, para contener todas las direcciones indicadas fue necesario realizar las mediciones durante 6 días. De modo que el primer día, a 15 metros, se orientó el equipo a 60°, 90°, 120°, 150°, 180° y 210°; el segundo día a 240°, 270°, 300°, 330°, 360° y 30°, abarcando así los 360° durante 2 días por cada altura.

Al terminar todas las mediciones sobre la altura de 15 metros, ahora se realiza el mismo procedimiento descrito para la altura de 25 y 35 metros de la torre de telecomunicaciones.

Es necesario destacar que este procedimiento se lo ha llevado a cabo dentro de las condiciones climáticas adecuadas en la ciudad de Guayaquil.

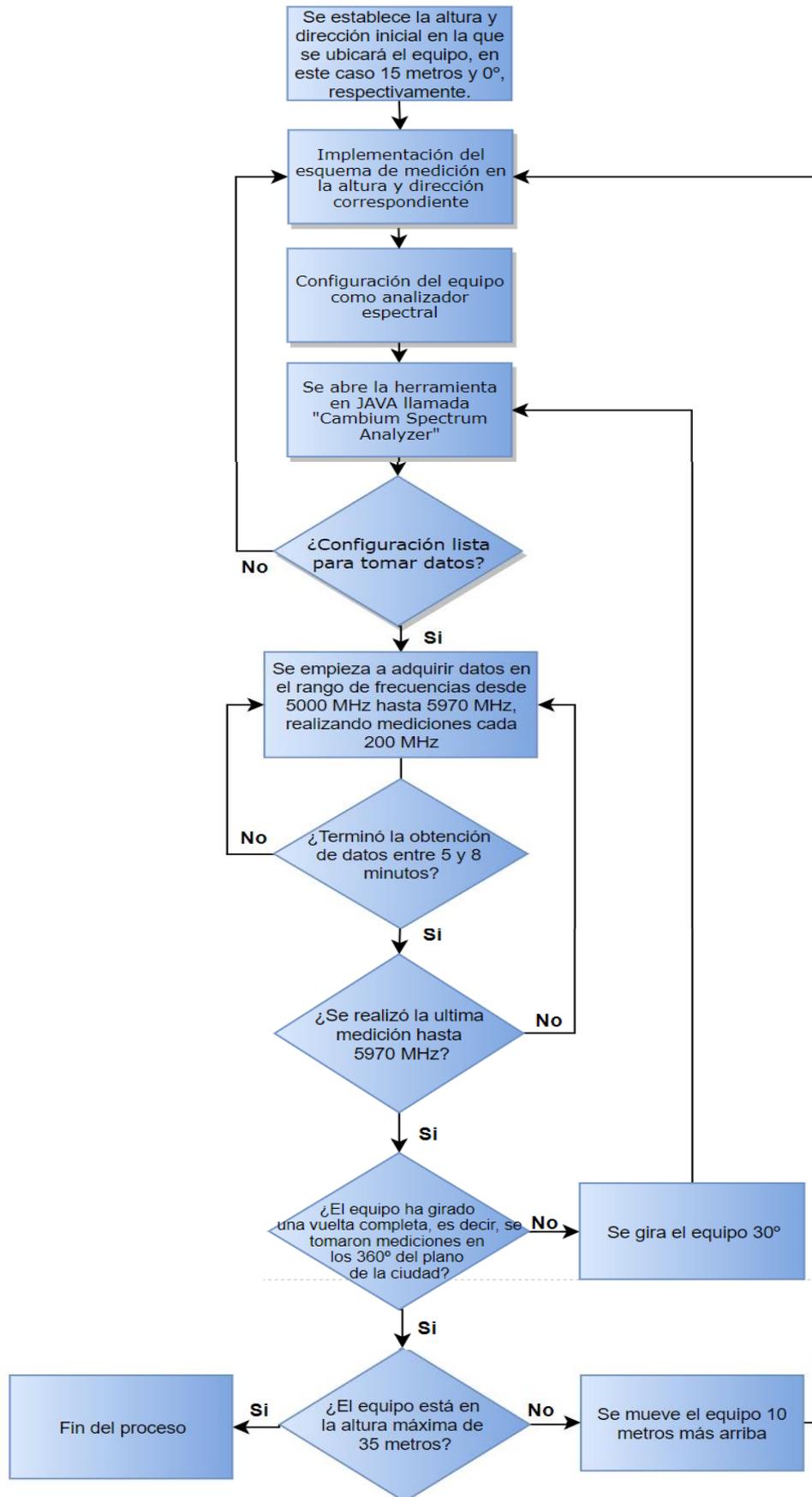


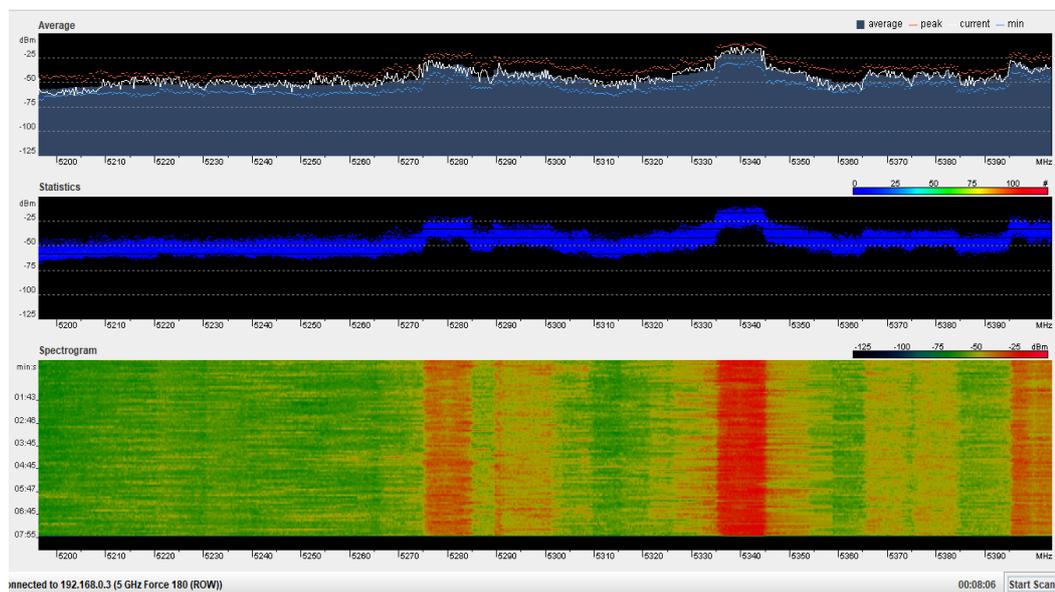
Figura 3.12 Diagrama de flujo para medición del piso de ruido

### 3.4.5 Modelo de mediciones capturadas

Una vez detallado el procedimiento para cumplir con el diseño de medición, en la figura 3.13 se puede apreciar un ejemplo de una gráfica obtenida a partir de los siguientes parámetros mostrados en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Variables pertenecientes a la gráfica modelo de medición del piso de ruido**

Parámetros	Descripción
<b>Rango de frecuencias</b>	(5200 - 5400) MHz
<b>Altura</b>	15 metros
<b>Dirección</b>	90°
<b>Momento del día</b>	Mañana
<b>Día</b>	Laboral
<b>Tiempo de medición</b>	8 minutos



**Figura 3.13 Gráfica modelo de medición del piso de ruido**

En la gráfica modelo se observan los tres tipos de gráficas que resultaron de la adquisición de datos durante 8 minutos.

A través del espectrograma se puede interpretar que existen algunos rangos de frecuencias más copados de ruido que otros, esto es fácil de observar gracias a

la escala de colores que presenta la herramienta de analizador espectral representando el color rojo y verde, mayor y menor potencia, respectivamente.

En el capítulo posterior se desglosará con detalle las gráficas más importantes y sus datos, así como la comparación entre ellas para poder tener un análisis más profundo del diseño realizado.

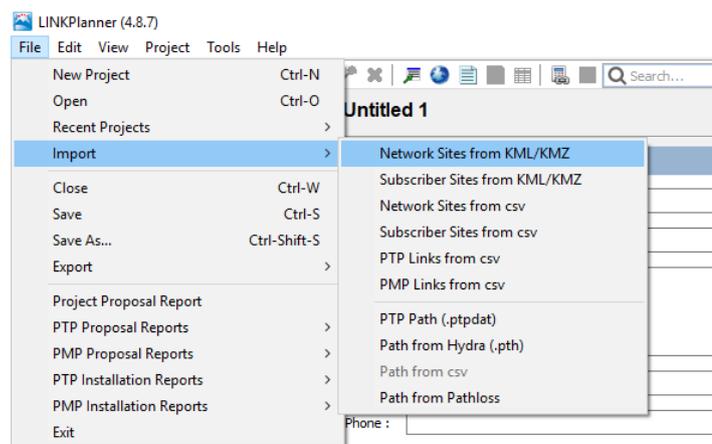
### 3.5 Implementación de las recomendaciones

A partir de los datos obtenidos, se recomendarán distintas maneras que permitan aminorar el nivel de ruido. Para comprobar su veracidad se efectuará un radioenlace, a través de una herramienta denominada “LINKPlanner”, en el siguiente capítulo.

#### 3.5.1 LINKPlanner

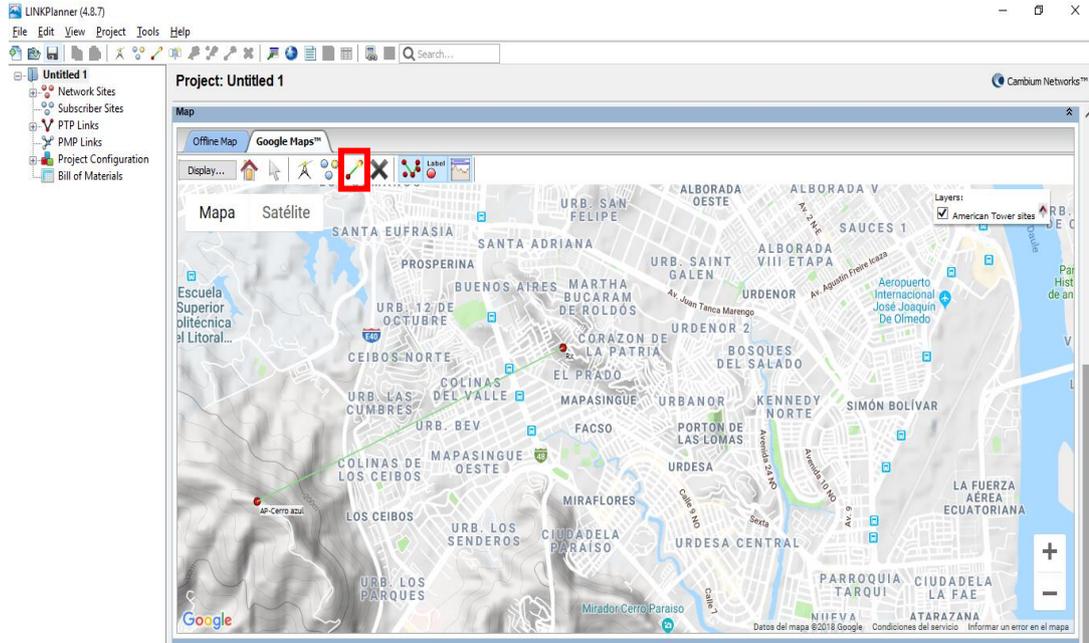
LINKPlanner es un software que permitirá simular los enlaces punto a punto con diferentes equipos de la gama “Cambium Networks” que trabajarán como access point y módulo suscriptor respectivamente.

Primero se deben guardar las coordenadas del transmisor y receptor desde Google Earth para poder importarlas al programa siguiendo los pasos de la figura 3.14.



**Figura 3.14 Importación de las coordenadas del sistema transmisor y receptor**

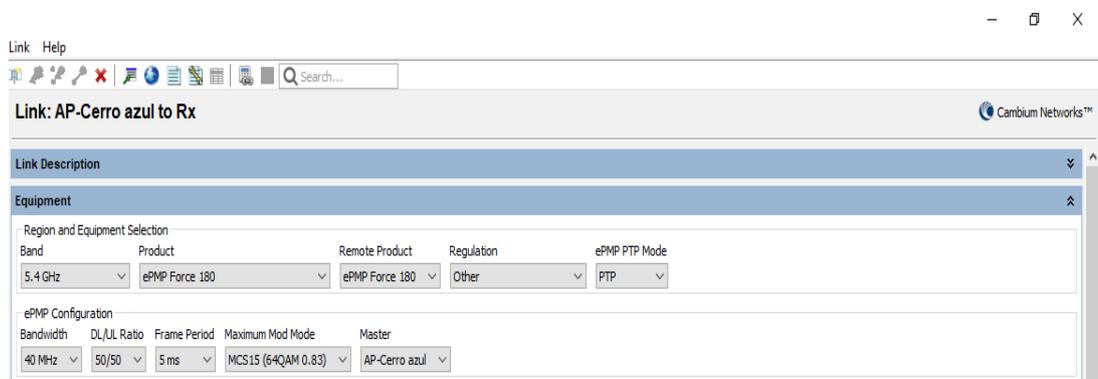
En la figura 3.15 se visualiza la ventana de la herramienta con las ubicaciones del transmisor y receptor, se realiza un trazado con “New Link”, como la línea es de color verde significa que no hay problemas para realizar el enlace ya que existe línea de vista.



**Figura 3.15 Ubicación de transmisor y receptor**

En la figura 3.16 se observa la ventana donde se manipulan los parámetros del equipo a utilizar para el radio enlace, “Equipment”.

Esta opción es muy importante para el desarrollo de lo requerido ya que debe haber una diferencia entre los dos equipos a utilizar en el ángulo del azimut.



**Figura 3.16 Ventana que muestra los parámetros del equipo**

Una vez seleccionados los equipos a utilizar, también se puede configurar el nivel de interferencia en uno o ambos dispositivos, la altura de colocación de los equipos y si se quiere limitar la potencia de salida, como se puede apreciar en la figura 3.17.

The screenshot shows a software interface titled "Configuration at Each End" with two columns for configuration. The left column is for "AP-Cerro azul" and the right column is for "Rx". Both columns use "Cambium Networks ePMP Force 180 (15.5dB)" equipment. The "Antenna Height" is set to 10 meters in both. The "Maximum EIRP" is 45.5 dBm and "Maximum Power" is 30.0 dBm, both with "User limit" checkboxes. The "Interference" level is set to -49.0 dBm in a 40 MHz channel for the AP and -88.0 dBm for the Rx. Each column also has a "MAC Address" input field.

Parameter	AP-Cerro azul	Rx
Equipment	Cambium Networks ePMP Force 180 (15.5dB)	Cambium Networks ePMP Force 180 (15.5dB)
Antenna Height	10 meters (Max height at site is 10.0 m)	10 meters (Max height at site is 10.0 m)
Maximum EIRP	45.5 dBm <input type="checkbox"/> User limit	45.5 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power	30.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit	30.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Interference	<input checked="" type="checkbox"/> -49.0 dBm in 40 MHz channel	<input checked="" type="checkbox"/> -88.0 dBm in 40 MHz channel
MAC Address	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Figura 3.17 Configuración de equipos transmisores y receptores**

La manipulación de estos parámetros es clave para la obtención de los radios enlaces esperados, los resultados de las simulaciones se verán reflejados en el capítulo posterior.

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

Una vez ejecutados los procedimientos detallados en el capítulo 3, se obtuvieron resultados que permitieron conocer la situación actual acerca del comportamiento espectral en la banda de 5GHz en Cerro Azul.

Del análisis preliminar de las mediciones realizadas a distintas alturas y orientaciones, se pudo evidenciar en primer lugar que cada dirección a la que apunta el equipo representa un sector específico de la ciudad de Guayaquil (Tabla 4.1).

Con la herramienta de Google Earth, que permite trasladarse cualquier lugar de la Tierra y ver imágenes satelitales del mismo, se puede observar a qué lugar corresponde cada dirección a la cual se ha orientado el equipo que está ubicado en la torre de la caseta B39. En la figura 4.1 se ilustra lo mencionado con anterioridad.

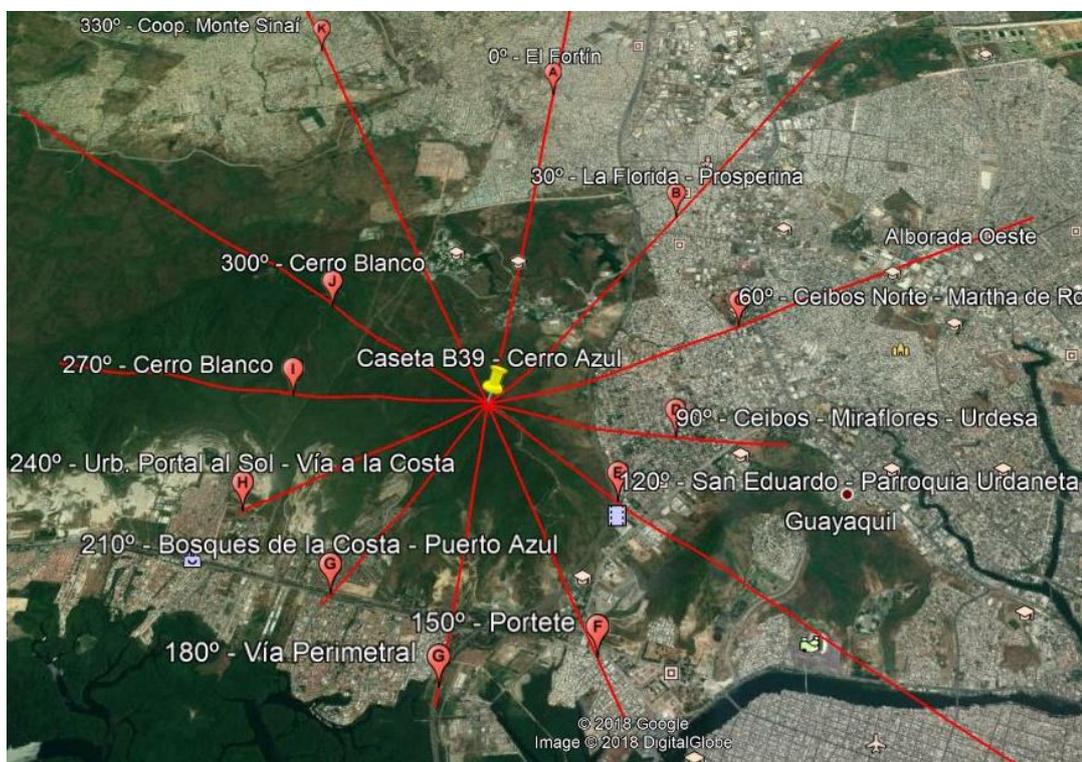


Figura 4.1 Orientación de los sectores de Guayaquil

**Tabla 4.1 Orientación de los sectores de Guayaquil**

Dirección	Sector de la ciudad
0°	El Fortín
30°	La Florida - Prosperina
60°	Alborada Oeste – Martha de Roldós
90°	Ceibos – Miraflores - Urdesa
120°	San Eduardo
150°	Portete
180°	Vía Perimetral
210°	Urb. Bosques de la Costa – Puerto Azul
240°	Urb. Portal al Sol
270°	Cerro Blanco
300°	Cerro Blanco
330°	Cooperativa Monte Sinaí

#### **4.1 Análisis general de cada escenario**

A lo largo de todo el conjunto de datos adquiridos, se identificaron una serie de cuestiones interesantes obtenidas a partir del analizador espectral, en las cuales el nivel de ruido se dispara a valores muy altos mientras que por otro lado existen escenarios en los que el nivel de ruido disminuye evidentemente. En cada uno se puede observar el valor de la potencia del ruido que presenta cada canal, que se percibe desde la torre en cuestión.

Es importante destacar que la clasificación de los escenarios está dada de acuerdo a la altura en que se encuentra el equipo, ya que justamente debido al previo análisis fue notorio el cambio de intensidad con la variación de este parámetro; más adelante se explicará el porqué de esta eventualidad.

De las 360 gráficas conseguidas por cada altura fue apreciable destacar que a medida que el día transcurría los valores de potencia disminuían, lo cual explica que durante las mañanas la actividad espectral es más intensa que por las noches, esto es a causa de que generalmente las personas están en constante movimiento ya que la señal generada por el transmisor llega por múltiples caminos y con potencias diferentes.

## **4.2 Comportamiento del ruido a distintas alturas en función de la orientación equipo**

Los resultados obtenidos en los diferentes escenarios, mostrados en las figuras 4.2 hasta la 4.13, establecen que una de las características principales del comportamiento espectral en Cerro Azul es que el nivel del ruido es inversamente proporcional a la altura en la que está ubicado el equipo, es decir, a medida que aumenta la posición del equipo el piso de ruido disminuye.

Al efectuarse el análisis a 15 metros se pudo evidenciar que alrededor del 12% de la banda de frecuencia de 5 GHz posee un nivel de ruido excesivamente alto comprendido entre los valores de -25 dBm a -50 dBm; no obstante, a 25 metros de altura tan solo el 9% presenta estos valores mientras que a 35 metros es nula la existencia de ruido. Observando las gráficas presentadas en esta sección, es válido destacar que en Cerro Azul existe un patrón de comportamiento del ruido conforme se varía la altura de colocación del equipo.

Una de las causas principales de esta situación se debe a que en las torres de telecomunicaciones aledañas se aprecia que la mayoría de los equipos transmisores están ubicados en las partes bajas de las torres y lo más probable es que las señales que emiten estos equipos interfieran sobre el analizador al utilizar elevadas potencias de transmisión o incluso estar transmitiendo sobre la misma banda de 5 GHz. Al juntar estas dos razones se produce el aumento de la potencia de ruido que se percibió desde el analizador espectral, especialmente a las alturas de 15 y 25 metros. En cuanto al ruido estimado a 35 metros demuestra que, al escasear la cantidad de transmisores colocados sobre esta altura ha ocasionado que éste disminuya; otro de los motivos es que Cerro Azul, pese a ser el cerro más alto de Guayaquil, aun así posee torres de gran elevación, de tal manera que en las partes más altas de las mismas son pocas las señales indeseadas que se reciben, en forma de ruido, por equipos externos que han sido colocados en lugares ajenos a este cerro.

En las figuras 4.12 y 4.13, curiosamente se pudo notar que a 300° y 330° los resultados fueron diferentes al patrón de comportamiento establecido

anteriormente. Esto se debe a la incidencia directa de señales provenientes de una torre contigua, perteneciente a la empresa de EP Petroecuador, que posee antenas colocadas a alturas cercanas a 25 metros.

Sin embargo, es preciso destacar que, los niveles de ruido también tienden a fluctuar dependiendo la dirección donde se empieza a analizarlo. Cuando la orientación del analizador apunte a zonas de gran población, se infiere que desde estos lugares se emiten cuantiosas señales que no tardan en llegar al equipo a manera de ruido mediante los distintos mecanismos de propagación, ya sea por reflexión, difracción o refracción.

Dentro de este análisis se puede destacar que existen 3 direcciones que presentan un incremento sobre el nivel promedio de ruido que usualmente mantienen las 3 distintas alturas (Figura 4.5, 4.10, 4.11). A continuación, en la tabla 4.2 se indican el porcentaje de saturación de la banda de 5 GHz según la dirección.

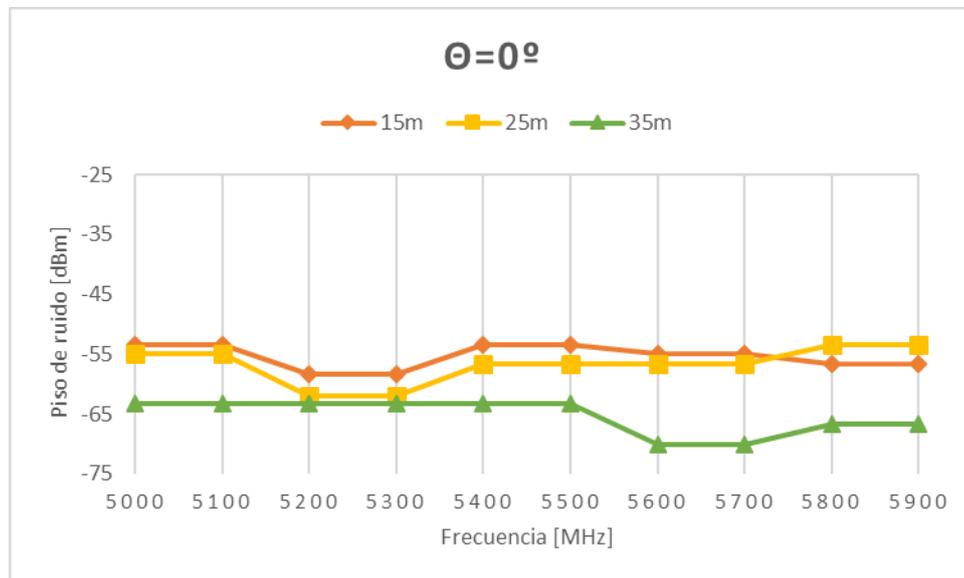
**Tabla 4.2 Porcentaje de saturación de la banda de 5 GHz según la dirección**

<b>Dirección</b>	<b>Porcentaje de saturación de la banda de 5 GHz</b>
<b>270°</b>	29%
<b>240°</b>	20%
<b>90°</b>	20%

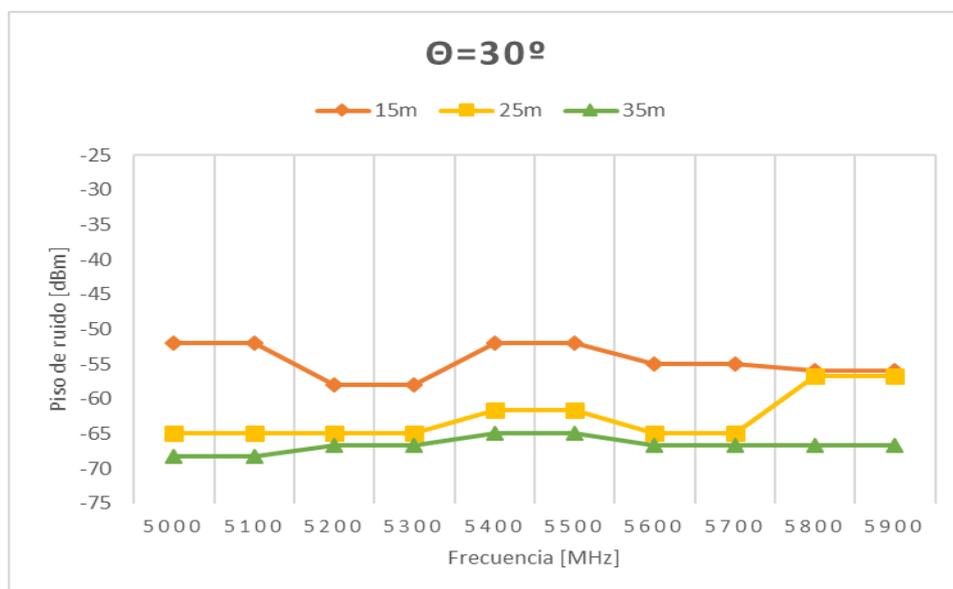
A 270°, según la figura 4.1, se alcanza a divisar el bosque protector Cerro Blanco, que en realidad no es considerado como fuente de ruido, a pesar de ello, cuando el equipo apunta a esta dirección se encuentra con la presencia de antenas microondas de gran tamaño que usualmente emiten señales a altas potencias que inciden directamente sobre el analizador espectral. Por lo tanto, es posible que el aumento de ruido que produce una saturación espectral del 29% (Figura 4.11) se deba principalmente a esta causa.

Cuando el analizador está ubicado a 240° recibe toda la radiación electromagnética emitida desde Vía a la Costa y también las señales desde una torre de telecomunicaciones con múltiples antenas tipo lazo; por otro lado, a 90° el equipo señala hacia el sector de Ceibos – Miraflores – Urdesa, los cuales son lugares

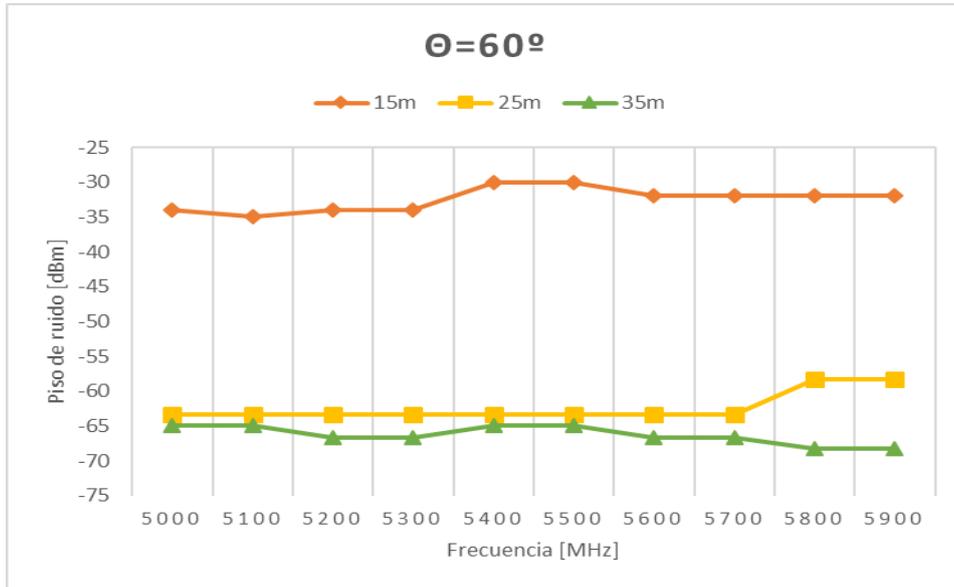
altamente comerciales y por ende muy poblados. Todas estas razones son consideradas como el origen de la elevación de ruido que se percibe a estas orientaciones.



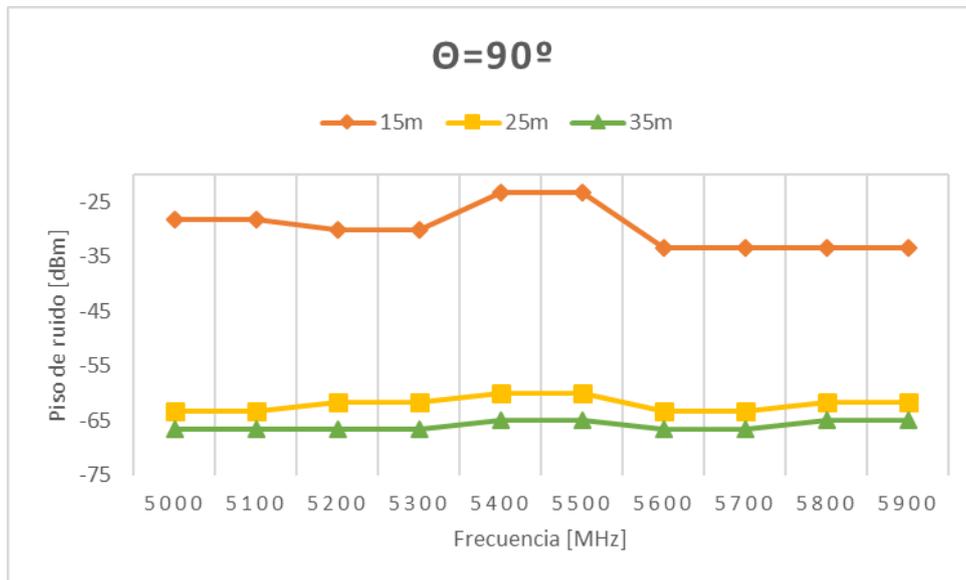
**Figura 4.2 Patrón del comportamiento del ruido a  $0^\circ$**



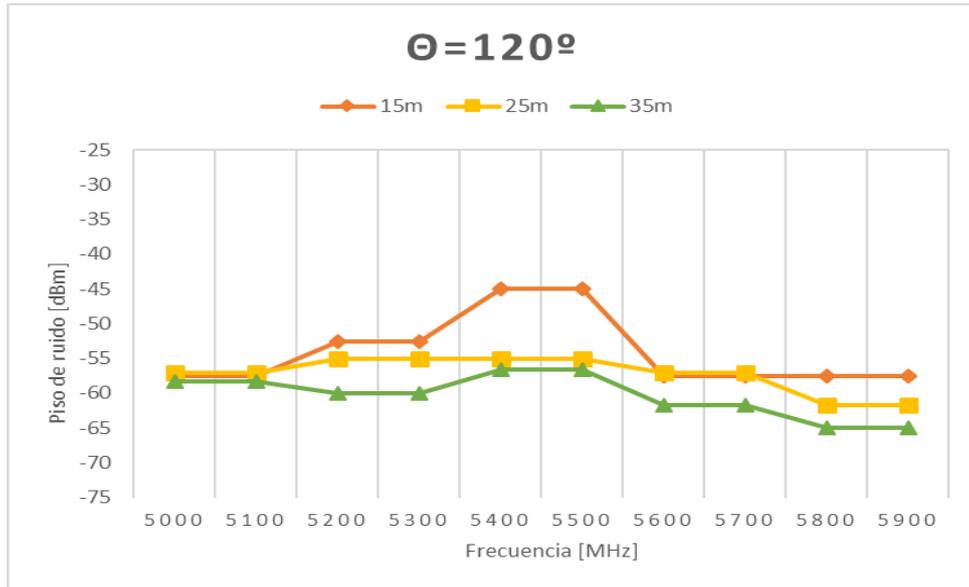
**Figura 4.3 Patrón del comportamiento del ruido a  $30^\circ$**



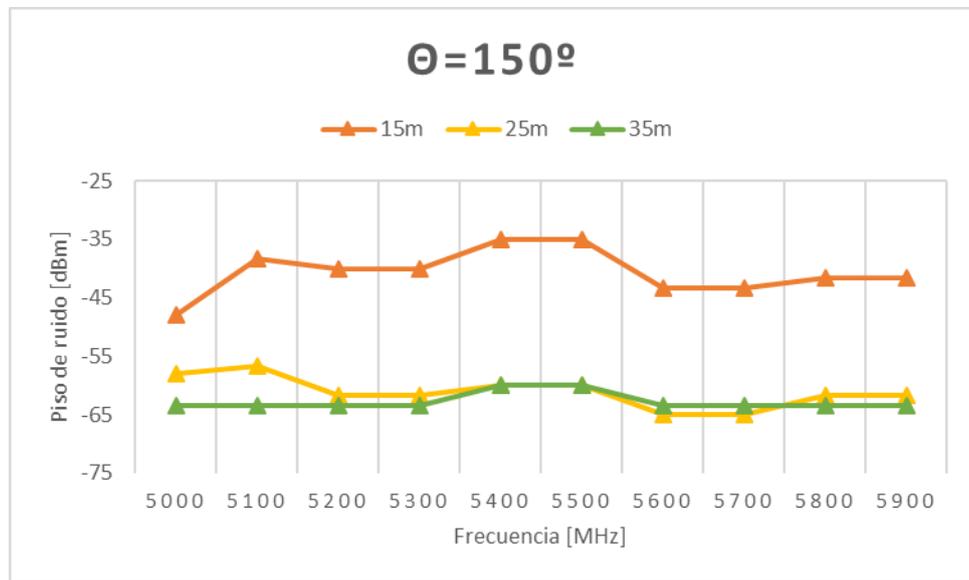
**Figura 4.4 Patrón del comportamiento del ruido a  $60^\circ$**



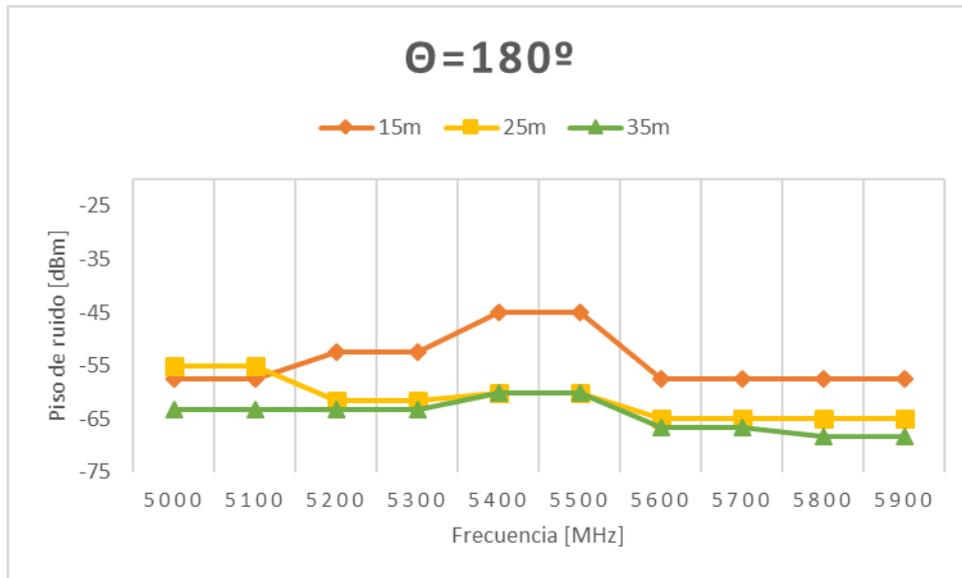
**Figura 4.5 Patrón del comportamiento del ruido a  $90^\circ$**



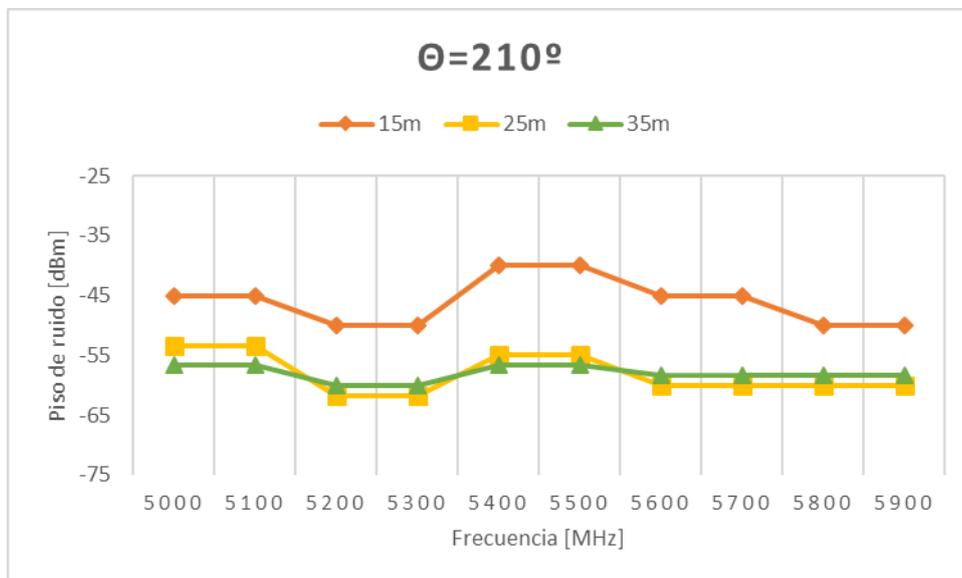
**Figura 4.6 Patrón del comportamiento del ruido a 120°**



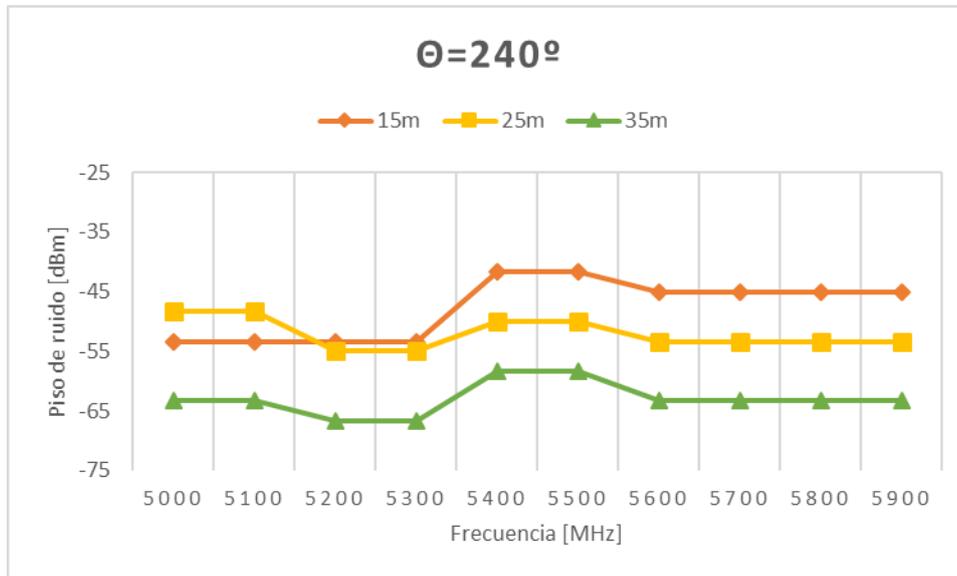
**Figura 4.7 Patrón del comportamiento del ruido a 150°**



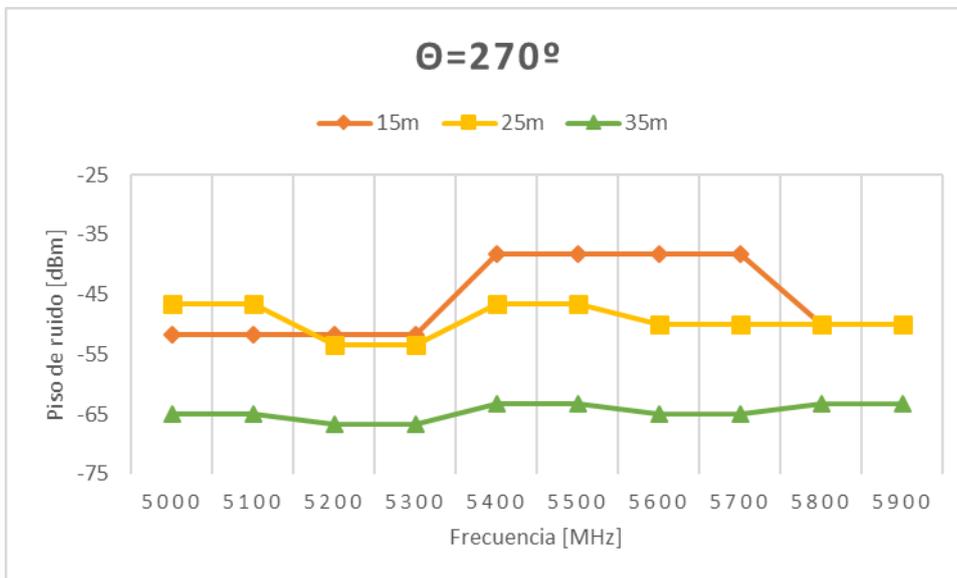
**Figura 4.8 Patrón del comportamiento del ruido a 180°**



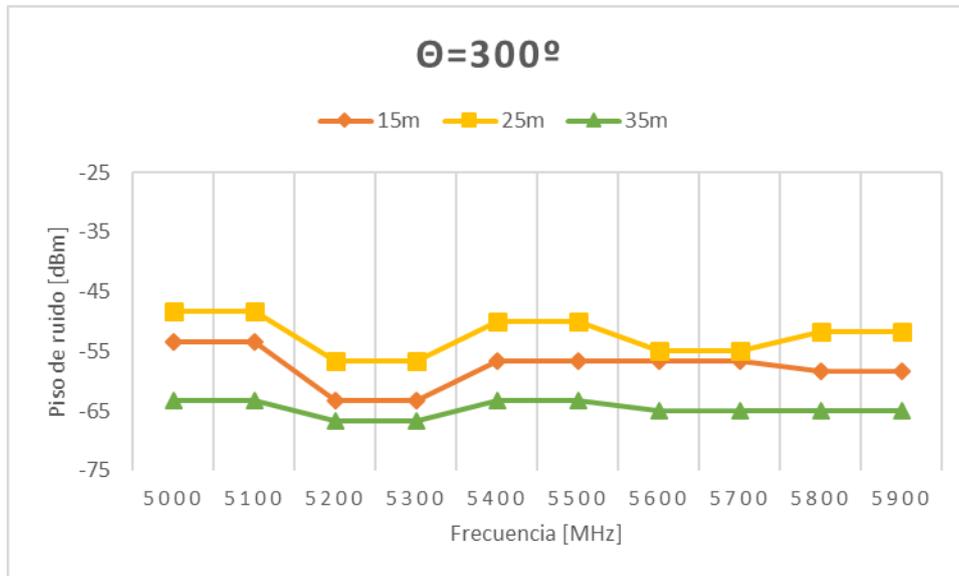
**Figura 4.9 Patrón del comportamiento del ruido a 210°**



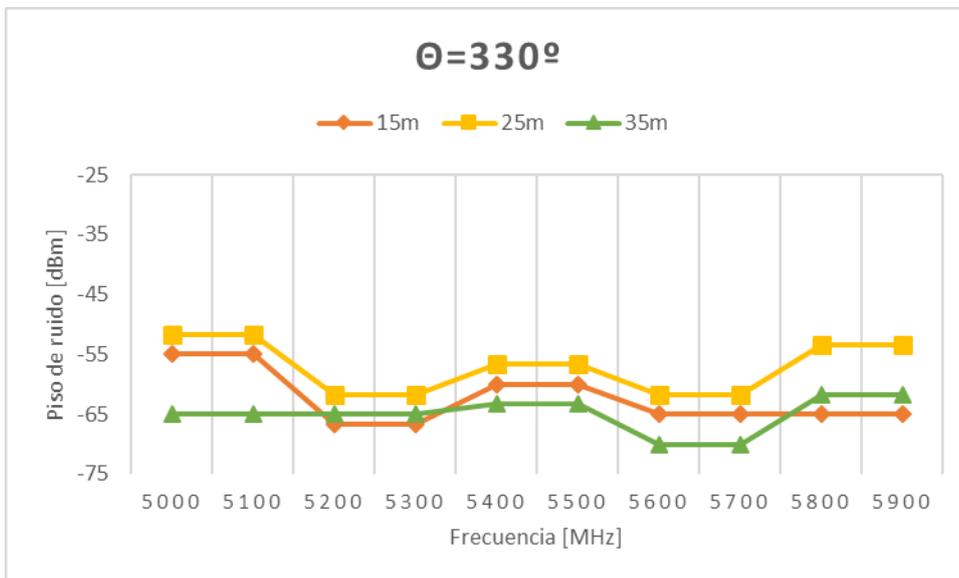
**Figura 4.10 Patrón del comportamiento del ruido a 240°**



**Figura 4.11 Patrón del comportamiento del ruido a 270°**

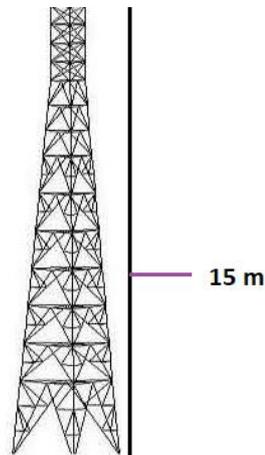


**Figura 4.12 Patrón del comportamiento del ruido a 300°**



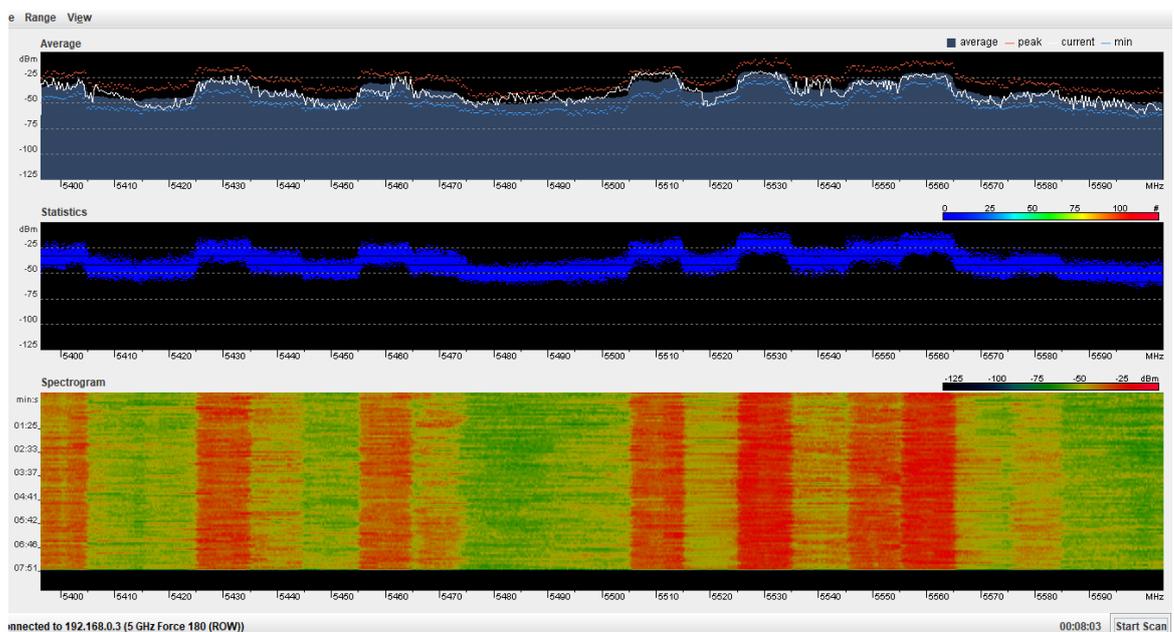
**Figura 4.13 Patrón del comportamiento del ruido a 330°**

## 4.2.1 Interpretación a 15 metros de altura

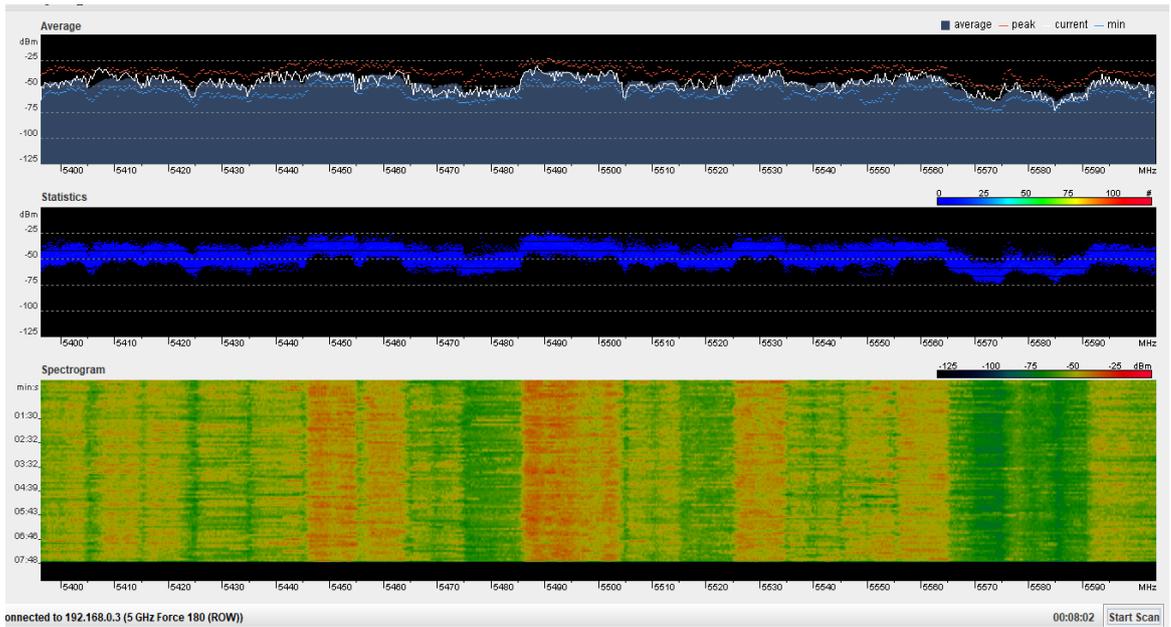


**Figura 4.14 Ubicación a 15 metros sobre la torre**

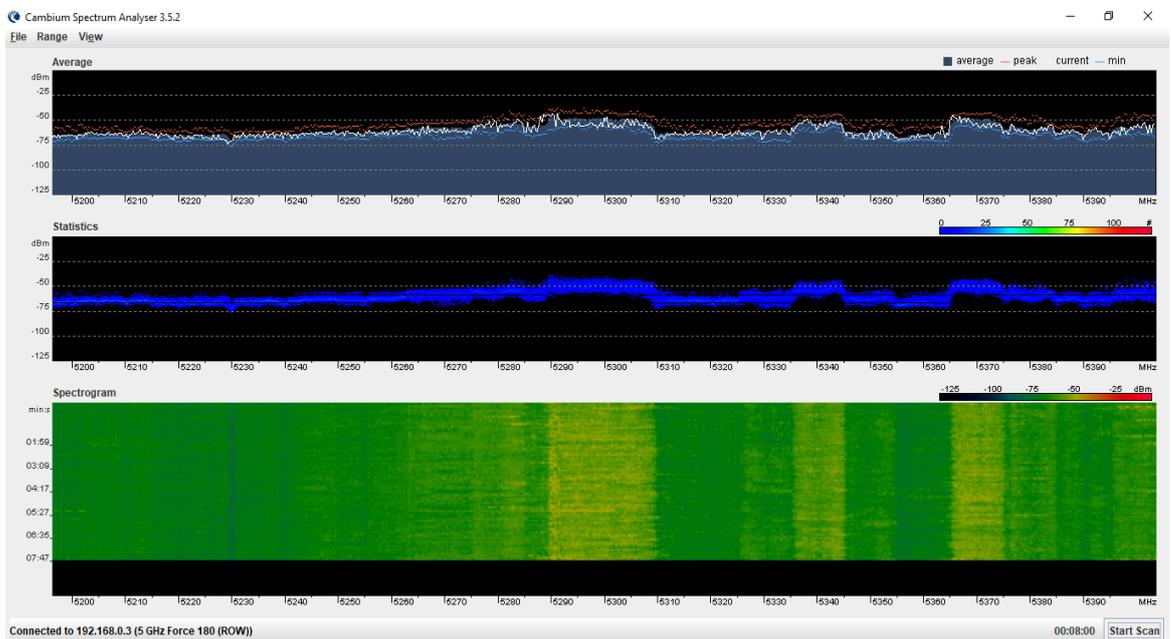
A 15 metros de altura, como indica la figura 4.14, la potencia del ruido en la banda de 5 GHz oscila en su mayoría sobre -50 dBm, siendo este el valor promedio para dicha altura; como valor máximo se obtiene -20 dBm y mínimo -65 dBm, aproximadamente. En las figuras 4.15, 4.16 y 4.17 se observa el comportamiento del piso de ruido en tres distintos escenarios, notando visiblemente la diferencia que existe en cada uno de ellos.



**Figura 4.15 Escenario espectral a 15 metros orientado a 90° con nivel de potencia de ruido de -20 dBm aproximadamente**



**Figura 4.16 Escenario espectral a 15 metros orientado a 210° con nivel de potencia de ruido de -50 dBm aproximadamente.**



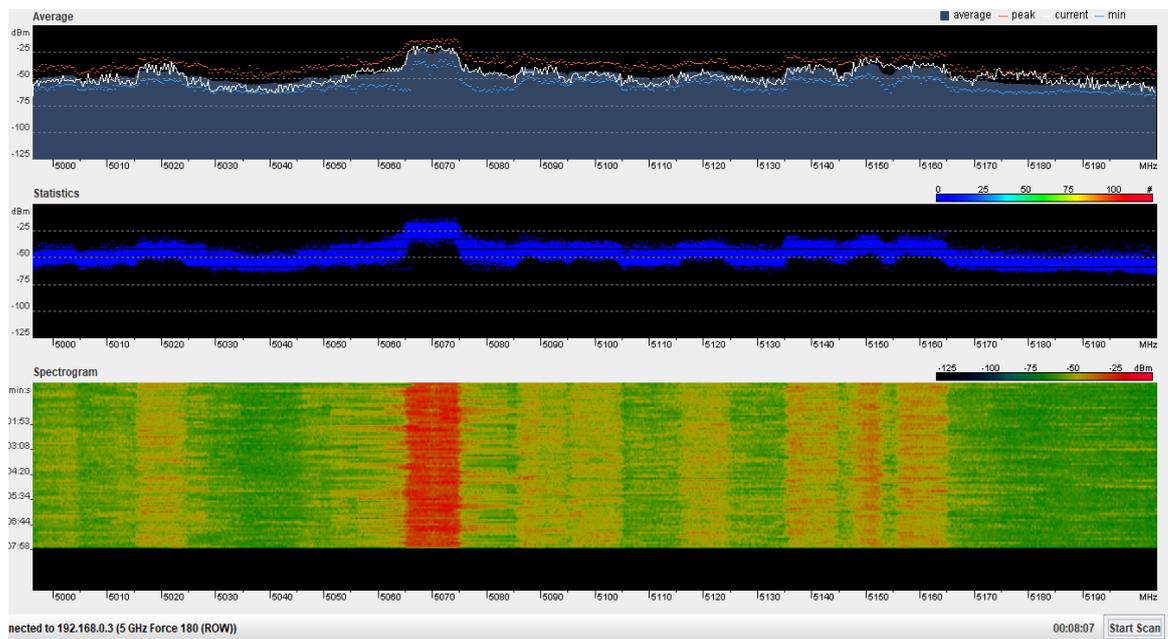
**Figura 4.17 Escenario espectral a 15 metros orientado a 330° con nivel de potencia de ruido de -65 dBm aproximadamente**

A partir de las 12 direcciones existentes, para esta altura se detallan las 3 más críticas con su respectivo sector en la ciudad de Guayaquil, como se puede apreciar en la tabla 4.3.

**Tabla 4.3 Direcciones y sectores críticos a 15 metros**

Dirección	Sector de la ciudad
90°	Ceibos – Miraflores – Urdesa.
240°	Urb. Portal al Sol – Vía a la costa
270°	Cerro Blanco.

Desde la figura 4.18 hasta la figura 4.32 se podrán observar los escenarios espectrales de cada una de las direcciones anteriormente mencionadas en toda la banda de 5 GHz.



**Figura 4.18 Escenario espectral a 90° en el rango de 5000 - 5200 MHz.**

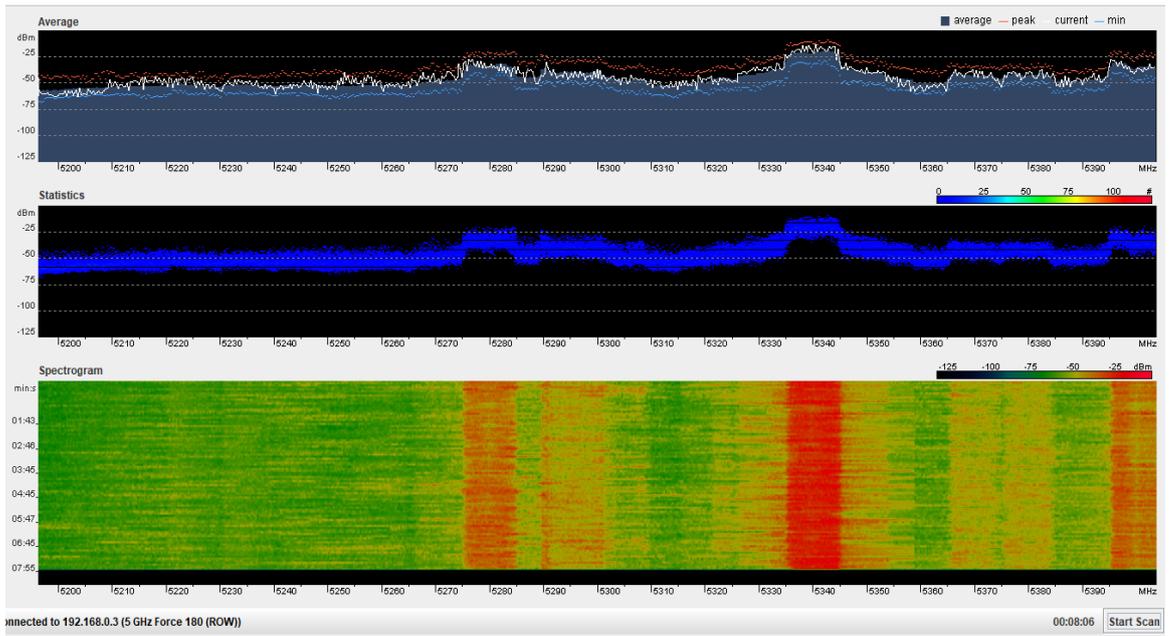


Figura 4.19 Escenario espectral a 90° en el rango de 5200 - 5400 MHz.

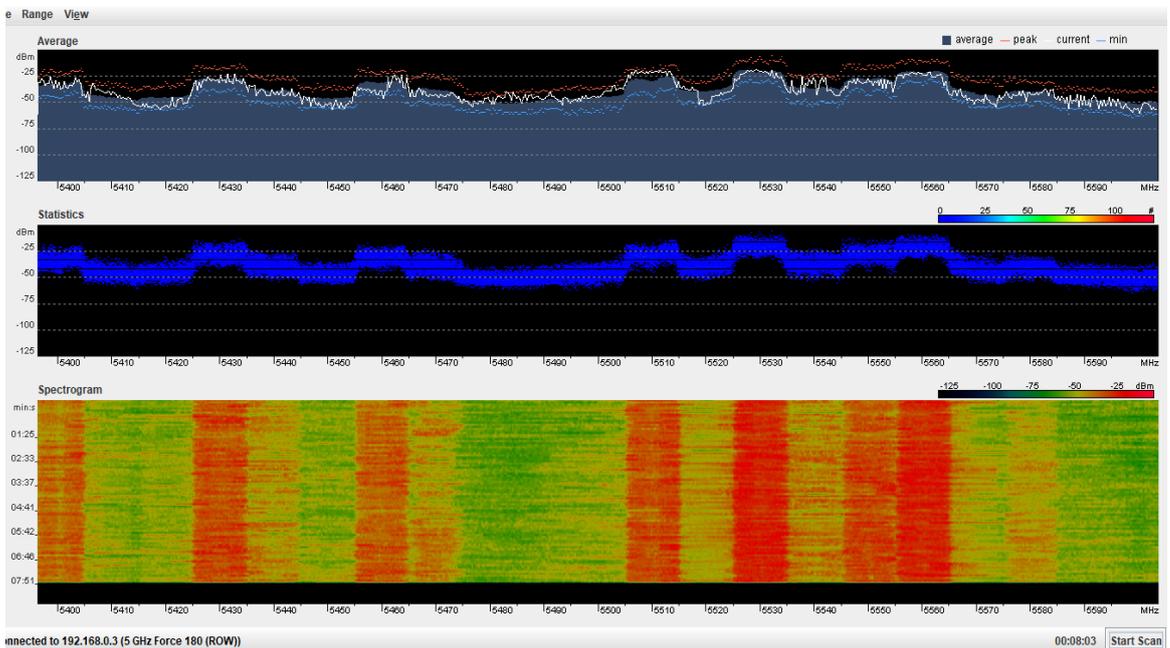


Figura 4.20 Escenario espectral a 90° en el rango de 5400 - 5600 MHz.

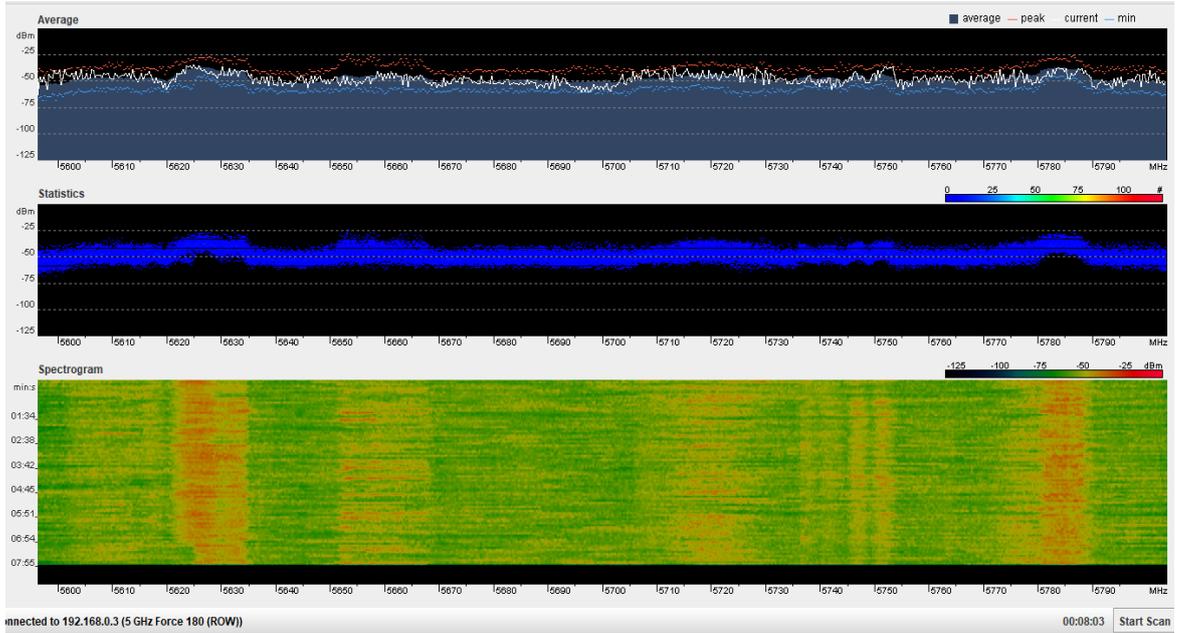


Figura 4.21 Escenario espectral a 90° en el rango de 5600 - 5800 MHz.

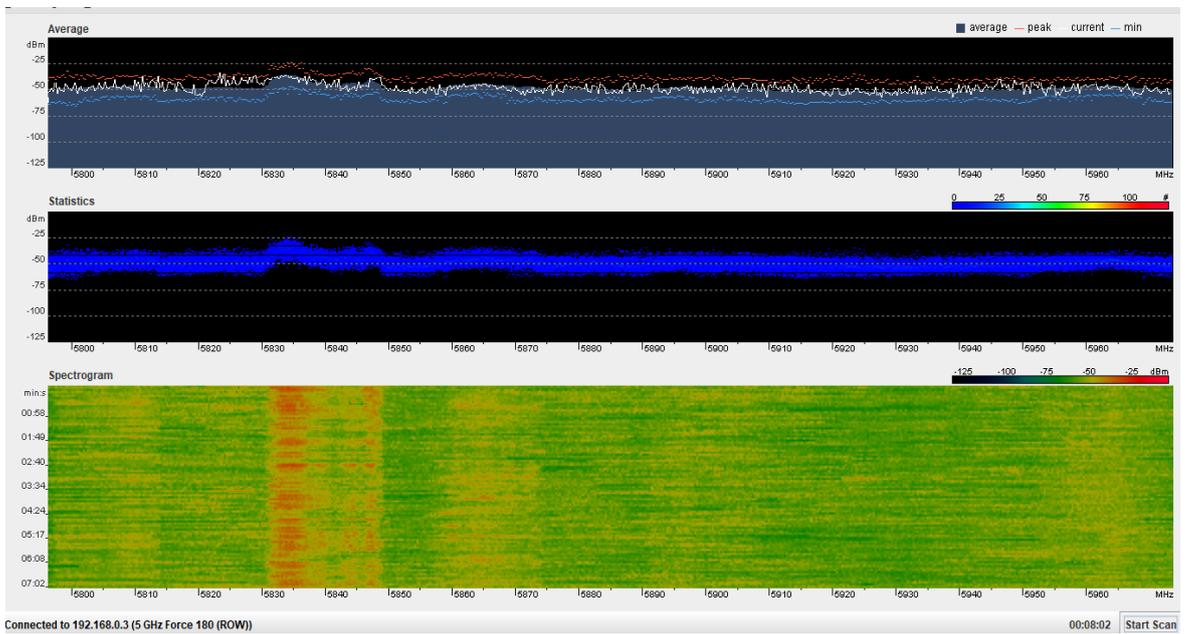


Figura 4.22 Escenario espectral a 90° en el rango de 5800 - 5970 MHz.

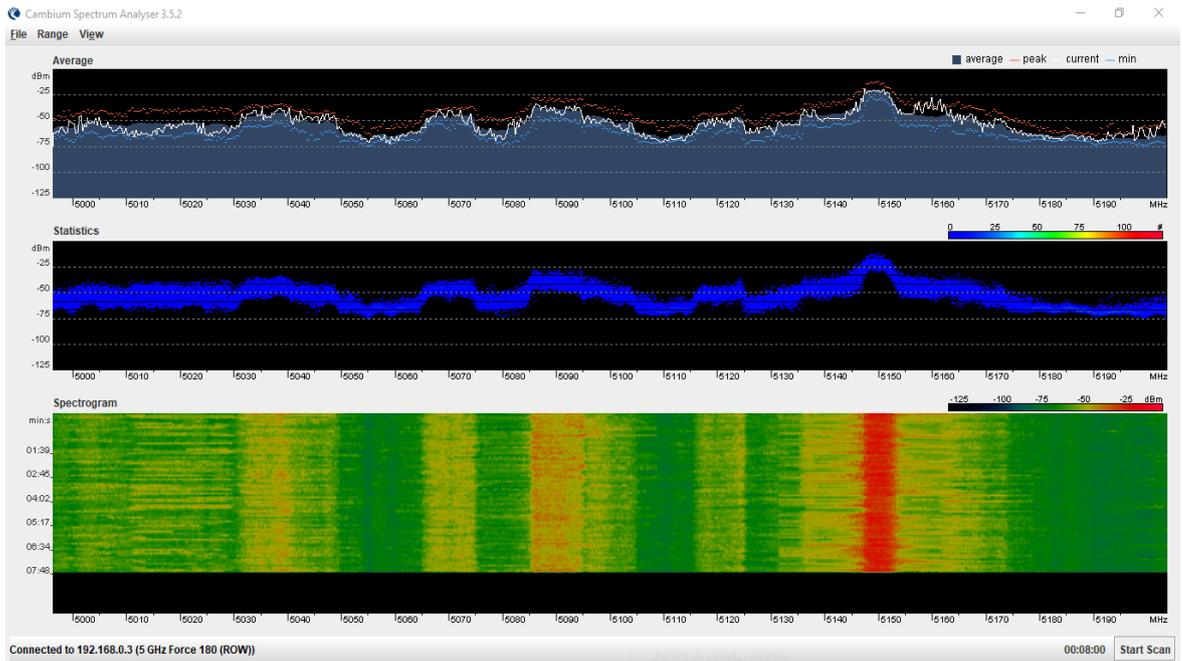


Figura 4.23 Escenario espectral a 240° en el rango de 5000 - 5200 MHz.

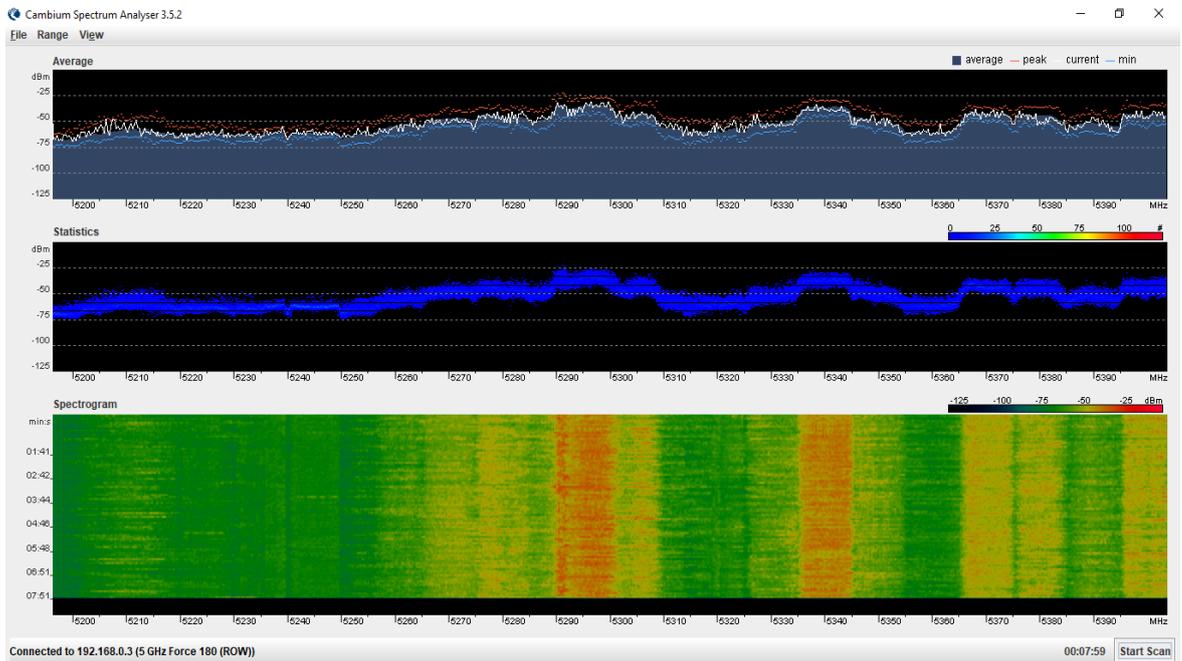
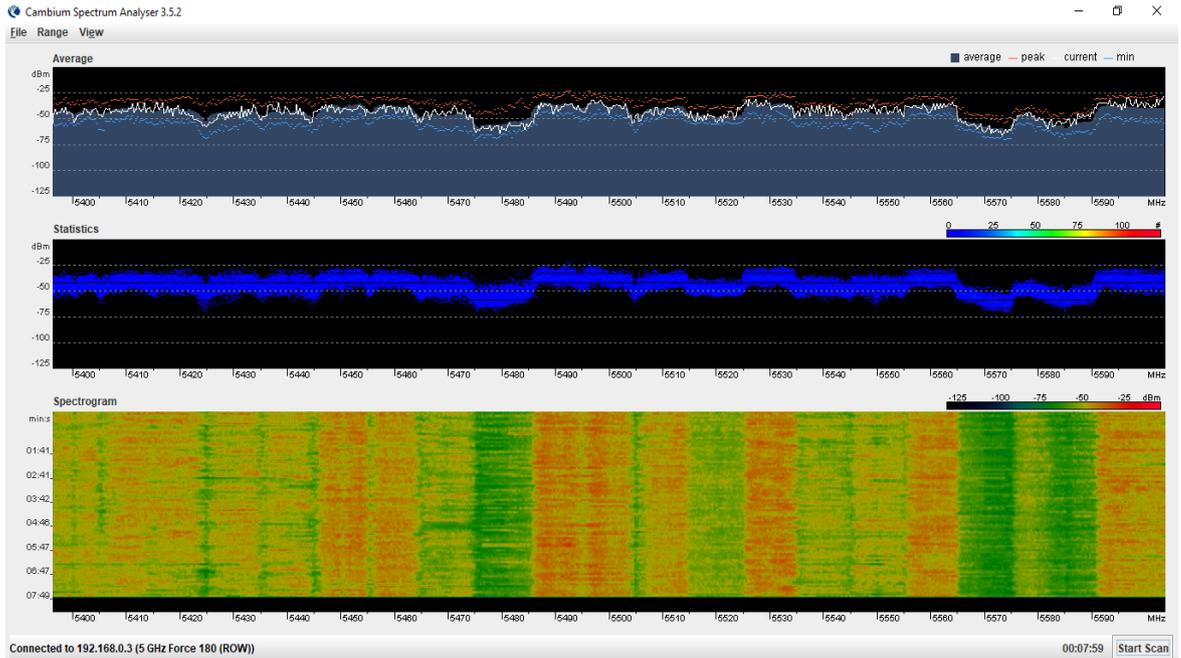
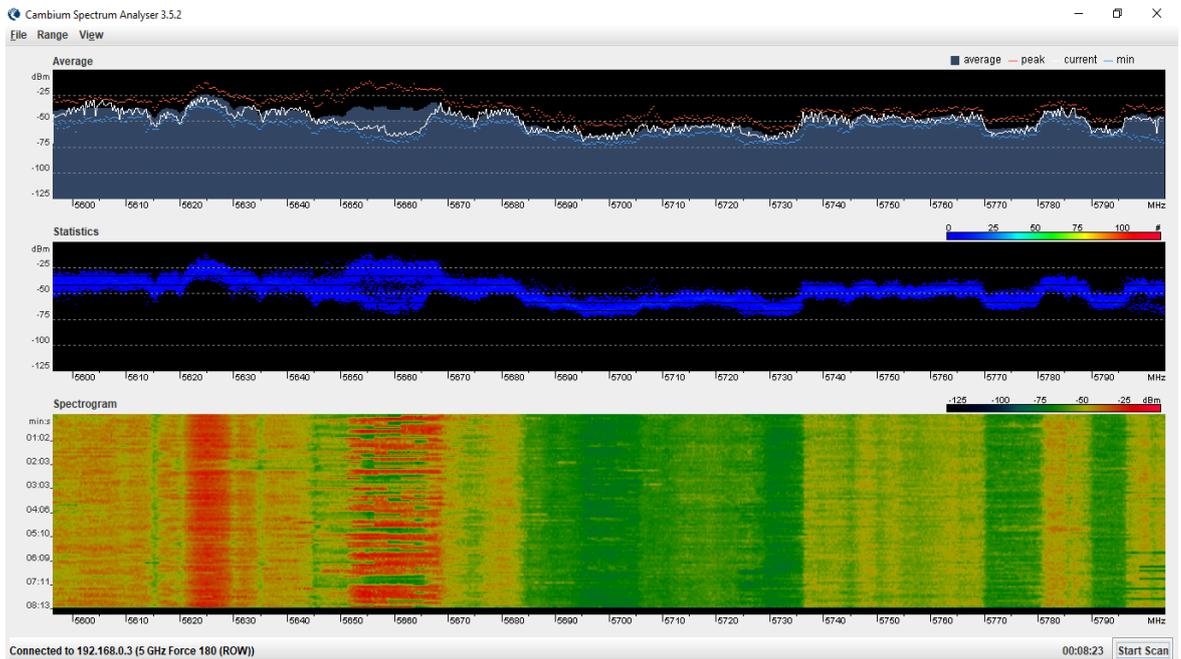


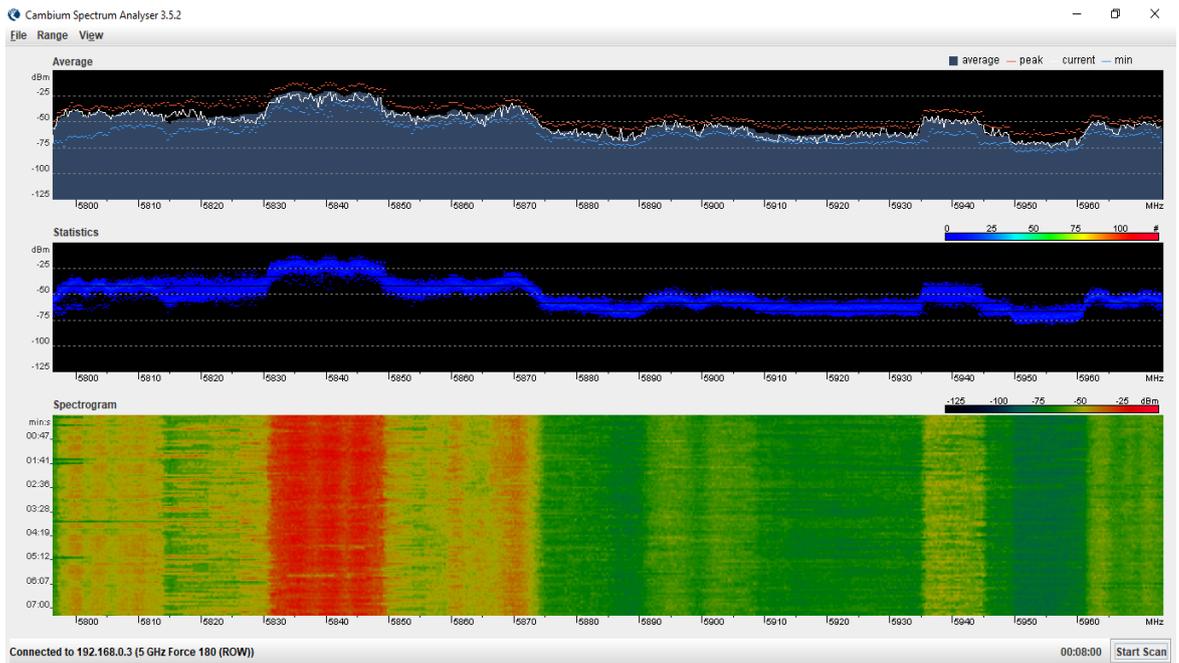
Figura 4.24 Escenario espectral a 240° en el rango de 5200 - 5400 MHz.



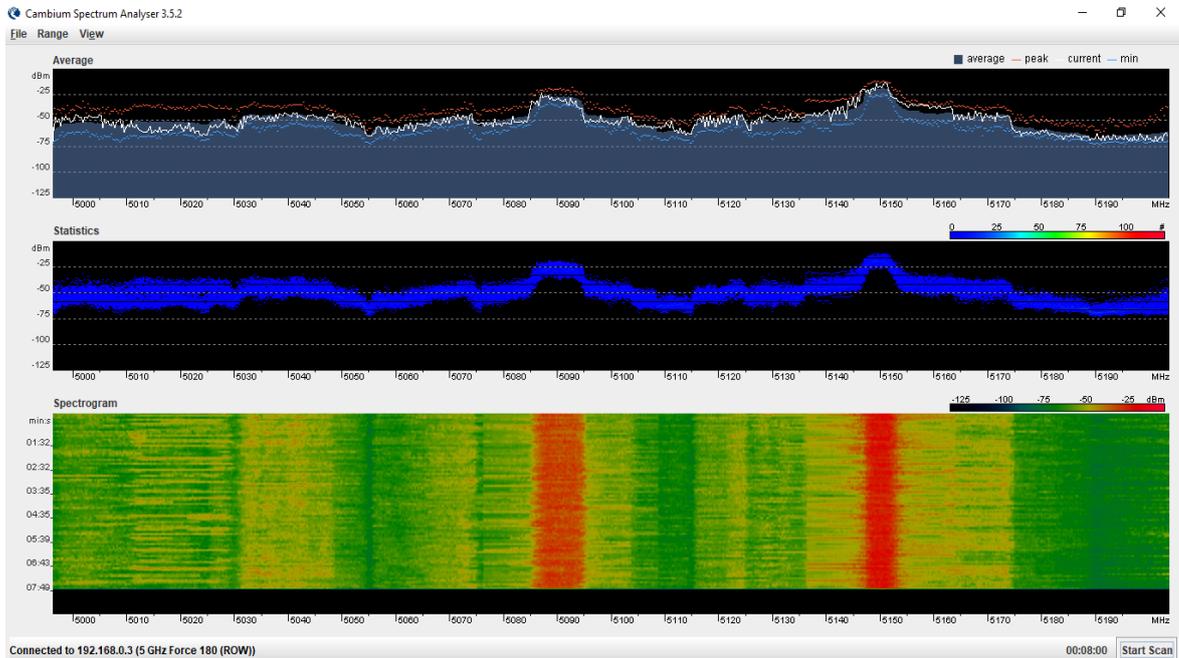
**Figura 4.25 Escenario espectral a 240° en el rango de 5400 - 5600 MHz.**



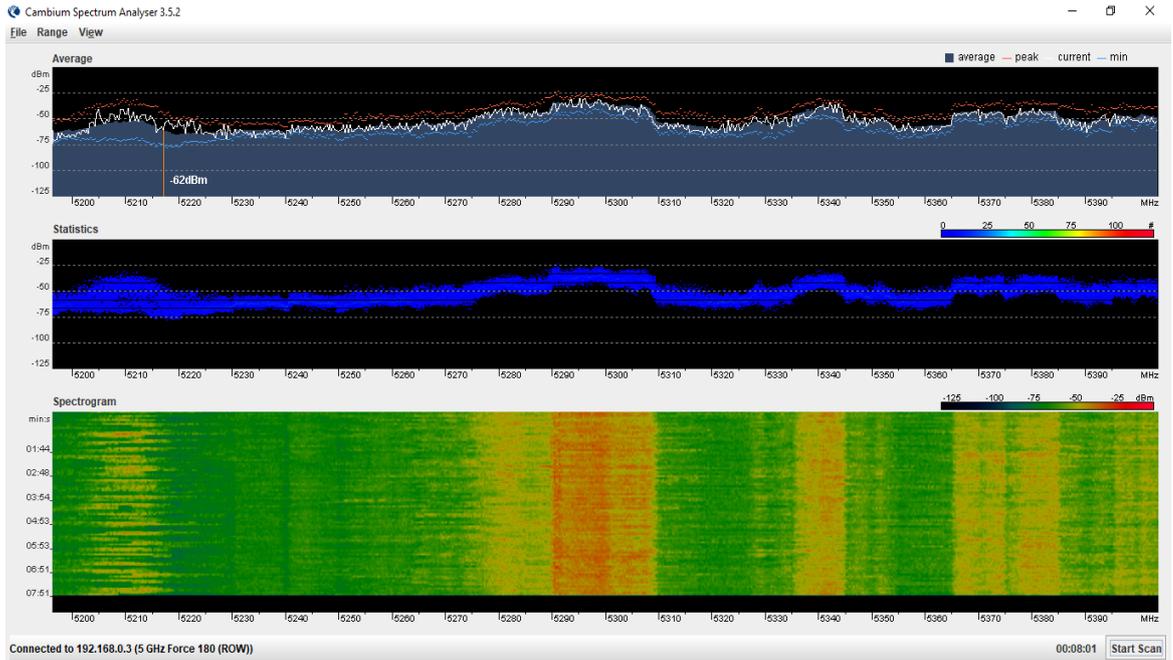
**Figura 4.26 Escenario espectral a 240° en el rango de 5600 - 5800 MHz.**



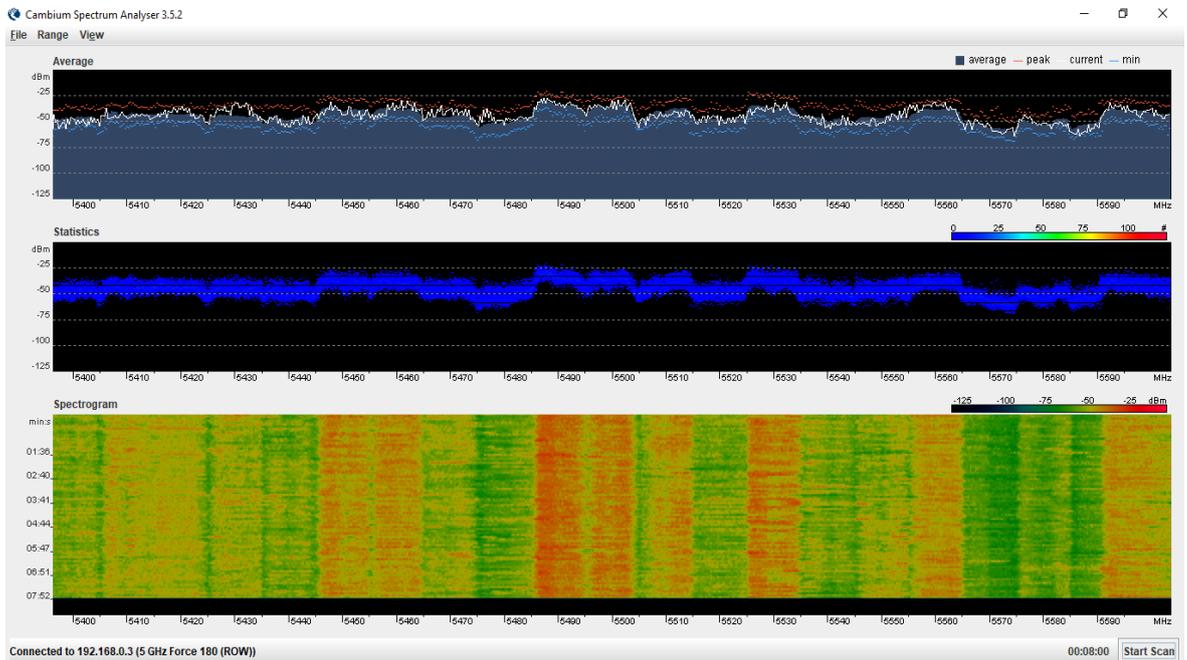
**Figura 4.27 Escenario espectral a 240° en el rango de 5800 - 5970 MHz.**



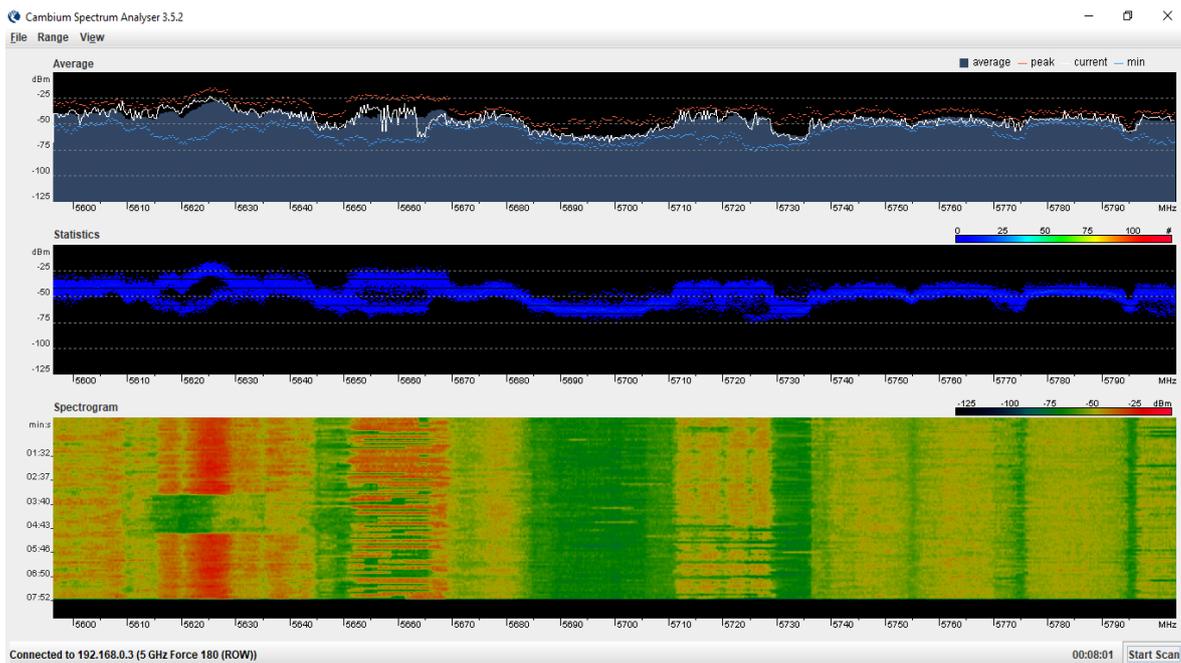
**Figura 4.28 Escenario espectral a 270° en el rango de 5000 - 5200 MHz.**



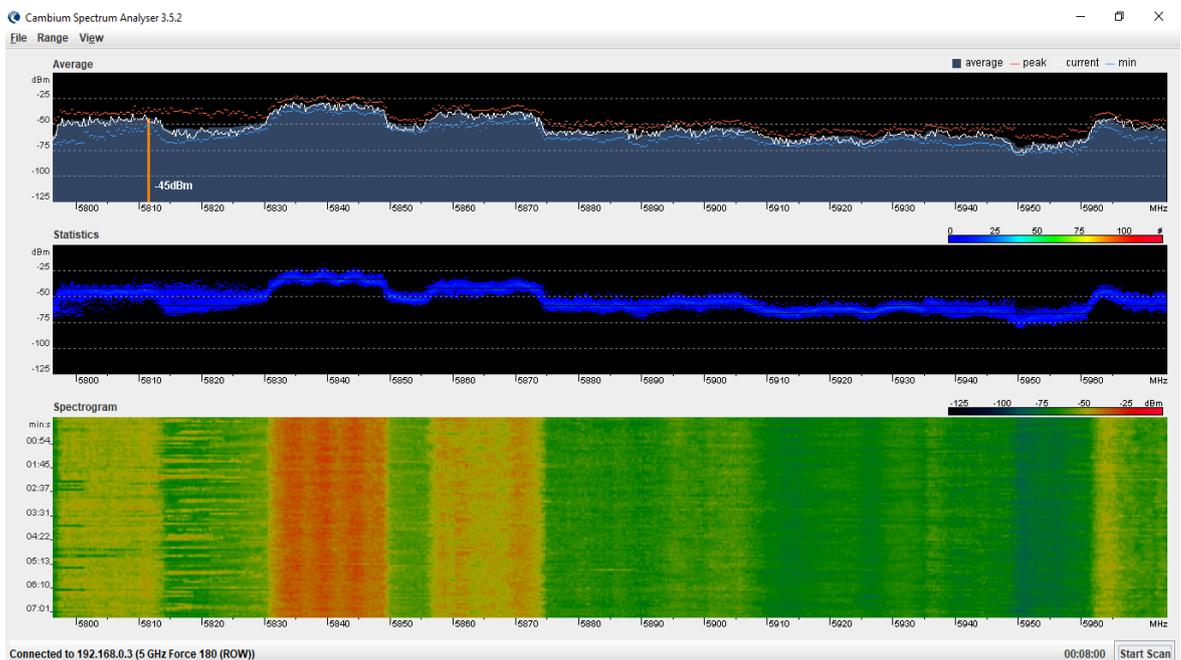
**Figura 4.29 Escenario espectral a 270° en el rango de 5200 - 5400 MHz.**



**Figura 4.30 Escenario espectral a 270° en el rango de 5400 - 5600 MHz.**



**Figura 4.31 Escenario espectral a 270° en el rango de 5600 - 5800 MHz.**



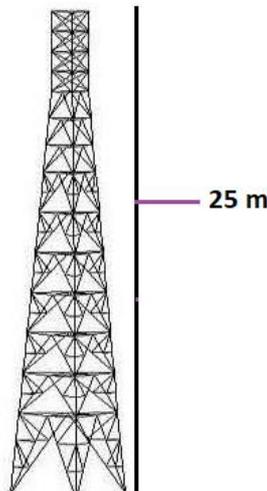
**Figura 4.32 Escenario espectral a 270° en el rango de 5800 - 5970 MHz.**

En la tabla 4.4, se detallan de color rojo las frecuencias críticas de la banda de 5 GHz sobre las 12 direcciones que se giraron sobre los 15 metros de la torre.

**Tabla 4.4 Frecuencias críticas a 15 metros**

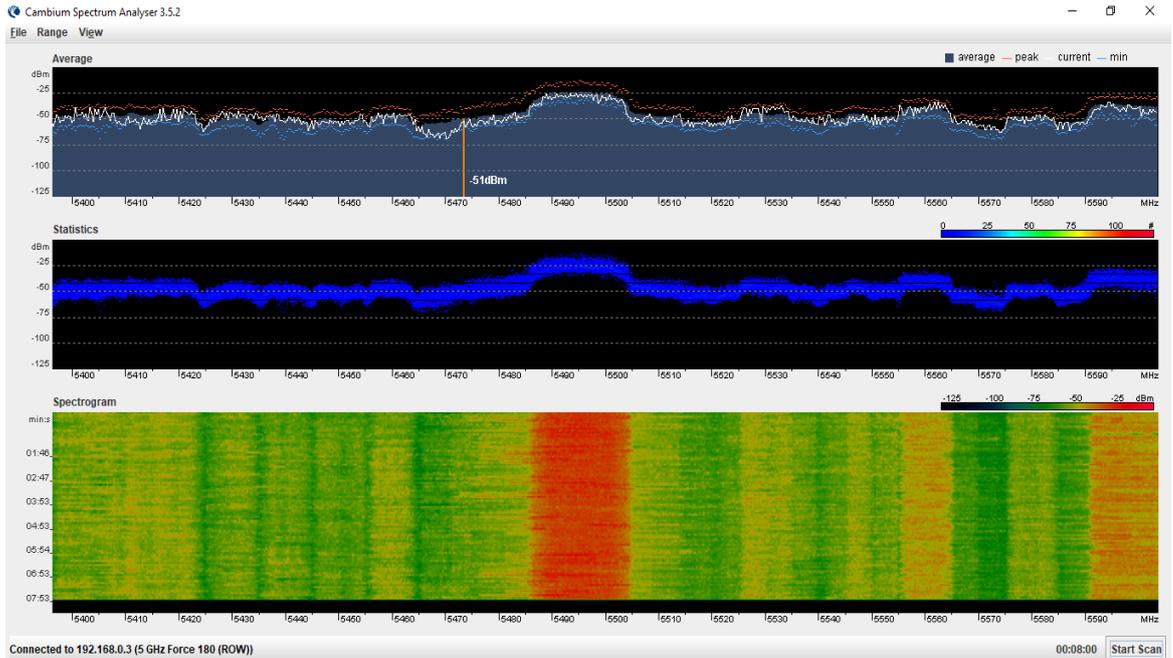
15 METROS												
5 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°	60°
5,1 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°	60°
5,2 GHz	90°	120°	150°	180°	240°	240°	270°			360°	30°	60°
5,3 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°	60°
5,4 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°	60°
5,5 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°	60°
5,6 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°	60°
5,7 GHz	90°	120°		180°	210°	240°	270°	300°		360°	30°	60°
5,8 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°	60°
5,9 GHz	90°	120°		180°	210°	240°	270°			360°	30°	60°

#### 4.2.2 Interpretación a 25 metros de altura

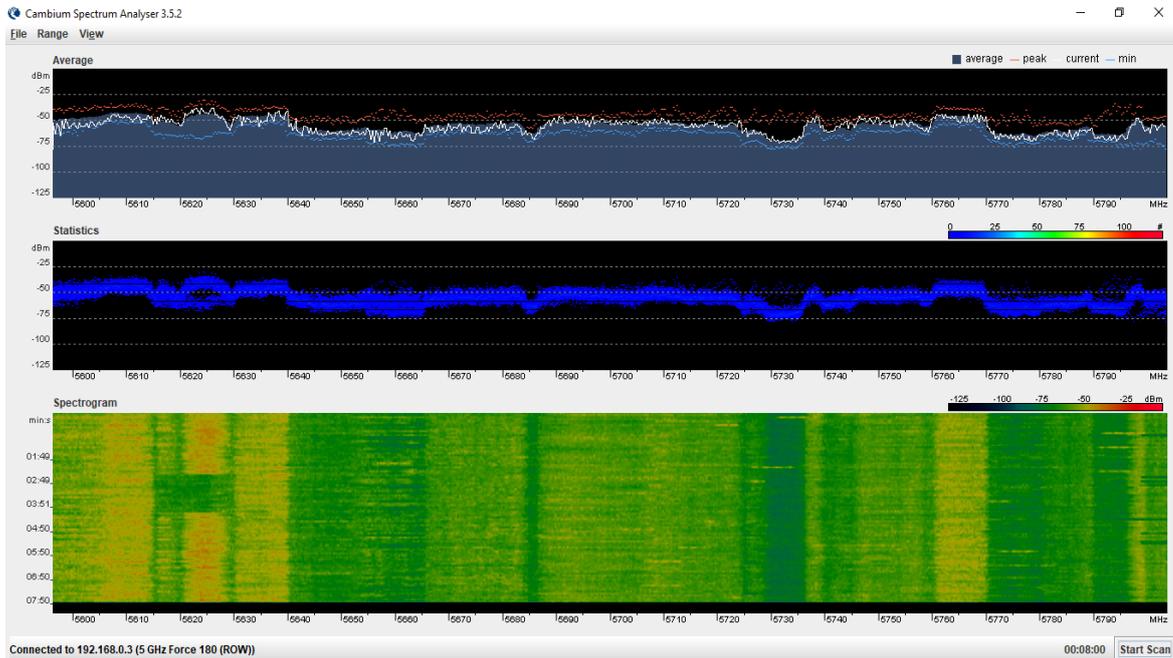


**Figura 4.33 Ubicación a 25 metros sobre la torre**

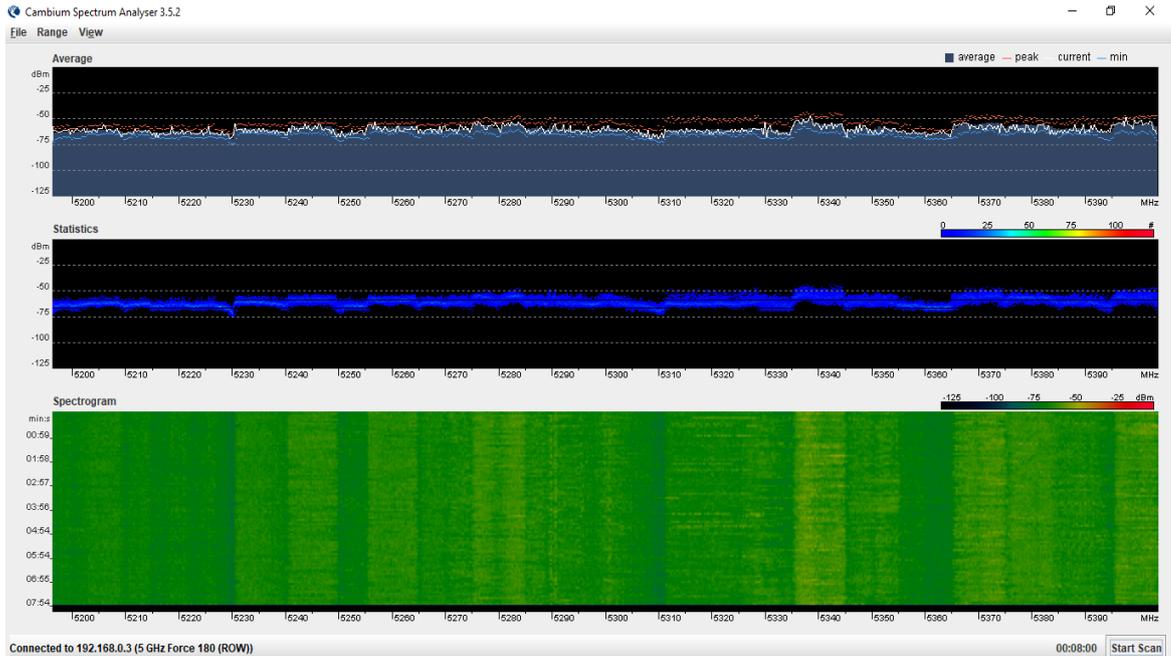
A 25 metros de altura, como indica la figura 4.33, la potencia del ruido en la banda de 5 GHz oscila mayormente sobre -60 dBm, siendo este el valor promedio para dicha altura, como valor máximo se obtiene -25 dBm y mínimo -75 dBm, aproximadamente. En las figuras 4.34, 4.35 y 4.36 se observa el comportamiento del piso de ruido de estas tres elecciones y se puede notar visiblemente la diferencia que existe en cada uno de los escenarios.



**Figura 4.34 Escenario espectral a 25 metros orientado a 270° con nivel de potencia de ruido de -25 dBm aproximadamente.**



**Figura 4.35 Escenario espectral a 25 metros orientado a 300° con nivel de potencia de ruido de -60 dBm aproximadamente.**



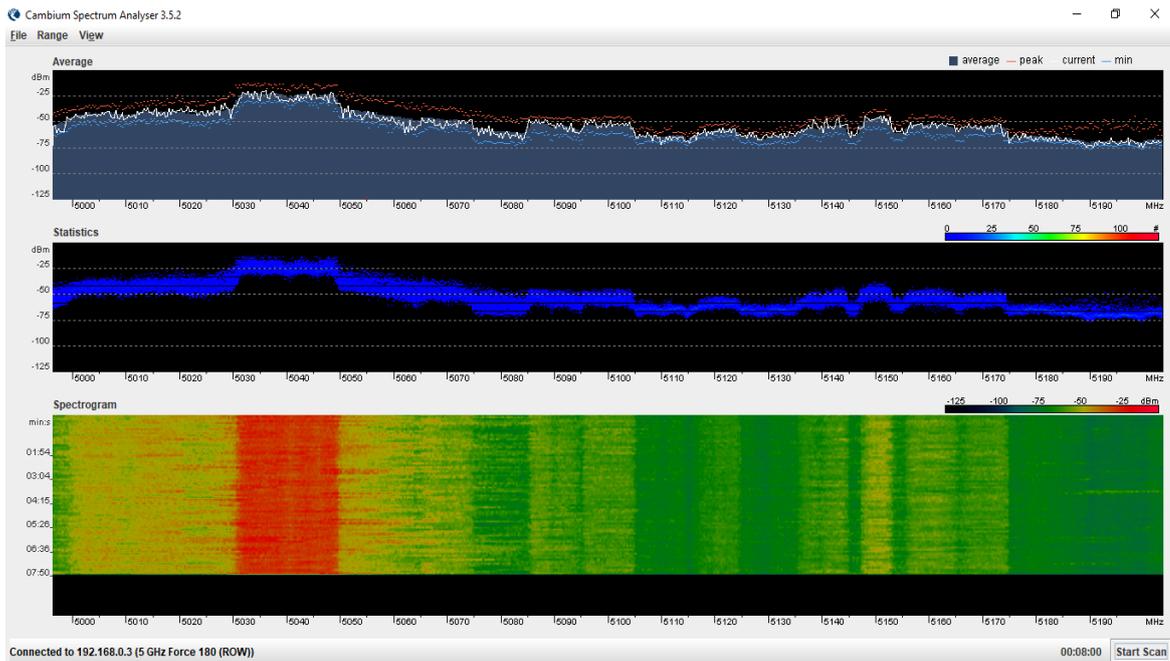
**Figura 4.36 Escenario espectral a 25 metros orientado a 360° con nivel de potencia de ruido de -75 dBm aproximadamente.**

A partir de las 12 direcciones existentes, para esta altura se detallan las 3 más críticas con su respectivo sector en la ciudad de Guayaquil, como se puede apreciar en la tabla 4.5.

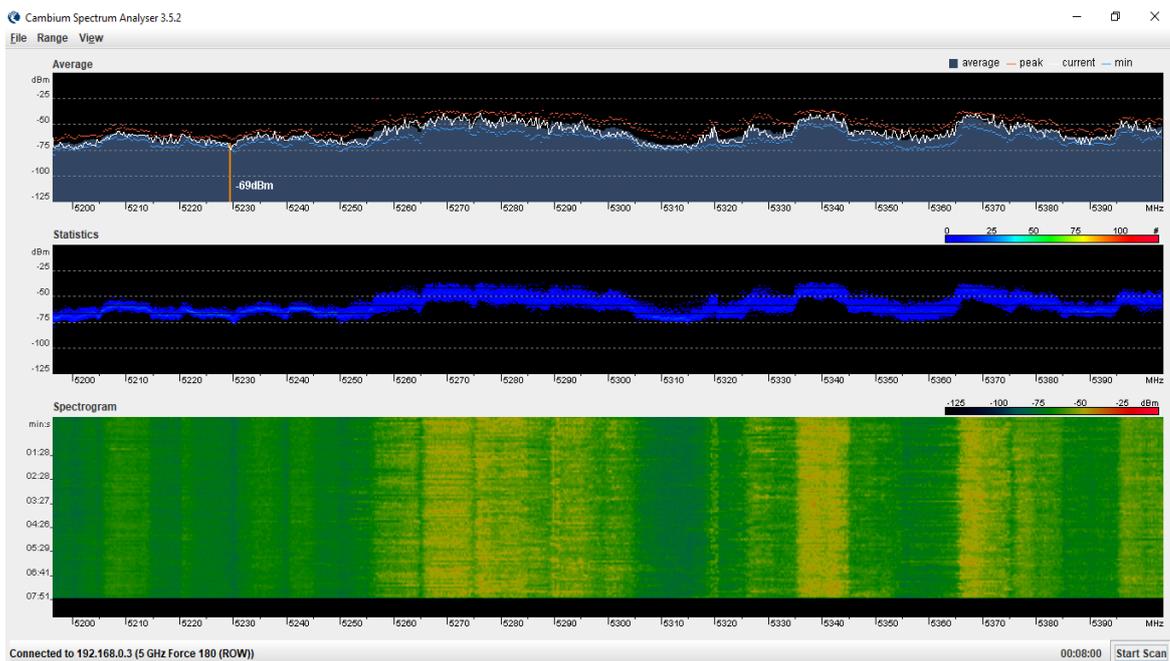
**Tabla 4.5 Direcciones y sectores críticos a 25 metros.**

Dirección	Sector de la ciudad
<b>240°</b>	Urb. Portal al Sol – Vía a la costa
<b>270°</b>	Cerro Blanco.
<b>300°</b>	Cerro Blanco.

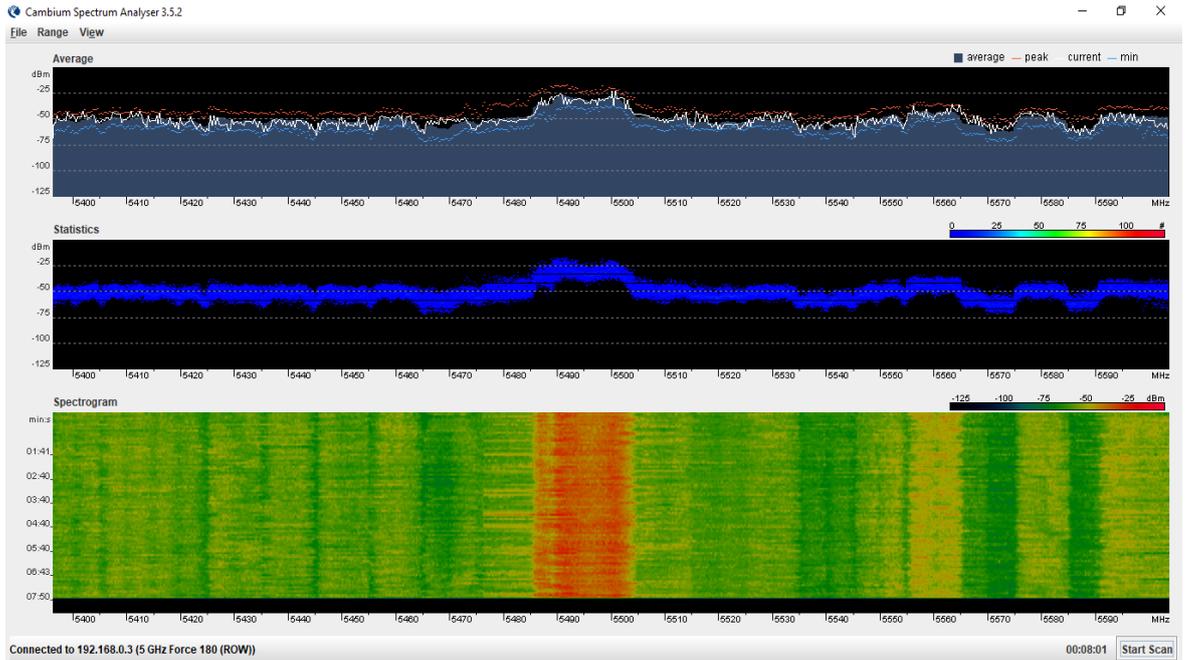
Desde la figura 4.37 hasta la figura 4.46, se podrán observar los escenarios espectrales de cada una de las direcciones anteriormente mencionadas en toda la banda de 5 GHz.



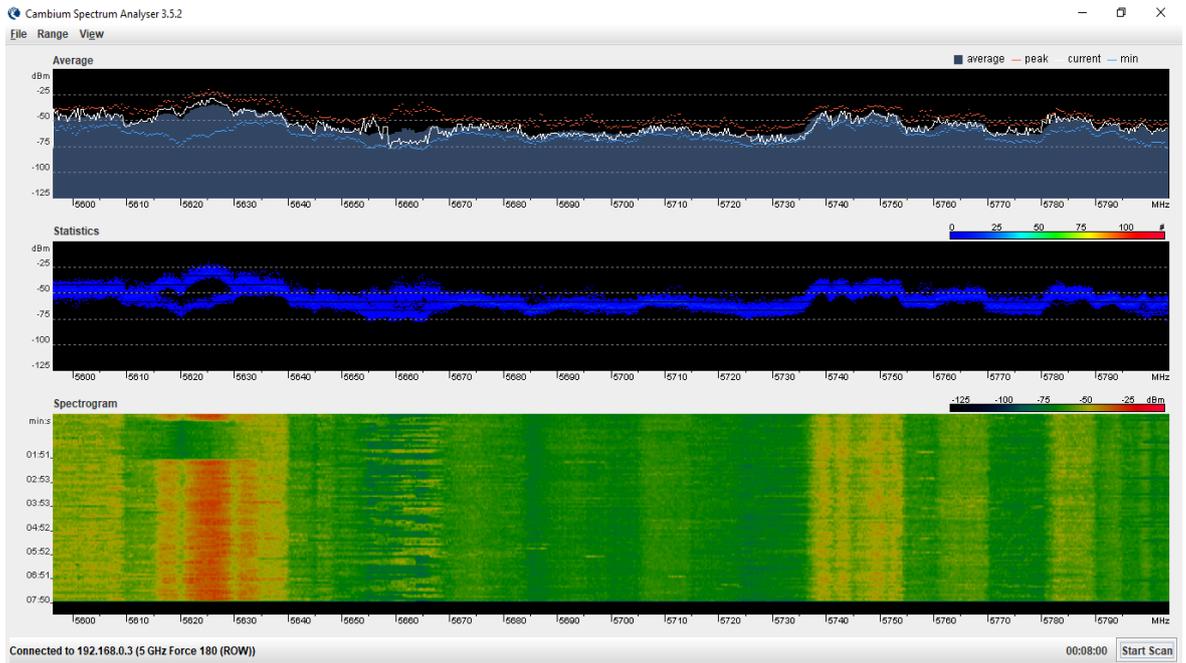
**Figura 4.37 Escenario espectral a 240° en el rango de 5000 - 5200 MHz.**



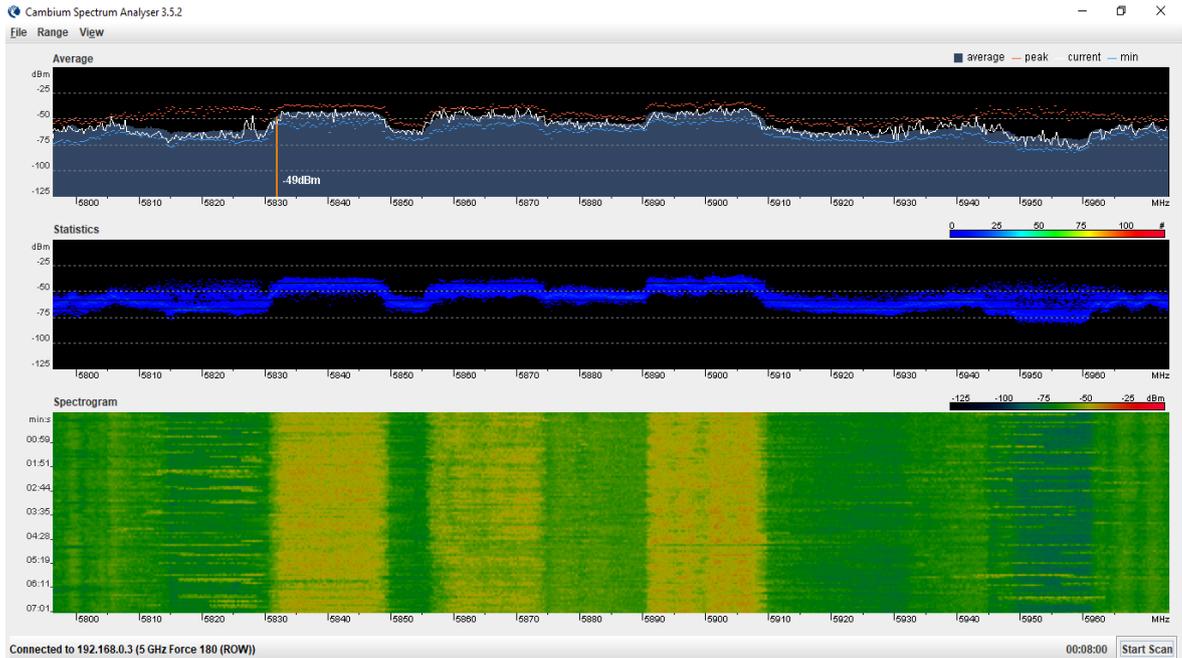
**Figura 4.38 Escenario espectral a 240° en el rango de 5200 - 5400 MHz.**



**Figura 4.39 Escenario espectral a 240° en el rango de 5400 - 5600 MHz.**

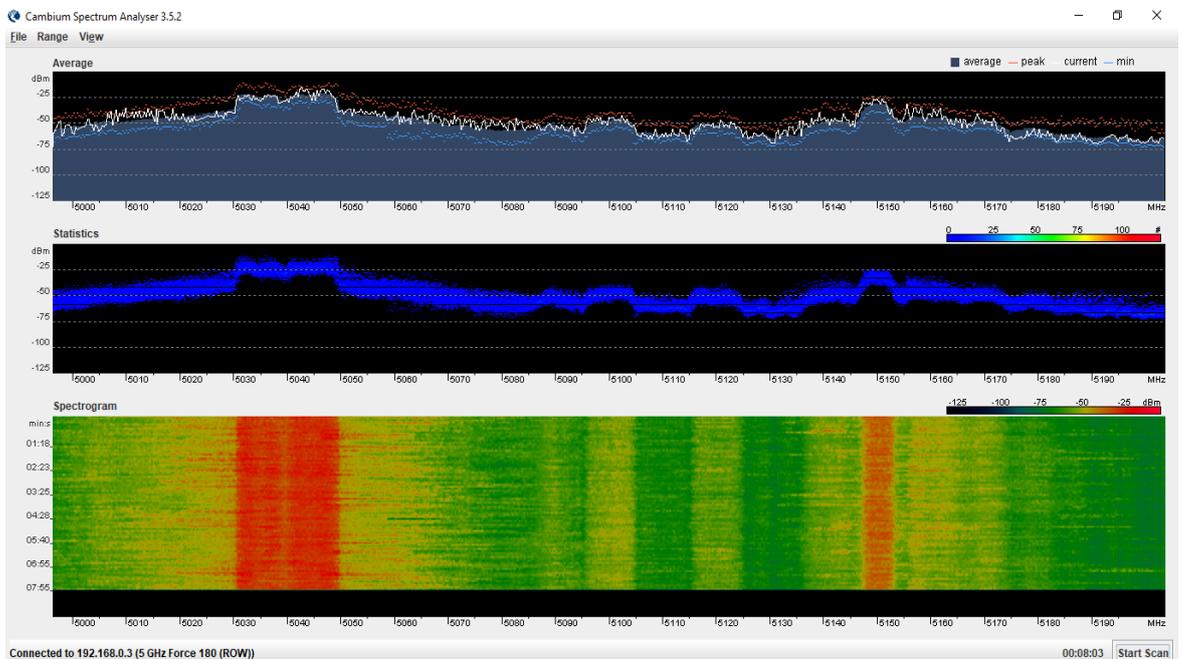


**Figura 4.40 Escenario espectral a 240° en el rango de 5600 - 5800 MHz.**

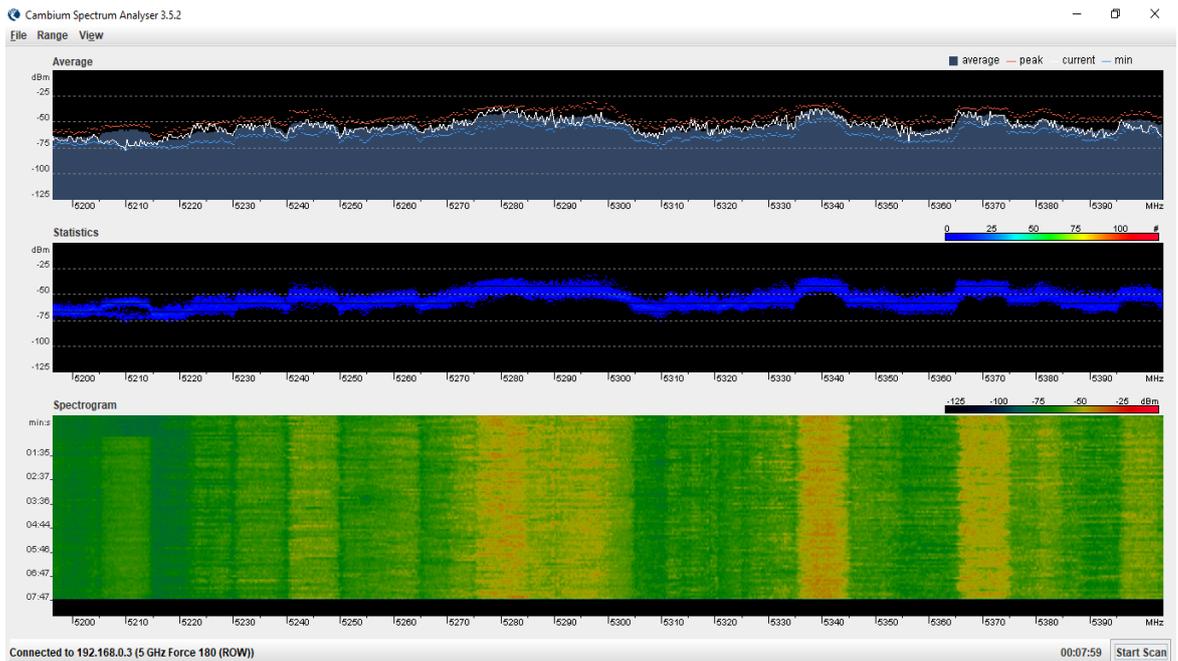


**Figura 4.41 Escenario espectral a 240° en el rango de 5800 - 5970 MHz.**

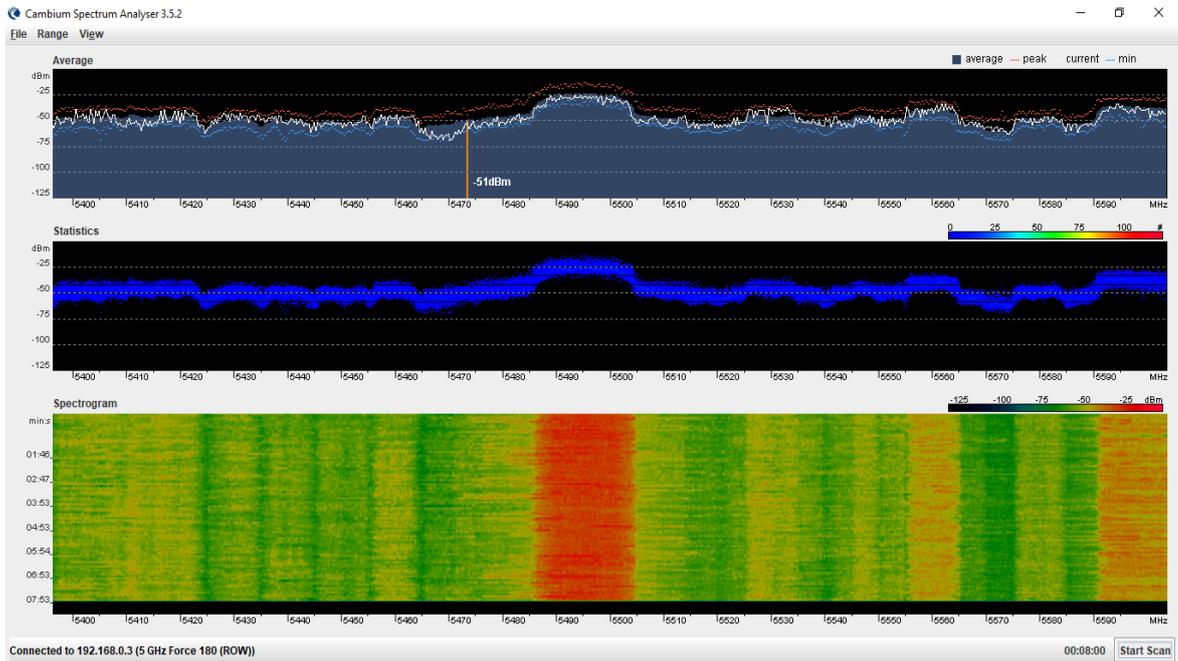
Puesto que las siguientes dos direcciones apuntan hacia Cerro Blanco, se plasmarán las gráficas de la dirección que posee el peor escenario en la banda de 5 GHz.



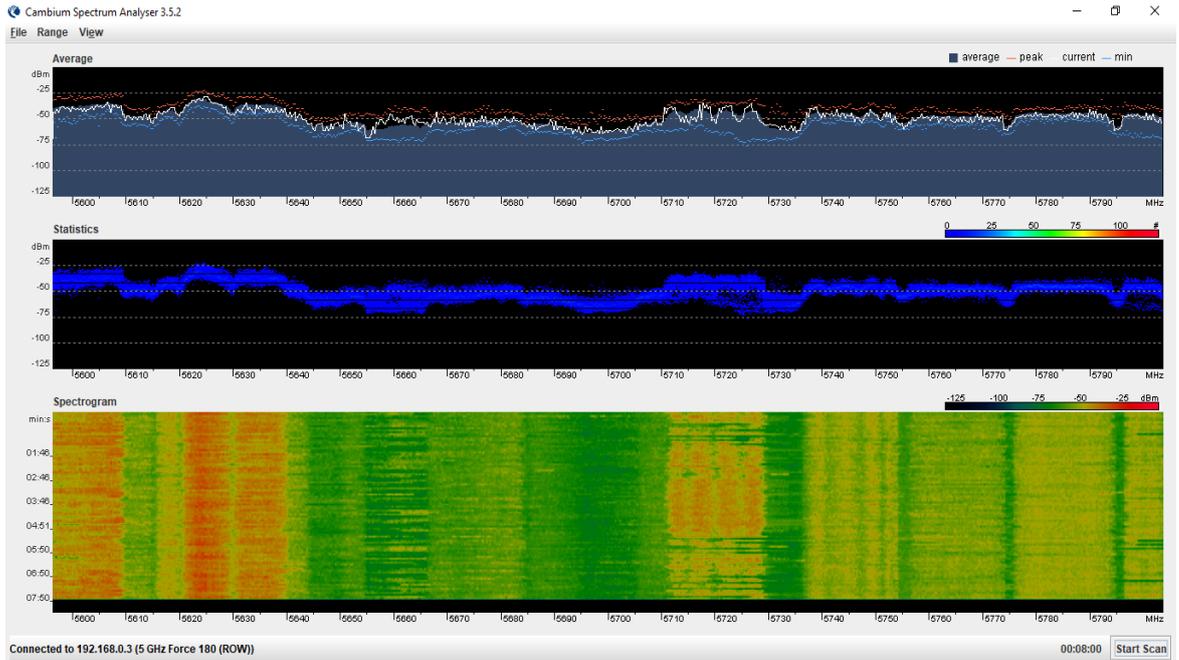
**Figura 4.42 Escenario espectral a 270° en el rango de 5000 - 5200 MHz.**



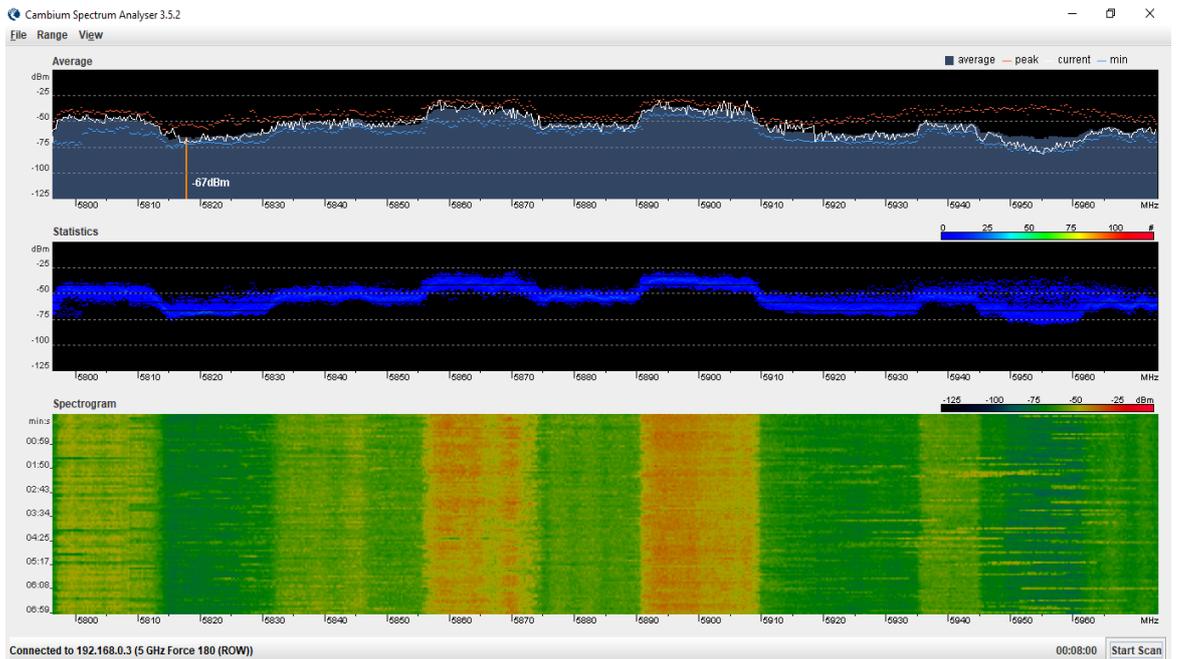
**Figura 4.43 Escenario espectral a 270° en el rango de 5200 - 5400 MHz.**



**Figura 4.44 Escenario espectral a 270° en el rango de 5400 - 5600 MHz.**



**Figura 4.45 Escenario espectral a 270° en el rango de 5600 - 5800 MHz.**



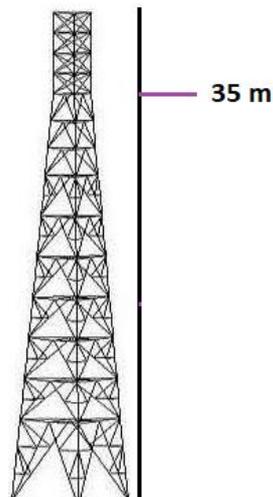
**Figura 4.46 Escenario espectral a 270° en el rango de 5800 - 5970 MHz.**

En la tabla 4.6, se detallan de color rojo las frecuencias críticas de la banda de 5 GHz sobre las 12 direcciones que se giraron en los 25 metros de la torre.

**Tabla 4.6 Frecuencias críticas a 25 metros.**

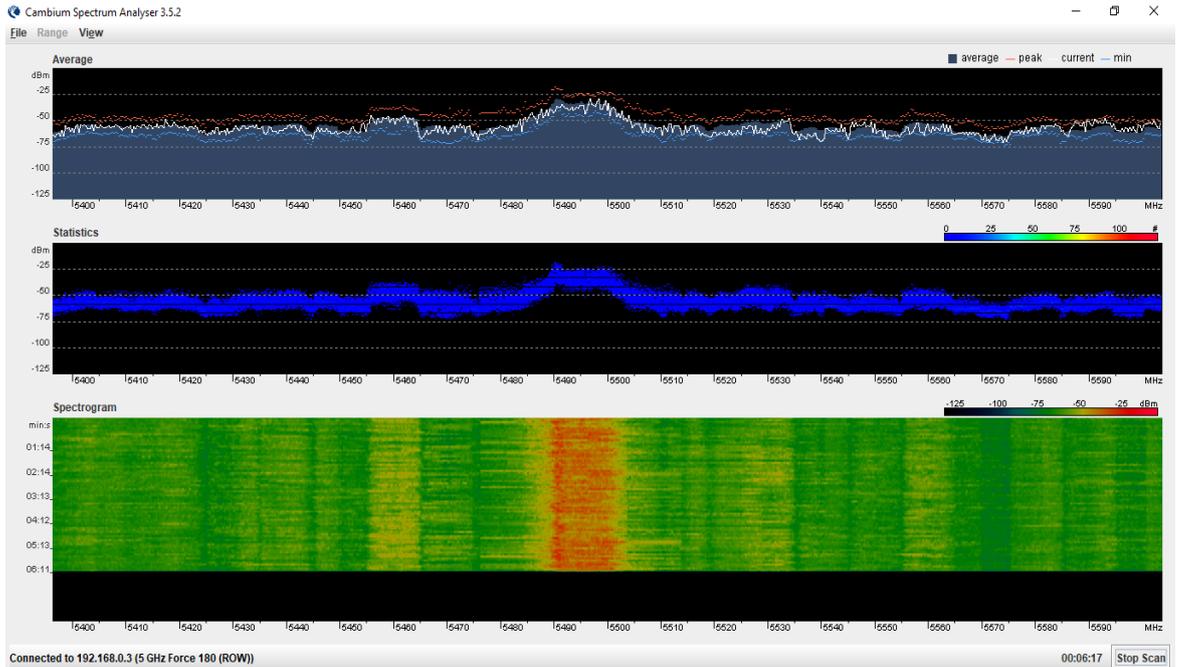
25 METROS												
5 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°		
5,1 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°		
5,2 GHz	90°	120°	150°	180°		240°	270°	300°	330°			
5,3 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°			
5,4 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°		
5,5 GHz	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°			
5,6 GHz	90°	120°		180°	210°	240°	270°	300°	330°			
5,7 GHz		120°			210°	240°	270°	300°	330°			
5,8 GHz	90°				210°	240°	270°	300°	330°	360°	30°	60°
5,9 GHz					210°	240°	270°	300°	330°	360°		

#### 4.2.3 Interpretación a 35 metros de altura

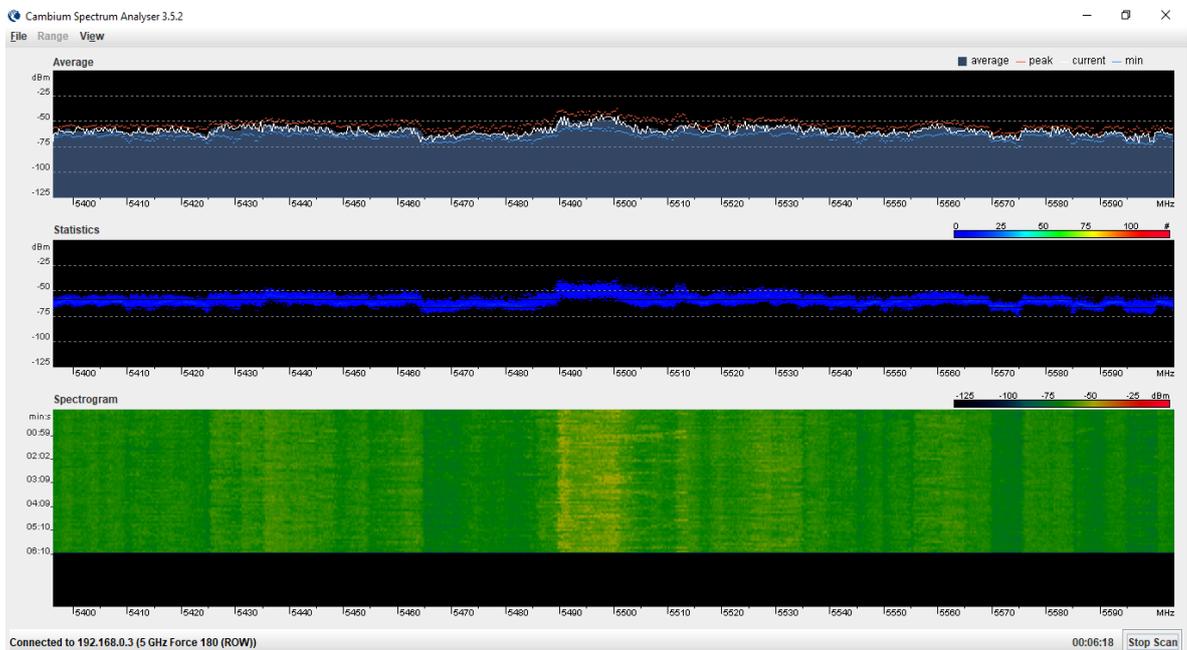


**Figura 4.47 Ubicación a 35 metros sobre la torre**

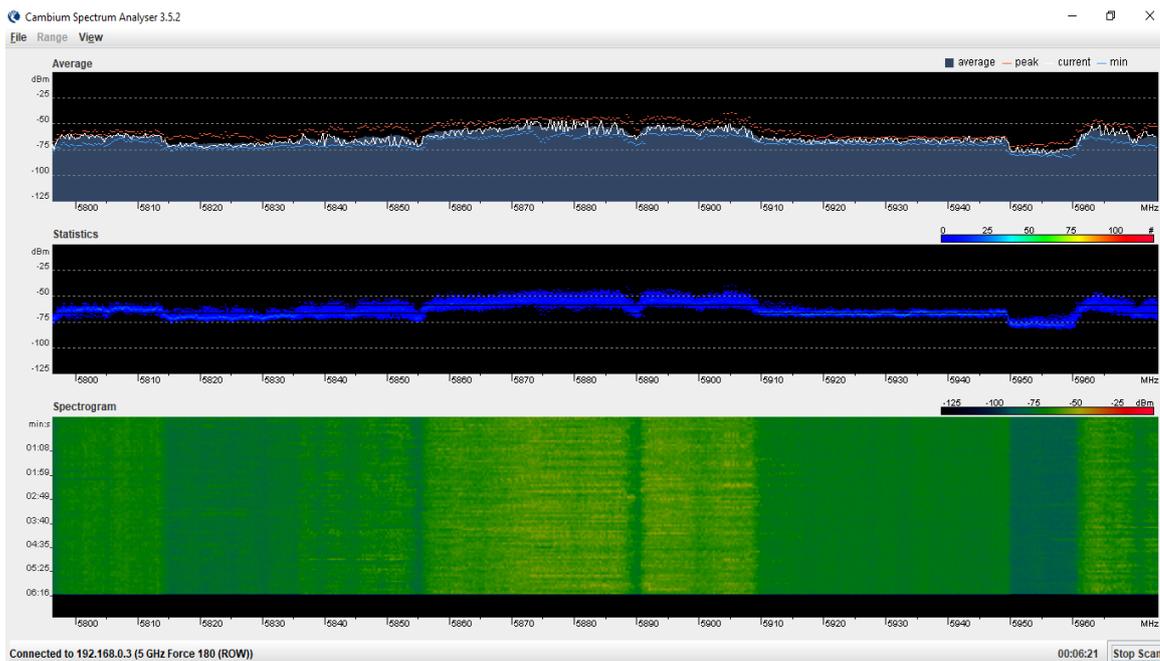
A 35 metros de altura, como indica la figura 4.47, la potencia del ruido en la banda de 5 GHz oscila mayormente sobre -70 dBm, siendo este el valor promedio para dicha altura, como valor máximo se obtiene -55 dBm y mínimo -75 dBm, aproximadamente. En las figuras 4.48, 4.49 y 4.50 se observa el comportamiento del piso de ruido de estas tres elecciones y se puede notar visiblemente la diferencia que existe en cada uno de los escenarios.



**Figura 4.48 Escenario espectral a 35 metros orientado a 210° con nivel de potencia de ruido de -55 dBm aproximadamente.**



**Figura 4.49 Escenario espectral a 35 metros orientado a 180° con nivel de potencia de ruido de -70 dBm aproximadamente.**



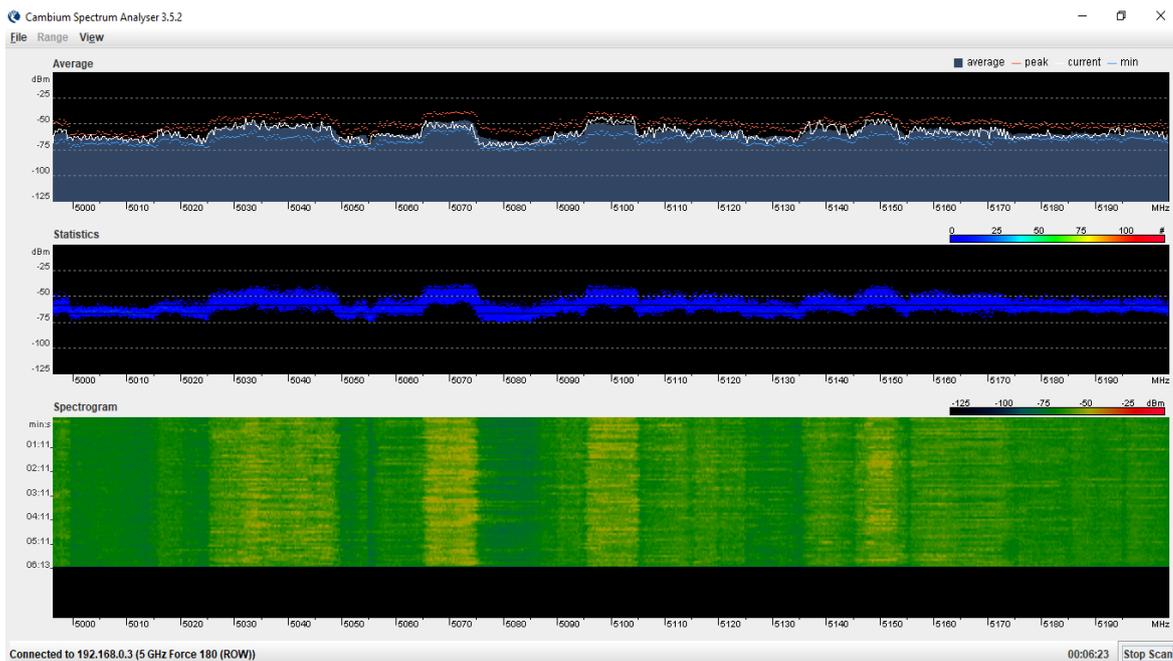
**Figura 4.50 Escenario espectral a 35 metros orientado a 360° con nivel de potencia de ruido de -75 dBm aproximadamente.**

A partir de las 12 direcciones existentes, para esta altura se detallan las 3 más críticas con su respectivo sector en la ciudad de Guayaquil, como se puede apreciar en la tabla 4.7.

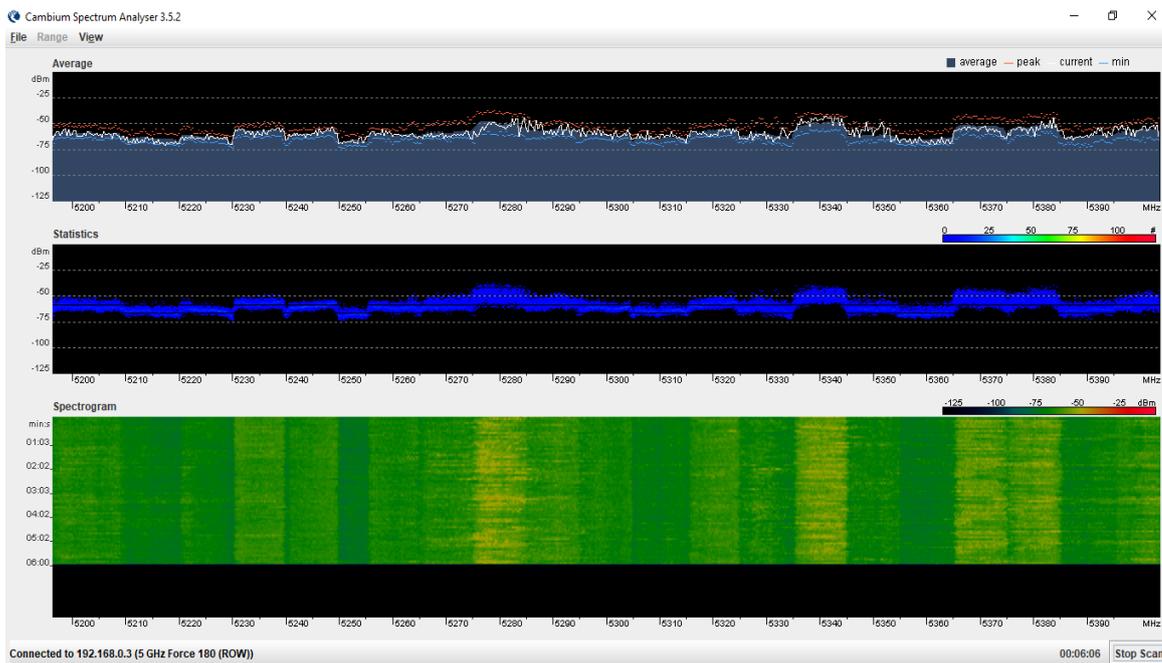
**Tabla 4.7 Direcciones y sectores críticos a 35 metros.**

Dirección	Sector de la ciudad
<b>210°</b>	Urb. Bosques de la Costa – Puerto Azul.
<b>270°</b>	Cerro Blanco.
<b>300°</b>	Cerro Blanco.

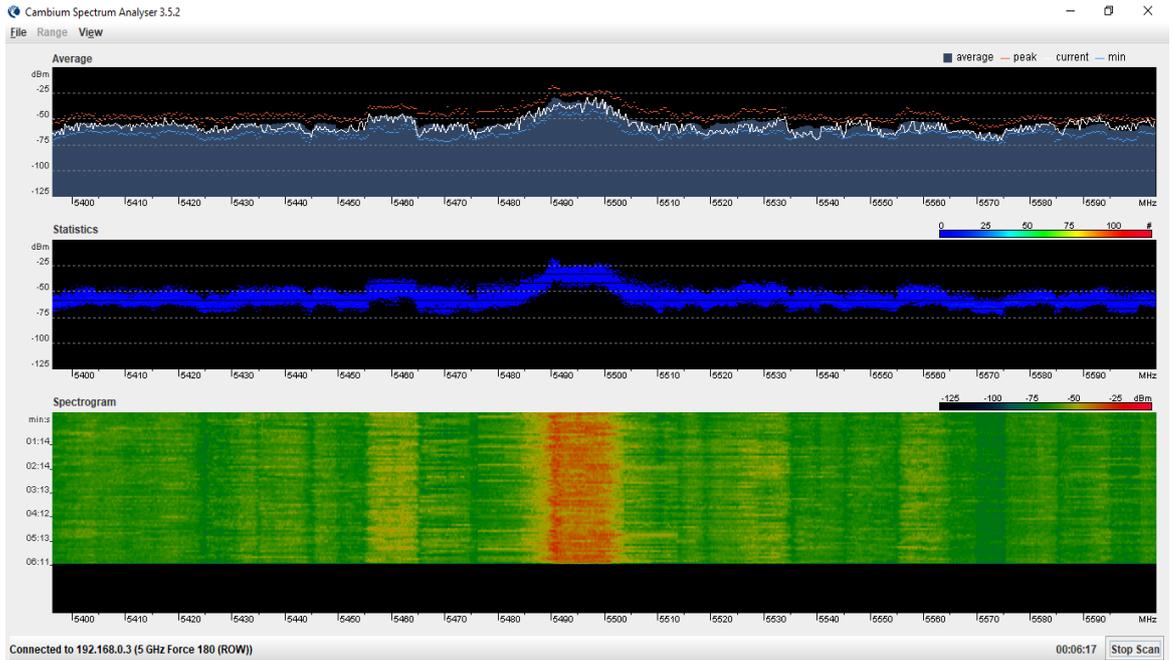
Desde la figura 4.51 hasta la figura 4.60, se podrán observar los escenarios espectrales de cada una de las direcciones anteriormente mencionadas en toda la banda de 5 GHz.



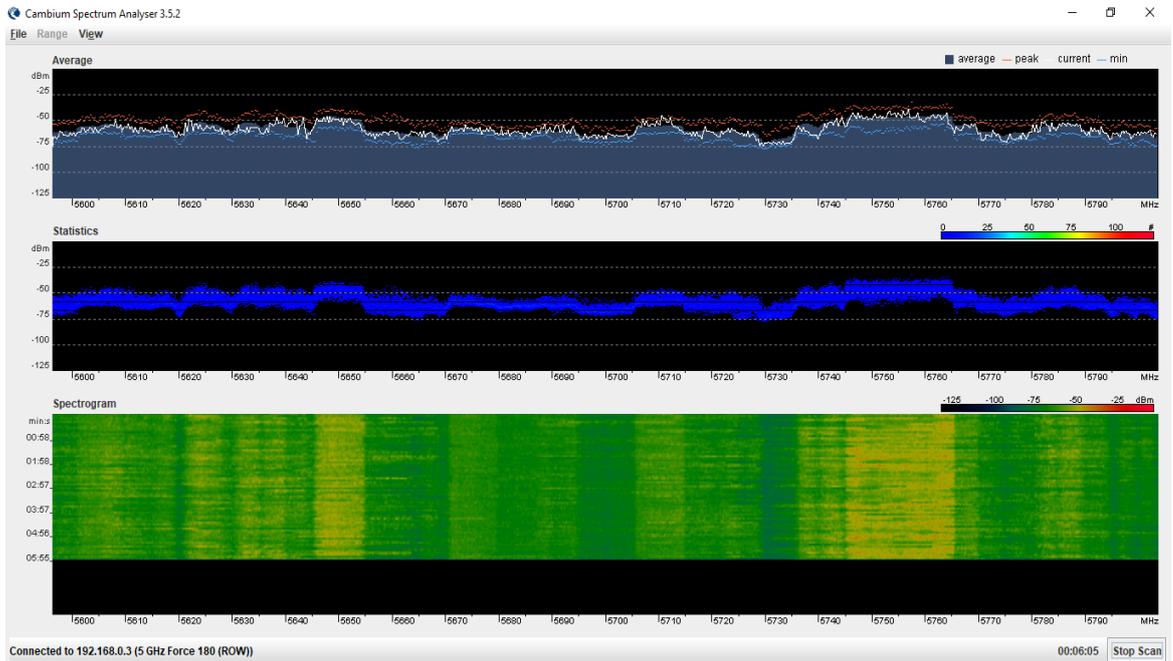
**Figura 4.51 Escenario espectral a 210° en el rango de 5000 - 5200 MHz.**



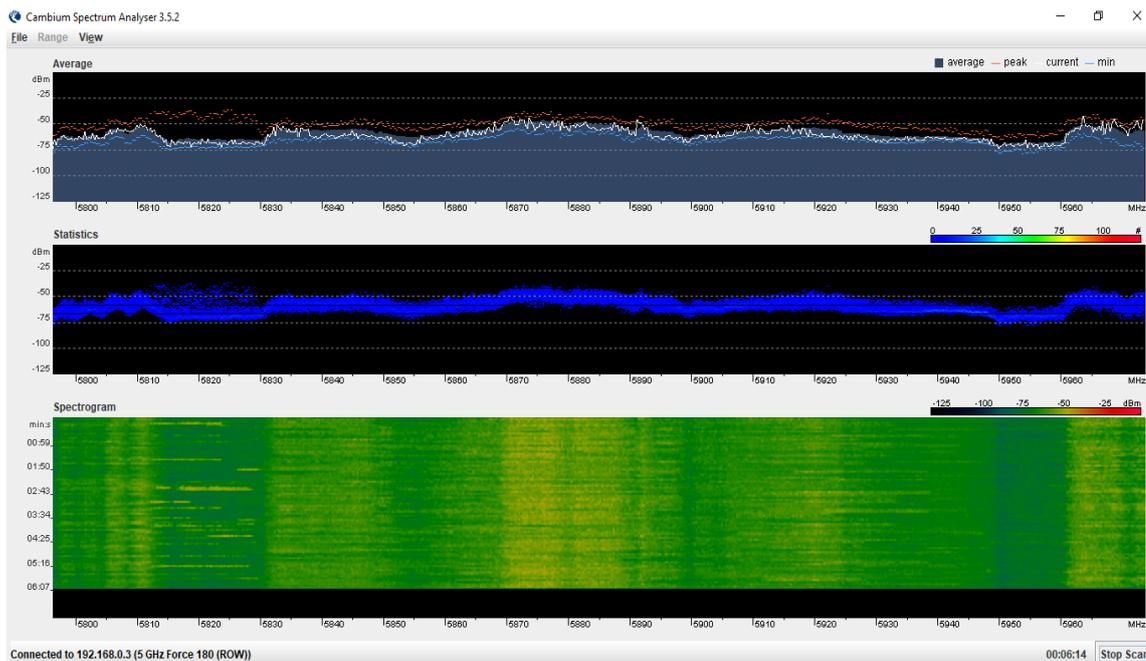
**Figura 4.52 Escenario espectral a 210° en el rango de 5200 - 5400 MHz.**



**Figura 4.53 Escenario espectral a 210° en el rango de 5400 - 5600 MHz.**

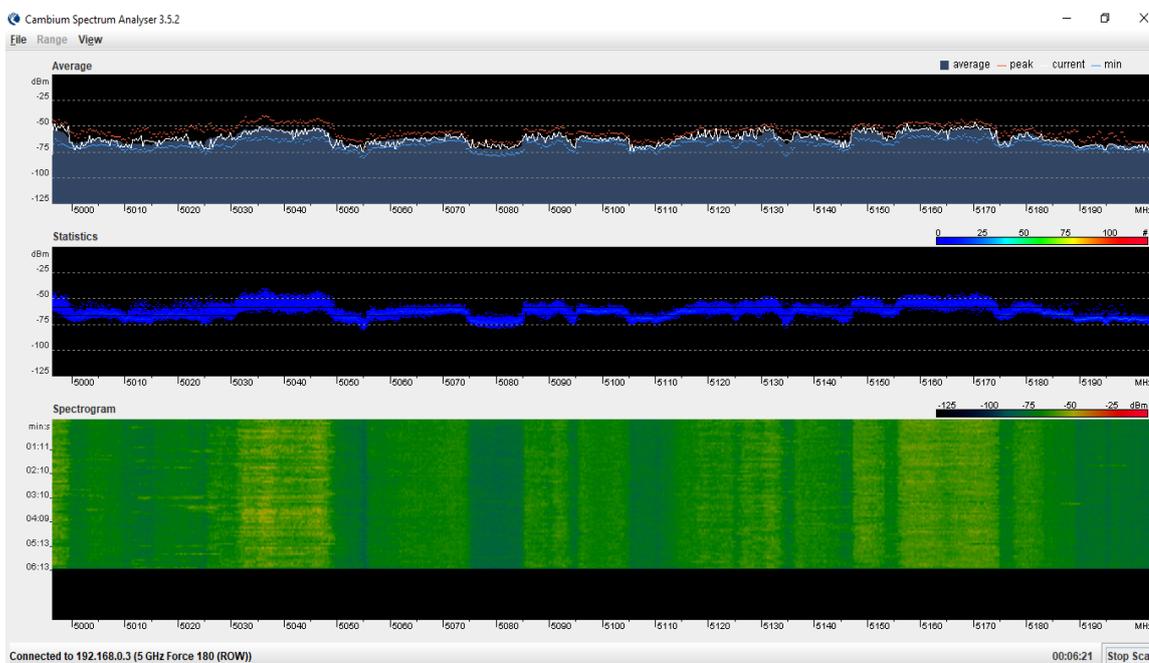


**Figura 4.54 Escenario espectral a 210° en el rango de 5600 - 5800 MHz.**

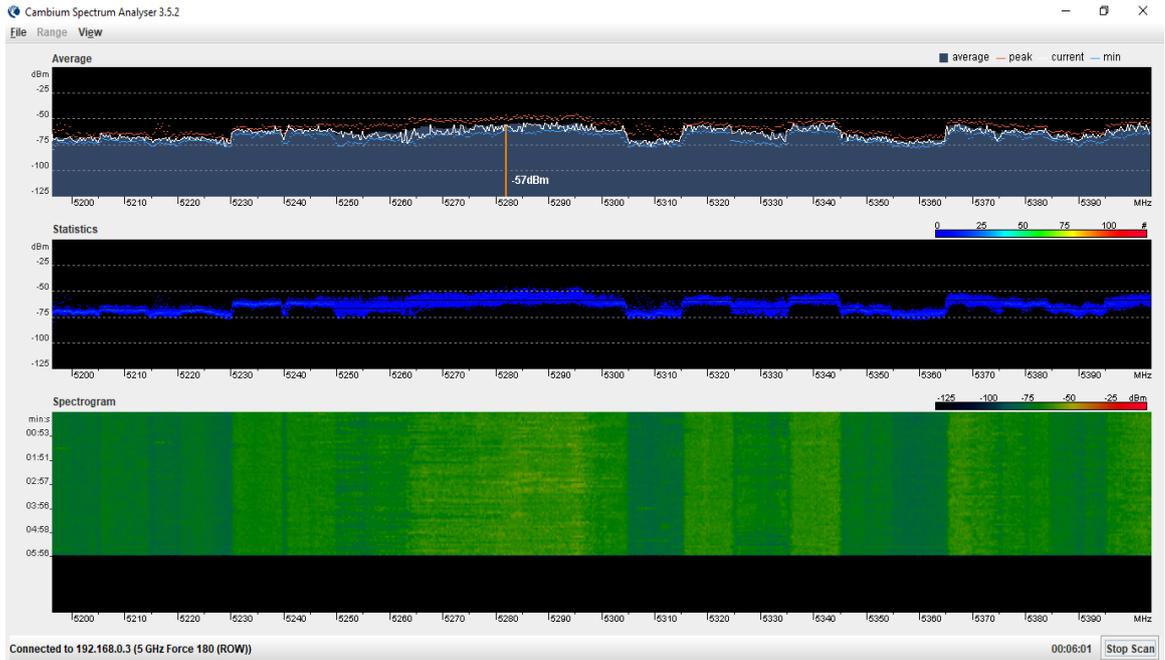


**Figura 4.55 Escenario espectral a 210° en el rango de 5800 - 5970 MHz.**

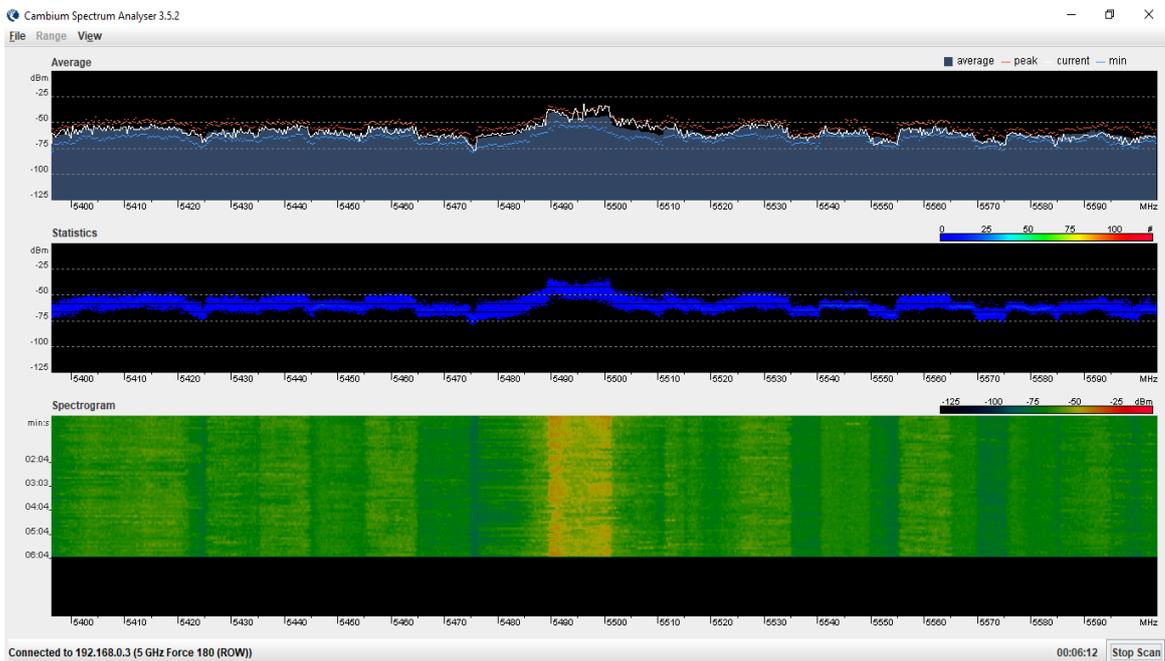
Puesto que las siguientes dos direcciones apuntan hacia Cerro Blanco, se plasmarán las gráficas de la dirección que posee el peor escenario en la banda de 5 GHz.



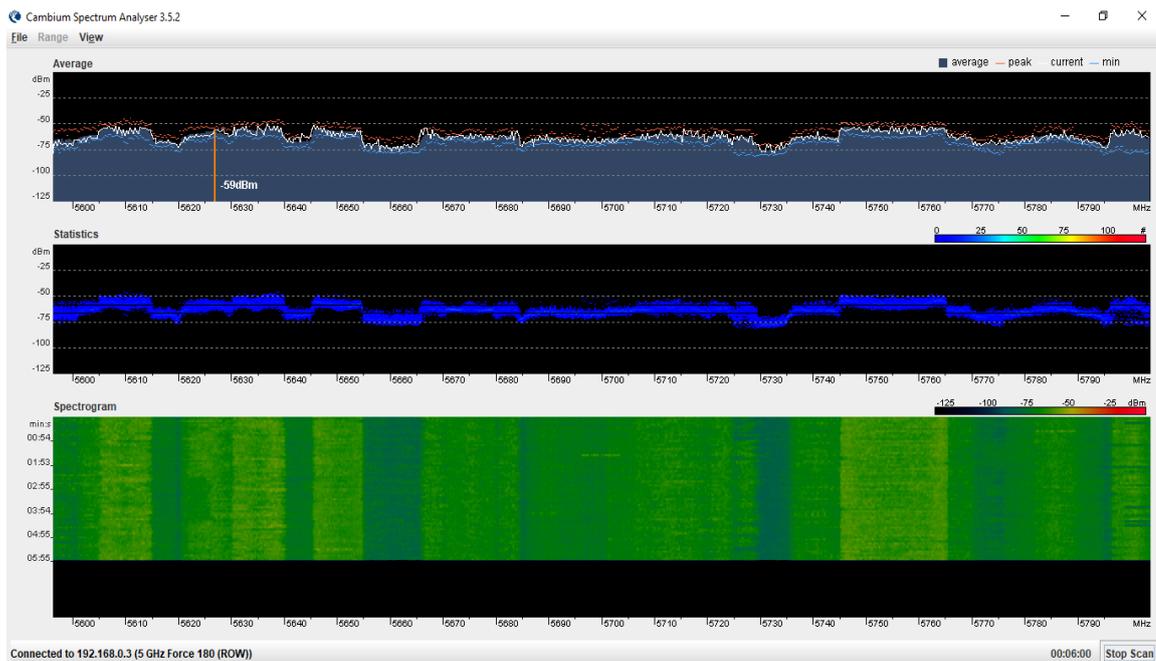
**Figura 4.56 Escenario espectral a 300° en el rango de 5000 - 5200 MHz.**



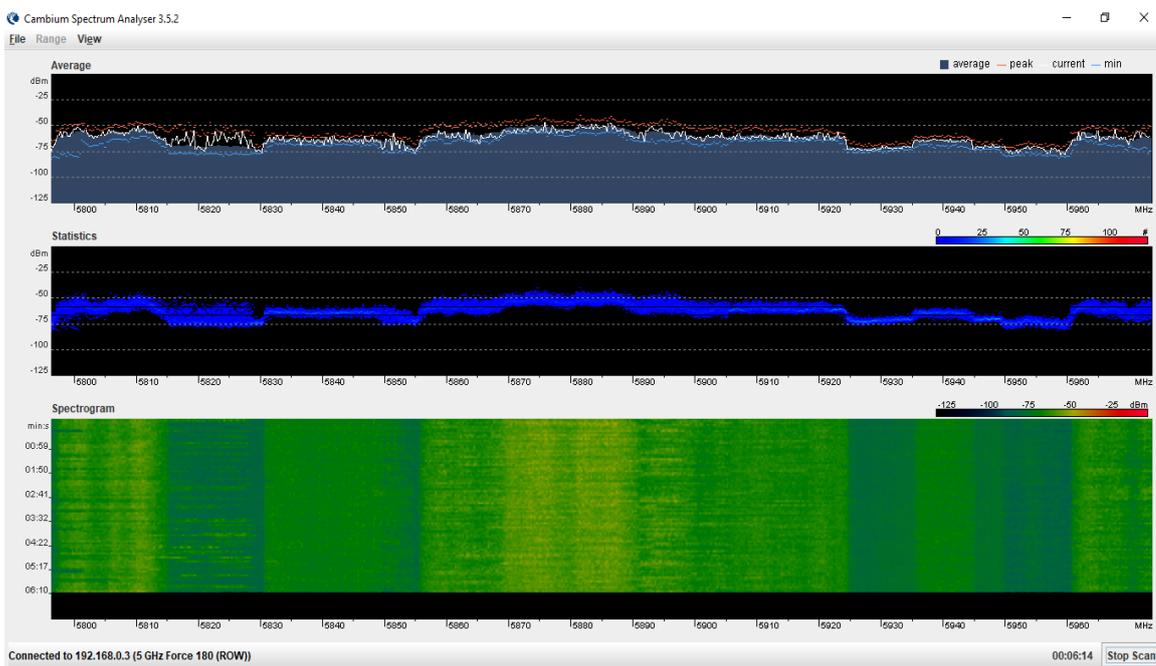
**Figura 4.57 Escenario espectral a 300° en el rango de 5200 - 5400 MHz.**



**Figura 4.58 Escenario espectral a 300° en el rango de 5400 - 5600 MHz.**



**Figura 4.59 Escenario espectral a 300° en el rango de 5600 - 5800 MHz.**



**Figura 4.60 Escenario espectral a 300° en el rango de 5800 - 5970 MHz.**

En la tabla 4.8, se detallan de color rojo las frecuencias críticas de la banda de 5 GHz sobre las 12 direcciones que se giraron en los 35 metros de la torre.

**Tabla 4.8 Frecuencias críticas a 35 metros.**

35 METROS												
5 GHz		120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°			30°	
5,1 GHz		120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°				
5,2 GHz		120°			210°							
5,3 GHz		120°		180°	210°							
5,4 GHz		120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°			60°
5,5 GHz		120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°				60°
5,6 GHz		120°	150°	180°	210°	240°						60°
5,7 GHz		120°		180°	210°	240°	270°					60°
5,8 GHz					210°	240°	270°	300°	330°	360°		60°
5,9 GHz					210°	240°						

### 4.3 Comportamiento del ruido en diferentes momentos del día

A medida que transcurría el día, hubo la posibilidad de analizar la manera en que se comportaba el espectro radioeléctrico en la mañana, tarde y noche.

Se ha determinado en los escenarios más críticos, que las franjas rojas de ruido permanecen constantes tanto en la zona horaria de la mañana de 9:00 am a 12:30 pm, como en la tarde de 1:30 pm a 5:00 pm. De todas las mediciones realizadas con el analizador espectral durante la mañana se encontró que aproximadamente el 8.9% de ellas presentan niveles de ruido elevados que van desde -50 dBm hasta los -25 dBm, el mismo comportamiento se presenta para las mediciones de la tarde. No obstante, por las noches, a partir de las 6:00 pm se observa un decrecimiento de las franjas rojas reduciéndose así al 5% la cantidad de mediciones que mantienen estos elevados niveles de ruido.

Esto se debe básicamente a la influencia que tiene la radiación solar sobre las telecomunicaciones, ya que por las mañanas y tardes su actividad es mucho más intensa, generando de esta manera altos niveles de potencia de ruido que a la final terminan causando interferencia.

#### **4.4 Estrategias que permiten reducir los efectos del ruido**

En vista de que el ruido radioeléctrico es una de las principales limitantes de la calidad de funcionamiento que otorgan los sistemas de radiocomunicaciones, es necesario establecer estrategias que permitan, dentro de lo posible, mitigarlo hasta llegar a un valor que no cause más interferencia; y aunque es imposible eliminarlo por completo, también se proporcionarán las técnicas óptimas que permitan evitar los efectos del ruido.

##### **4.4.1 Técnicas para mitigar el piso de ruido**

Para reducir los niveles de ruido que logran contaminar la señal durante el transporte desde su fuente hasta su destino, se recomienda utilizar distintos tipos de modulación ya que su función es permitir que la señal subsista a las características que posee el canal de transmisión; su único costo es el incremento del ancho de banda de la señal a transmitir. Estas maneras de modulación se incluyen dentro del estándar IEEE 802.11n como el esquema de “Modulación y Codificación” más conocido por sus siglas en inglés como MCS, en el mismo se muestran distintas combinaciones en las cuales dependiendo del tipo de modulación, tasa de codificación y demás parámetros, se modifica la velocidad de transmisión de los datos, con la finalidad de aumentar el rendimiento de las conexiones wifi. Se adjunta el esquema MCS en la tabla 4.9.

Por otra parte, en caso de que se presuma que el origen del ruido proviene del mismo sistema se aconseja utilizar técnicas de blindaje o cableado, para proteger la señal de interferencias externas. Finalmente, en cuanto al receptor, se sugiere utilizar métodos de filtrado que permitan atenuar el ruido que mantiene la señal recibida.

Tabla 4.9 Esquema MCS [37]

VHT MCS	Modulation	Coding	20MHz				40MHz				80MHz				160MHz			
			Data Rate		Min.	RSSI	Data Rate		Min.	RSSI	Data Rate		Min.	RSSI	Data Rate		Min.	RSSI
			800ns	400ns	SNR		800ns	400ns	SNR		800ns	400ns	SNR		800ns	400ns	SNR	
1 Spatial Stream																		
0	BPSK	1/2	6.5	7.2	2	-82	13.5	15	5	-79	29.3	32.5	8	-76	58.5	65	11	-73
1	QPSK	1/2	13	14.4	5	-79	27	30	8	-76	58.5	65	11	-73	117	130	14	-70
2	QPSK	3/4	19.5	21.7	9	-77	40.5	45	12	-74	87.8	97.5	15	-71	175.5	195	18	-68
3	16-QAM	1/2	26	28.9	11	-74	54	60	14	-71	117	130	17	-68	234	260	20	-65
4	16-QAM	3/4	39	43.3	15	-70	81	90	18	-67	175.5	195	21	-64	351	390	24	-61
5	64-QAM	2/3	52	57.8	18	-66	108	120	21	-63	234	260	24	-60	468	520	27	-57
6	64-QAM	3/4	58.5	65	20	-65	121.5	135	23	-62	263.3	292.5	26	-59	526.5	585	29	-56
7	64-QAM	5/6	65	72.2	25	-64	135	150	28	-61	292.5	325	31	-58	585	650	34	-55
8	256-QAM	3/4	78	86.7	29	-59	162	180	32	-56	351	390	35	-53	702	780	38	-50
9	256-QAM	5/6			31	-57	180	200	34	-54	390	433.3	37	-51	780	866.7	40	-48
2 Spatial Streams																		
0	BPSK	1/2	13	14.4	2	-82	27	30	5	-79	58.5	65	8	-76	117	130	11	-73
1	QPSK	1/2	26	28.9	5	-79	54	60	8	-76	117	130	11	-73	234	260	14	-70
2	QPSK	3/4	39	43.3	9	-77	81	90	12	-74	175.5	195	15	-71	351	390	18	-68
3	16-QAM	1/2	52	57.8	11	-74	108	120	14	-71	234	260	17	-68	468	520	20	-65
4	16-QAM	3/4	78	86.7	15	-70	162	180	18	-67	351	390	21	-64	702	780	24	-61
5	64-QAM	2/3	104	115.6	18	-66	216	240	21	-63	468	520	24	-60	936	1040	27	-57
6	64-QAM	3/4	117	130.3	20	-65	243	270	23	-62	526.5	585	26	-59	1053	1170	29	-56
7	64-QAM	5/6	130	144.4	25	-64	270	300	28	-61	585	650	31	-58	1170	1300	34	-55
8	256-QAM	3/4	156	173.3	29	-59	324	360	32	-56	702	780	35	-53	1404	1560	38	-50
9	256-QAM	5/6			31	-57	360	400	34	-54	780	866.7	37	-51	1560	1733.3	40	-48
3 Spatial Streams																		
0	BPSK	1/2	19.5	21.7	2	-82	40.5	45	5	-79	87.8	97.5	8	-76	175.5	195	11	-73
1	QPSK	1/2	39	43.3	5	-79	81	90	8	-76	175.5	195	11	-73	351	390	14	-70
2	QPSK	3/4	58.5	65	9	-77	121.5	135	12	-74	263.3	292.5	15	-71	526.5	585	18	-68
3	16-QAM	1/2	78	86.7	11	-74	162	180	14	-71	351	390	17	-68	702	780	20	-65
4	16-QAM	3/4	117	130	15	-70	243	270	18	-67	526.5	585	21	-64	1053	1170	24	-61
5	64-QAM	2/3	156	173.3	18	-66	324	360	21	-63	702	780	24	-60	1404	1560	27	-57
6	64-QAM	3/4	175.5	195	20	-65	364.5	405	23	-62			26	-59	1579.5	1755	29	-56
7	64-QAM	5/6	195	216.7	25	-64	405	450	28	-61	877.5	975	31	-58	1755	1950	34	-55
8	256-QAM	3/4	234	260	29	-59	486	540	32	-56	1053	1170	35	-53	2106	2340	38	-50
9	256-QAM	5/6	260	288.9	31	-57	540	600	34	-54	1170	1300	37	-51			40	-48

#### 4.4.2 Técnicas para subsistir ante la presencia del ruido

A pesar de que la mayoría de los sistemas de telecomunicaciones han empleado todos los mecanismos necesarios, tanto en el transmisor y receptor, para disminuir el piso de ruido, el mismo sigue manteniendo niveles muy altos que no dejan de ser limitantes que afectan el rendimiento del sistema; por lo que hoy en día existe la necesidad de proponer alternativas que permitan trabajar en dichas zonas con el fin de evadir las consecuencias que traen consigo los elevados valores del ruido.

Luego de observar el comportamiento del piso de ruido en determinado sector de Cerro Azul, se han determinado los mejores escenarios donde se encuentra la menor saturación de la banda de 5 GHz.

Como primera alternativa para evitar las franjas rojas de ruido se recomienda colocar los equipos transmisores en las zonas más altas de las torres, aparte de garantizar la existencia de línea de vista para efectuar un radioenlace punto a punto se puede afirmar que los niveles de ruido disminuyen significativamente; de manera que se puede utilizar cualquier canal siempre y cuando no esté dentro de las bandas de frecuencias restringidas por la ARCOTEL.

En segundo lugar, en la tabla 4.10, se exponen los rangos de frecuencias que se encuentran menos saturados tal que los enlaces establecidos en dichos canales no se verán perjudicados por el ruido.

**Tabla 4.10 Frecuencias que presentan bajos niveles de ruido**

Altura	Dirección	Frecuencia [MHz]									
		5000	5100	5200	5300	5400	5500	5600	5700	5800	5900
15m	0º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	30º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	60º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	90º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	120º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	150º	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	✓
15m	180º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	210º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	240º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	270º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15m	300º	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓
15m	330º	-	-	✓	-	-	-	-	✓	-	✓
25m	0º	-	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	-
25m	30º	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
25m	60º	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
25m	90º	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	✓
25m	120º	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓
25m	150º	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓
25m	180º	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	✓
25m	210º	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-
25m	240º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25m	270º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25m	300º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25m	330º	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-
35m	0º	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
35m	30º	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
35m	60º	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	-	✓
35m	90º	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
35m	120º	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓
35m	150º	-	-	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓
35m	180º	-	-	✓	-	-	-	-	-	✓	✓
35m	210º	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35m	240º	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-
35m	270º	-	-	✓	✓	-	-	✓	-	-	✓
35m	300º	-	-	✓	✓	-	-	✓	✓	-	✓
35m	330º	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	✓

Desde luego, como uno de los procedimientos más utilizados para combatir el ruido y la interferencia es aumentar la potencia de transmisión, de manera que logre superar la barrera de la potencia del ruido, se debe tener en consideración los límites de la potencia máxima de transmisión, la potencia isotrópica radiada equivalente y su densidad. La tabla 4.11 detalla los valores máximos por cada banda de operación de lo anteriormente indicado, establecidos por la ARCOTEL.

**Tabla 4.11 Límites de transmisión en la banda de 5GHz. [38]**

Banda de operación (MHz)	Potencia pico máxima del transmisor (mW)	PIRE (mW)	Densidad de PIRE (mW/MHz)
5150 - 5250	50	200	10
5250 - 5350	250	1000	50
5470 - 5725	250	1000	50
5725 - 5850	1000	-	-

Sin embargo, este procedimiento a largo plazo lo único que causa es el incremento de radiación produciendo interferencias perjudiciales en los demás enlaces.

No obstante, la solución más drástica para mitigar el ruido producido por los equipos transmisores de RF que han sido colocados en las proximidades consistiría en reducir la cantidad de los mismos, disminuyendo de esta manera las cuantiosas emisiones de señales que producen interferencias sobre los demás sistemas.

Dado que esto no se puede cumplir estrictamente, se busca como alternativa exigir a todos quienes ubiquen sus sistemas transmisores, sobre Cerro Azul, utilizar la mínima potencia de transmisión y la máxima directividad necesaria para realizar el radioenlace. De manera que si todos los equipos emplearan la mínima potencia no se producirían altos niveles de ruido que comprometan o impidan un servicio de radiocomunicación y el uso de antenas direccionales proporciona que la energía radioeléctrica se concentre en una sola dirección evitando interferencias no deseadas.

De la tabla 4.9, en el esquema MCS se pueden obtener los valores mínimos de la relación señal a ruido o SNR requeridos para realizar un radioenlace acorde a los requerimientos de velocidad del cliente, de modo que se puede calcular el valor de la potencia mínima necesaria para la transmisión.

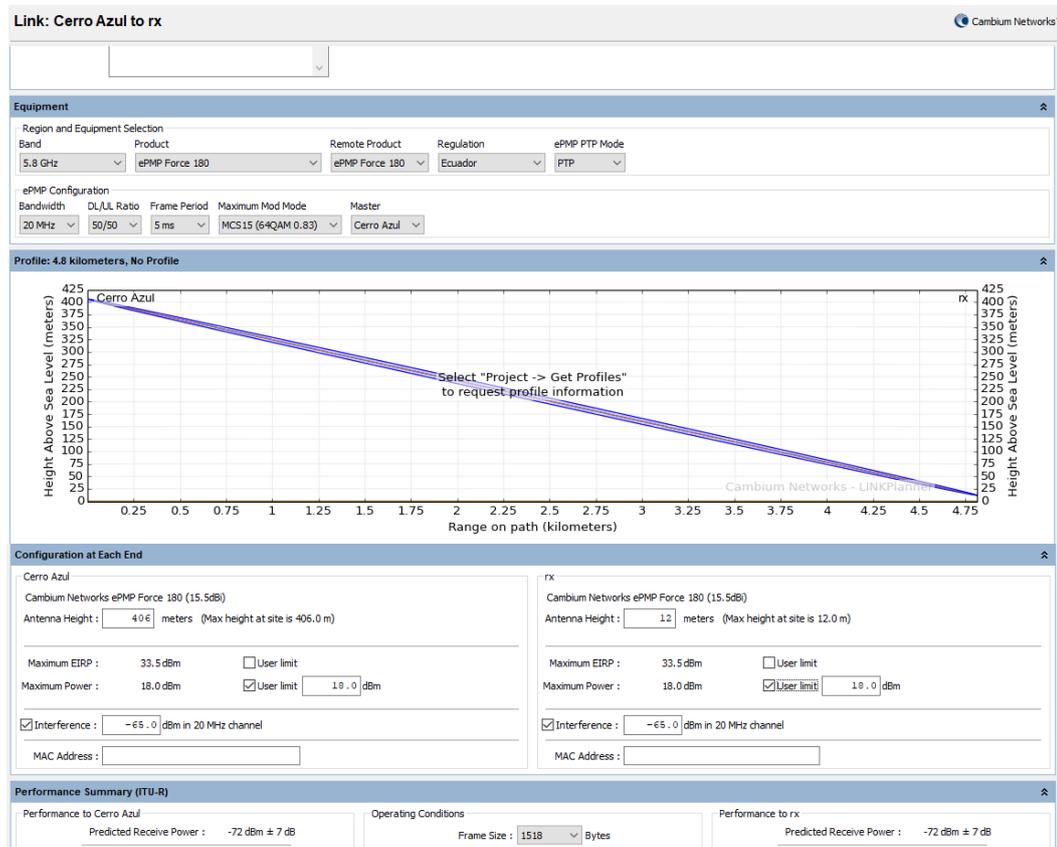
Dicho lo anterior, para demostrar que las técnicas de mitigación mencionadas no comprometen la calidad de la señal recibida se mostrará el contraste entre ambas situaciones. Es decir, una comparación entre dos distintos radioenlaces que trabajen en una de las bandas de frecuencias recomendadas en la tabla 4.2 donde se muestre la situación actual y la que se sugiere; en el primero se utilizará la mayor potencia de transmisión y menor directividad mientras que el segundo se lo realizará con la menor potencia de transmisión y la mayor directividad. Todo esto con la finalidad de verificar que la potencia de la señal recibida no disminuya de manera que termine empeorando la calidad del servicio.

#### **4.5 Verificación experimental mediante simulación**

El objetivo de la simulación es diferenciar dos radios enlaces, uno que utilice y otro que no utilice las recomendaciones anteriormente mencionadas.

Para ambas simulaciones, la ubicación del transmisor es en Cerro Azul, a 35 metros de la torre y orientado a 90° mientras que el receptor se encuentra a 4,8 km de distancia colocado en un edificio de 12 metros de altura. Se evalúa que exista línea de vista para ambos escenarios y que se trabaje bajo las regulaciones de telecomunicaciones del país.

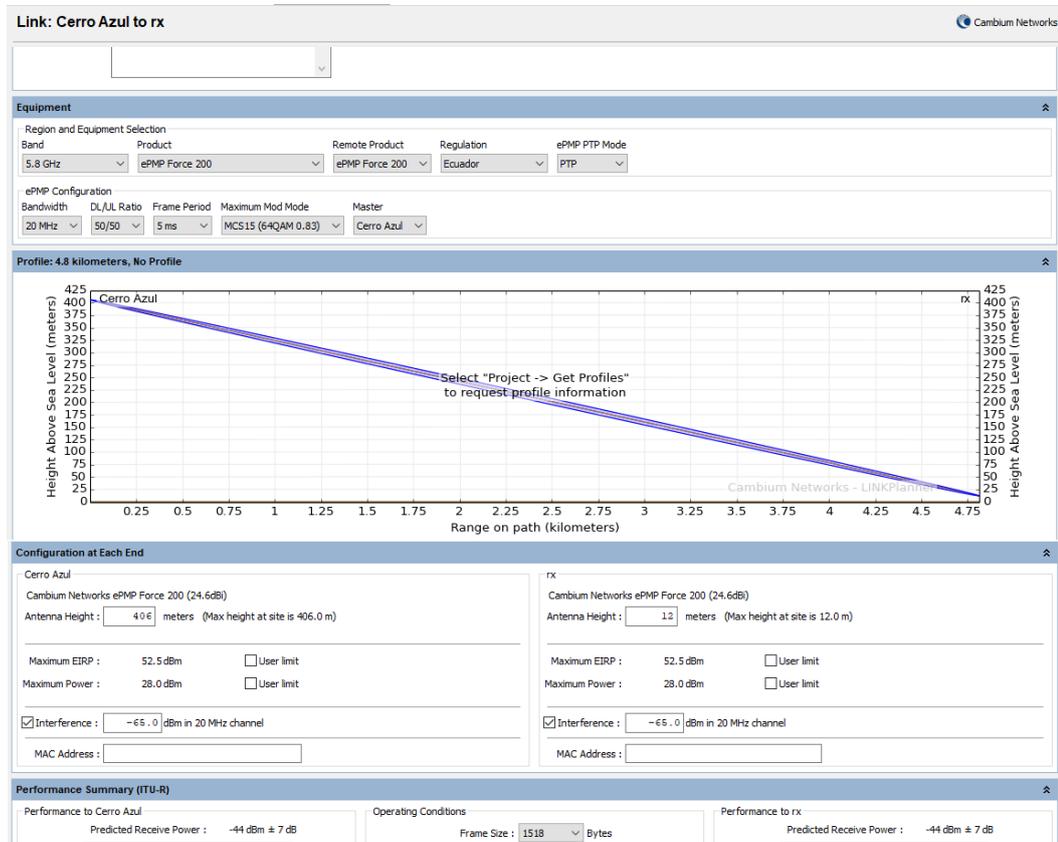
## 4.5.1 Simulación sin considerar los mecanismos de mitigación recomendados



**Figura 4.61 Simulación utilizando la potencia máxima y menor directividad**

Para el primer enlace (figura 4.61) punto a punto se utilizarán como transmisor y receptor al equipo “Cambium Force 180” en modo de AP y módulo suscriptor respectivamente. Este equipo tiene un azimut de 15° y una potencia máxima de transmisión de 18 dBm, características importantes para la simulación. Se puede interpretar que, con los parámetros manipulados en el software, la potencia recibida es de -72dBm.

## 4.5.2 Simulación considerando los mecanismos de mitigación recomendados



**Figura 4.62 Simulación utilizando la potencia mínima y mayor directividad**

Para el segundo enlace (figura 4.62) punto a punto se utilizarán como transmisor y receptor al equipo “Cambium Force 200” en modo de AP y módulo suscriptor respectivamente. Este equipo tiene un azimut de 7° y una potencia mínima de transmisión de -15 dBm, características importantes para la simulación. Se puede interpretar que, con los parámetros manipulados en el software, la potencia recibida es de -44dBm.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo de este proyecto, se pudo verificar que Cerro Azul es una zona de gran congestión de sistemas transmisores que generan masivas emisiones de RF provocando que los niveles de ruido tiendan a incrementarse.

Se logró diseñar y ejecutar un conjunto de procedimientos para la medición del piso de ruido en la banda de 5GHz sobre una torre de telecomunicaciones; posteriormente se obtuvieron los datos necesarios que permitieron conocer el patrón de comportamiento que presenta el ruido a distintas alturas y orientaciones a través de un radio que trabaja como analizador espectral, en sí la metodología planteada sirvió para conocer la situación actual en la que se encuentra el espectro radioeléctrico en Cerro Azul.

De modo que a partir de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios se ha concluido que el nivel del ruido es inversamente proporcional a la altura en la que está ubicado el equipo, es decir, a medida que aumenta la posición del equipo el piso de ruido disminuye. Con respecto al barrido de los 360° por altura, se puede destacar también que las zonas pobladas generan altos valores de potencia de ruido debido a las grandes cantidades de señales que llegan al analizador espectral en forma de ruido radioeléctrico mediante distintos mecanismos de propagación como la reflexión, difracción o refracción. Dado que el momento del día también fue un factor de estudio, se puede destacar que en la mañana se tienen más franjas rojas y críticas copadas de ruido, en comparación con la noche, esto se debe al constante movimiento y afluencias del uso de equipos que reciben y emiten señales por múltiples caminos y con potencias diferentes.

Una recomendación importante es que para ingresar a Cerro Azul se deben gestionar una serie de permisos con antelación y un vehículo que soporte largos tramos rocosos. También es importante destacar que, para subirse a una torre de telecomunicaciones se necesita de un curso de altura, ya que se van a realizar trabajos a grandes alturas y el manejo del arnés es fundamental para evitar cualquier accidente. Además, para la obtención de los datos se sugiere escanear el espectro radioeléctrico durante un amplio rango de tiempo para tener más precisión sobre el comportamiento de las señales, de igual manera se debe conocer cómo manejar la brújula y así precisar la dirección adecuada.

Considerando la tabla 4.5, en la cual se exhiben las frecuencias menos saturadas y con más disponibilidad para realizar los radioenlaces, es necesario tener en cuenta la “Norma técnica de espectro de uso libre y de espectro para uso determinado en bandas libres” impuesto por la ARCOTEL [38].

Todavía cabe señalar que gracias a las simulaciones con “LinkPlanner” se pudo comprobar que las recomendaciones aportadas, a partir de las mediciones e interpretaciones de los escenarios, son adecuadas, acertadas y válidas para la mitigación del ruido ya que la potencia receptada fue mucho mejor cuando la potencia transmitida fue la mínima y necesaria, así como también el usar la máxima directividad posible para no afectar el rendimiento de otros enlaces en forma de interferencias.

Finalmente, este trabajo contribuye de manera íntegra a futuras investigaciones en el ámbito de las telecomunicaciones dado que aporta con información necesaria para conocer el comportamiento espectral en uno de los cerros más importantes de Guayaquil, no sólo por ser el más alto sino también por ser característico en afluencia de torres y sistemas transmisores.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ACE Electoral Knowledge Network, "The Electoral Knowledge Network," [Online]. Available: <http://aceproject.org/ace-es/topics/et/eta/eta01/eta01>. [Accessed 12 Octubre 2018].
- [2] F. Rodriguez Duc, "Análisis del ruido en comunicaciones," [Online]. Available: <https://sistemamid.com/preview.php?a=110867&material=-1&socio=-1>. [Accessed 15 Octubre 2018].
- [3] Instituto Geográfico Militar, "Instituto Geográfico Militar," [Online]. Available: [http://www.igm.gob.ec/work/files/cartabase/NV\\_A.htm](http://www.igm.gob.ec/work/files/cartabase/NV_A.htm). [Accessed 12 Octubre 2018].
- [4] Iplanet, Interviewee, *Afectaciones del ruido sobre la calidad del servicio*. [Interview]. 12 Octubre 2018.
- [5] J. P. Del Alcázar, "Formación Gerencial," Julio 2018. [Online]. Available: <http://blog.formaciongerencial.com/ecuador-cifras-digitales-perfil-de-consumidor-y-ranking-sitios-web/>. [Accessed Octubre 2018].
- [6] "INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos)," 6 Octubre 2017. [Online]. Available: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/guayaquil-en-cifras/>. [Accessed 12 Octubre 2018].
- [7] "El 41,2% de los hogares de Ecuador cuenta con internet fijo," *El Universo*, 17 Mayo 2018.
- [8] Grupo del Espectro, "Colegio Oficial Ingenieros de Telecomunicación," Julio 2012. [Online]. Available: [https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/uso\\_de\\_las\\_bandas\\_libres\\_de\\_5470-5725\\_mhz\\_y\\_5725-5875\\_mhz\\_en\\_espana.pdf](https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/uso_de_las_bandas_libres_de_5470-5725_mhz_y_5725-5875_mhz_en_espana.pdf). [Accessed 2 Octubre 2018].
- [9] Albentia Systems, "Albentia Systems," [Online]. Available: <https://albentia.wordpress.com/el-blog-y-albentia-systems/>. [Accessed 23 Octubre 2018].
- [10] L. E. Guanoluisa Quinga, "Repositorio Digital - EPN," Enero 2012. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4470/1/CD-4085.pdf>. [Accessed 05 Noviembre 2018].

- [11] C. P. L. Carlos, "Blogspot - Microondas II," 25 Diciembre 2012. [Online]. Available: <http://luisalvomicroondasii.blogspot.com/2012/12/calculo-de-altura-de-torres.html>. [Accessed 14 Noviembre 2018].
- [12] E. Martínez Martínez, "Eveliux," 11 Julio 2007. [Online]. Available: <http://www.eveliux.com/mx/curso/microondas-terrestre.html>. [Accessed 05 Noviembre 2018].
- [13] J. Quiahuitl, "Notas de Introducción a las Telecomunicaciones," 12 Abril 2012. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/tele01com/1-1-elementos-de-un-sistema-de-telecomunicaciones>. [Accessed 14 Noviembre 2018].
- [14] F. Ramos, "Radioenlaces," 2011. [Online]. Available: <http://www.radioenlaces.es/articulos/sensibilidad-del-equipo-receptor/>. [Accessed 2018].
- [15] "UTN - Facultad Regional Mendoza," [Online]. Available: <http://www1.frm.utn.edu.ar/aplicada3/apuntes/unidad8.pdf>. [Accessed 14 Noviembre 2018].
- [16] "Buenas Tareas," 22 Julio 2018. [Online]. Available: <https://www.buenastareas.com/ensayos/Se%C3%B1ales-y-Ruidos-En-Sistemas-De/534168.html>. [Accessed 2018].
- [17] "EcuRed," [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/Antena>. [Accessed 11 Noviembre 2018].
- [18] "WNI México," [Online]. Available: [https://www.wni.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=62:antenas-oporte&catid=31:general&Itemid=79](https://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenas-oporte&catid=31:general&Itemid=79). [Accessed 11 Noviembre 2018].
- [19] "Antenas 13 - Blogspot," [Online]. Available: <http://antenas13.blogspot.com/p/parametros-generales-de-una-antena.html>. [Accessed 13 Noviembre 2018].
- [20] K. Carchipulla, 3 Agosto 2010. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1061/13/UPS-CT002036.pdf>. [Accessed 13 Noviembre 2018].

- [21] "OmnitronEc," [Online]. Available: <http://www.omnitronec.com/index.php/servicios/casetas-y-torres>. [Accessed 8 Noviembre 2018].
- [22] L. Alay, "Repositorio UG," 2015. [Online]. Available: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/14954/1/ALAY\\_LICETH\\_TRABAJO\\_TITULACI%C3%92N\\_ESTRUCTURAS\\_2016.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/14954/1/ALAY_LICETH_TRABAJO_TITULACI%C3%92N_ESTRUCTURAS_2016.pdf). [Accessed 8 Noviembre 2018].
- [23] A. Llanos, Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador, nueva modalidad para radiodifusión y televisión abierta., Quito: Corporación Editora Nacional, 2013.
- [24] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, "ARCOTEL," abril 2017. [Online]. Available: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1\\_DOCUMENTO-PNF..pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1_DOCUMENTO-PNF..pdf). [Accessed 8 Noviembre 2018].
- [25] "El Rincón de la Tecnología," 14 Octubre 2013. [Online]. Available: <http://tecnologia-escolapioslogrono.blogspot.com/2010/12/el-espectro-radioelectrico.html>. [Accessed 13 Noviembre 2018].
- [26] G. Barragán, "Blogger," 29 Julio 2013. [Online]. Available: <http://bandasism.blogspot.com>. [Accessed 7 Noviembre 2018].
- [27] C. Pérez, "Ruido," Santander.
- [28] "Biblioteca Universidad de Piura," [Online]. Available: [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1\\_169\\_173\\_120\\_1626.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_169_173_120_1626.pdf). [Accessed 13 Noviembre 2018].
- [29] J. M. Drake Moyano, "Universidad de Cantabria," 2005. [Online]. Available: [https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion\\_5\\_it/iec\\_4.pdf](https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_4.pdf). [Accessed 13 Noviembre 2018].
- [30] R. Canga, "Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado," Marzo 2011. [Online]. Available: <http://serbal.pntic.mec.es/srug0007/archivos/radiocomunicaciones/1%20INTRODUCCI%C3%92N/1%20Radiofrecuencia.pdf.pdf>. [Accessed 13 Noviembre 2018].
- [31] J. Ballcels, F. Daura, R. Esparza and R. Pallás, Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos, Barcelona: MARCOMBO, S.A., 1992.

- [32] Alex Logroño, Darwin Parreño, 2014. [Online]. Available: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/3588/1/98T00057.pdf>. [Accessed 2018].
- [33] Albentia Systems, "Albentia Systems," [Online]. Available: <https://albentia.wordpress.com/2014/12/13/wimax-wisp-evita-interferencias/>. [Accessed 20 Noviembre 2018].
- [34] Luis, "Ingeniería electrónica," 13 Septiembre 2016. [Online]. Available: <https://ingenieriaelectronica.org/analizador-de-espectros-definicion-tipos-y-caracteristicas/>. [Accessed 2018].
- [35] C. Networks, "ePMP - Programa de certificación," 2016.
- [36] C. Networks, "Force 180 Specification sheet," 2018.
- [37] "Wireless Lan Professionals," [Online]. Available: <https://www.wlanpros.com/resources/mcs-index-802-11ac-vht-chart/>. [Accessed 20 Enero 2019].
- [38] Arcotel, "ARCOTEL - Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones," 2018. [Online]. Available: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/06/norma\\_eul\\_y\\_udbl\\_audiencias\\_p%C3%BAblicas.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/06/norma_eul_y_udbl_audiencias_p%C3%BAblicas.pdf). [Accessed 20 Enero 2019].

# ANEXOS

## ANEXO A: PLANIFICACIÓN DIARIA DE MEDICIONES

ALTURA 15M					ALTURA 25M					ALTURA 35M														
DÍA 1					DÍA 2					DÍA 1					DÍA 2									
EN LA MAÑANA: 9H00 - 12H30					EN LA MAÑANA: 9H00 - 12H30					EN LA MAÑANA: 9H00 - 12H30					EN LA MAÑANA: 9H00 - 12H30									
R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
30°					30°					30°					30°					180°				
60°					60°					60°					60°					210°				
90°					90°					90°					90°					240°				
120°					120°					120°					120°					270°				
150°					150°					150°					150°					300°				
EN LA TARDE: 13H30 - 17H00					EN LA TARDE: 13H30 - 17H00					EN LA TARDE: 13H30 - 17H00					EN LA TARDE: 13H30 - 17H00									
R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
30°					30°					30°					30°					180°				
60°					60°					60°					60°					210°				
90°					90°					90°					90°					240°				
120°					120°					120°					120°					270°				
150°					150°					150°					150°					300°				
EN LA NOCHE: 17H30 -					EN LA NOCHE: 17H30 -					EN LA NOCHE: 17H30 -					EN LA NOCHE: 17H30 -									
R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5	R1	R2	R3	R4	R5
30°					30°					30°					30°					180°				
60°					60°					60°					60°					210°				
90°					90°					90°					90°					240°				
120°					120°					120°					120°					270°				
150°					150°					150°					150°					300°				

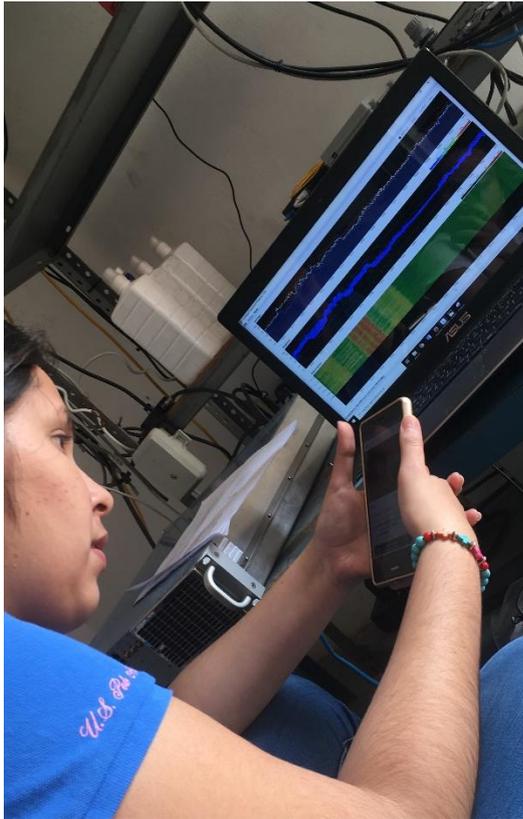
# ANEXO B: EJECUCIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA



Anexo B. 1 Indicaciones al torrista para colocación del equipo



Anexo B. 2 Ubicación dentro de la caseta B39



**Anexo B. 3 Adquisición de datos**



**Anexo B. 4 Inspección al lugar de colocación del equipo**



**Anexo B. 5 Torres contiguas**



**Anexo B. 6 Vista panorámica desde la caseta B39**