



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y
LOS RECURSOS NATURALES
NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

TÍTULO

“IDENTIFICACIÓN DE WHITE SPACES EN LA BANDA
VHF/UHF PARA LA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE
REDES DE RADIO COGNITIVA EN LA CIUDAD LOJA”.

“TESIS DE GRADO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES”.

AUTOR:

Edison Darío Troya Chanta

DIRECTOR:

Ing. Juan Gabriel Ochoa Aldeán, Mg. Sc.

LOJA - ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

Ing. Juan Gabriel Ochoa Aldeán, Mg. Sc

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado en su proceso de investigación cuyo temas versa en, “**IDENTIFICACIÓN DE WHITE SPACES EN LA BANDA VHF/UHF PARA LA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE RADIO COGNITIVA EN LA CIUDAD LOJA**”, previa a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, realizado por el señor: **EDISON DARÍO TROYA CHANTA**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 3 de diciembre del 2015

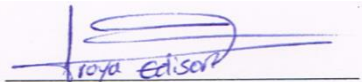


Ing. Juan Gabriel Ochoa Aldeán, Mg. Sc
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **EDISON DARÍO TROYA CHANTA**, declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo representante a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma: 

Autor: Edison Darío Troya Chanta

Cédula: 1104314693

Fecha: 3 de diciembre del 2015

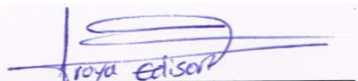
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, **EDISON DARÍO TROYA CHANTA**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“IDENTIFICACIÓN DE WHITE SPACES EN LA BANDA VHF/UHF PARA LA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE RADIO COGNITIVA EN LA CIUDAD LOJA”**, como requisito para optar al grado de: **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la reproducción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 3 días del mes de diciembre del dos mil quince, firma el autor.

Firma: 

Autor: Edison Darío Troya Chanta.

Cédula: 1104314693

Dirección: Catamayo (Calle Juan Montalvo y Av. Las Américas)

Correo Electrónico: edison_troya92@hotmail.com

Teléfono: s/n

Celular: 0980483901

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Juan Gabriel Ochoa Aldeán, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Paulo Alberto Samaniego Rojas, Mg. Sc.

Ing. Juan Manuel Galindo Vera, Mg. Sc.

Ing. Mario Alberto Espinoza Tituana, Mg. Sc.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de tesis a mis padres; Lucia Chanta Castillo y Gonzalo Troya Guayanay, por su apoyo incondicional y por nunca descansar al momento de darme aliento para culminar con mis estudios, y así poder lograr mis objetivos. Para ellos, que motivan mi superación, con mucho amor.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis no hubiera sido posible sin la ayuda de muchas personas. Especialmente quiero agradecer:

En primer lugar a Dios por todas las bendiciones recibidas y saberme guiar por el camino correcto, y brindarme toda la sabiduría para poder culminar con mis estudios.

A mis padres por brindarme su apoyo y consejos que me han motivado para poder lograr mis sueños y metas establecidas.

A mis hermanos que siempre han estado dispuestos ayudarme y, en general, a toda mi familia que de alguna manera u otra aportaron con un granito de arena para llevar a cabo este objetivo.

A mis compañeros y amigos, quienes formaron una parte fundamental a lo largo de toda mi vida universitaria, con los cuales se compartieron gratas experiencias y un apoyo recíproco en cada momento.

A todos los docentes de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja, por sus sabias enseñanzas y valiosos consejos así como la debida orientación para lograr el desarrollo del presente trabajo.

A mi director de tesis por su guía y apoyo constante.

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
TABLA DE CONTENIDOS.....	vii
NOMENCLATURA	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
a.- TÍTULO	1
b.- RESUMEN	2
SUMMARY	3
c.- INTRODUCCIÓN	4
d.- REVISIÓN DE LITERATURA.	6
CAPÍTULO I. La Radio Cognitiva: Funcionamiento y Aplicaciones	6
1.1 Antecedentes y Desarrollo de la Radio Cognitiva.....	6
1.2 Redes de Radio Cognitiva (CRN's).	7
1.3 Radio Cognitiva (CR).....	8
1.3.1 Acceso Dinámico al Espectro: <i>Dynamic Spectrum Access (DSA)</i>	9
1.3.2 Capacidad Cognitiva	10
1.3.3 Reconfigurabilidad	12
1.4 Arquitectura de la Red de Radio Cognitiva (CRN).....	13
1.4.1 Red Primaria (RP).	15
1.4.2 Red Secundaria (RS).	15
1.5 Técnicas de Detección del Espectro: <i>Spectrum Sensing</i>	16
1.6 Aplicaciones de la Radio Cognitiva.	18
1.7 Seguridad en la Radio Cognitiva.....	18
1.8 Estándar IEEE 802.22: <i>Wireless Regional Area Network (WRAN)</i>	19
1.8.1 Sistema IEEE 802.22 WRAN	20
1.8.1.1 Topología	20
1.8.1.2 Capacidad del Servicio.....	20

1.8.1.3	Cobertura de los Servicios.....	20
1.8.1.4	La Interfaz Aérea.....	20
1.8.1.5	Las medidas y gestión del espectro	24
1.8.1.6	Periodos de silencio para detectar usuarios legítimos.	25
CAPÍTULO II. Situación Actual del Espectro Radioeléctrico.....		26
2.1	Introducción	26
2.2	Espectro Radioeléctrico.....	26
2.2.1	División del Espectro Radioeléctrico	28
2.2.2	Uso de las Frecuencias del Espectro Radioeléctrico	29
2.2.2.1	Banda HF (<i>High Frequency</i>).....	30
2.2.2.2	Banda VHF (<i>Very High Frequency</i>)	30
2.2.2.3	Banda UHF (<i>Ultra High Frequency</i>)	31
2.2.3	Categoría de los Servicios	31
2.2.3.1	Servicios Primarios	31
2.2.3.2	Servicios Secundarios	32
2.3	Norma Técnica y Plan de Distribución de Canales en el Ecuador	32
2.3.1	Plan Nacional de Frecuencias (PNF).....	32
2.3.2	Bandas de Frecuencias	33
2.3.3	Canalización de las Bandas	34
2.4	Asignación de Canales de TV en la Banda VHF/UHF en el Ecuador	35
2.4.1	Zonas y Delimitación Geográfica.....	35
2.5	Concesión espectral para la Ciudad de Loja en la Banda de 54 MHz-686 MHz	39
e.- MATERIALES Y MÉTODOS		42
CAPÍTULO III. Equipo y Metodología de medida.....		42
3.1	Sistema de medida.....	42
3.2	Esquema de medida.....	42
3.2.1	Analizador de Espectro	43
3.2.1.1	Tipos de Analizadores de espectro.....	45
3.2.1.2	Funcionamiento del Analizador de Espectro.....	46
3.2.2	Antena	50
3.2.3	Otros componentes.....	51
3.3	Escenarios de Medida.....	52
3.3.1	Posición de los puntos y lugar de medida	55
3.4	Proceso de evaluación espectral	55

3.4.1	Procedimiento.....	56
f.-	RESULTADOS	58
	CAPÍTULO IV. Resultados de la ocupación del Espectro Radioeléctrico	58
4.1	Métricas de Ocupación del Espectro.....	58
4.2	Resultados de la Evaluación Espectral.....	59
4.2.1	Espectrograma de las Parroquias Urbanas de la Ciudad de Loja.	59
4.2.1.1	Parroquia Carigán.....	60
4.2.1.2	Parroquia El Valle	64
4.2.1.3	Parroquia Sucre	68
4.2.1.5	Parroquia El Sagrario	74
4.2.1.6	Parroquia Punzara	78
4.2.1.7	Parroquia San Sebastián	82
4.4	Análisis de la Evaluación Espectral	84
4.4.1	Análisis Sub-Banda 1: VHF (54 MHz – 88 MHz).....	85
4.4.2	Análisis Sub-Banda 2: FM (88 MHz – 108 MHz).....	87
4.4.3	Análisis Sub-Banda 3: VHF (174 MHz – 216 MHz).....	88
4.4.4	Análisis Sub-Banda 4: UHF (512 MHz – 686 MHz).....	89
4.5	Factibilidad Técnica para la implementación de CRN´s en la ciudad de Loja.....	90
4.6	Análisis de los resultados en función del estándar IEEE 802.22 WRAN	93
g.-	DISCUSIÓN	94
h.-	CONCLUSIONES	96
i.-	RECOMENDACIONES.....	98
j.-	BIBLIOGRAFÍA	99
k.-	ANEXOS	102
	ANEXO A.....	102
	MAPAS DE DISPONIBILIDAD ESPECTRAL.	102
	ANEXO B	106
	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	106
	ANEXO C	110
	INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN Y MONITOREO DEL ESPECTRO.	110

NOMENCLATURA

CR	Cognitive Radio (<i>Radio Cognitiva</i>)
CRN	Cognitive Radio Network (<i>Red de Radio Cognitiva</i>)
DSP	Digital Signal Processor (<i>Procesador Digital de Señal</i>)
SDR	Software Defined Radio (<i>Radio Definido por Software</i>)
PDA's	Personal Digital Assitants (<i>Ayudantes Personales Digitales</i>)
DSA	Dynamic Spectrum Access (<i>Acceso Dinámico al Espectro</i>)
DSAN's	Dynamic Spectrum Access Networks (<i>Redes de Acceso Dinámico al Espectro</i>)
QoS	Quality of Service (<i>Calidad de Servicio</i>)
RS	Red Secundaria
RP	Red Primaria
MAC	Media Access Control (<i>Control de Acceso al Medio</i>)
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum (<i>Espectro Ensanchado de Secuencia Directa</i>)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (<i>Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos</i>)
WRAN	Wireless Regional Área Network (<i>Redes Inalámbricas de Área Regional</i>)
BS	Base Station (<i>Estación Base</i>)
BTS	Base-station Transceiver System
CPE's	Consumer Premise Equipments (<i>Equipos Locales de Usuarios</i>)
SNR	Relación Señal-Ruido
PIRE	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (<i>Multiplexación por división de Frecuencia Ortogonal</i>)
SCH	Superframe Control Header (<i>Cabecera de Control de la Supertrama</i>)
FFT	Fast Fourier Transform (<i>Transformada Rápida de Fourier</i>)
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones

ARCOTEL	Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones
PNF	Plan Nacional de Frecuencias
HF	High Frequency
VHF	Very High Frequency
UHF	Ultra High Frequency
FI	Frecuencia Intermedia
FM	Frecuencia Modulada
RBW	Resolution Bandwidth (<i>Ancho de Banda de Resolución</i>)
VBW	Video Bandwidth (<i>Ancho de Banda de Video</i>)
GPS	Global Positioning System (<i>Sistema de Posicionamiento Global</i>)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Convergencia a Cognitive Radio (CR).....	6
Figura 2: Representación del Acceso Dinámico al Espectro de una CR.	10
Figura 3: Ciclo Cognitivo.	11
Figura 4: Arquitectura de una CRN.	14
Figura 5: Patrón ocupacional de canales de TV.....	21
Figura 6: Vínculo canales contiguos.....	23
Figura 7: Estructura de la Supertrama CRN.	24
Figura 8: Periodos de silencio.....	25
Figura 9: Distribución de Frecuencias según sus Regiones.....	28
Figura 10: Uso de Frecuencias del Espectro.....	29
Figura 11: División en zonas geográficas del Ecuador.....	38
Figura 12: Esquema de medida.....	43
Figura 13: Relación entre dominio de tiempo y dominio de frecuencia.....	44
Figura 14: Analizador de Espectro ANRITSU MT8212B.....	46
Figura 15: Diagrama de bloques de una analizador superheterodino.....	47
Figura 16: Display de un analizador de espectro.....	49
Figura 17: Antena Discono DX-D130.....	50
Figura 18: Convertidor USB to Serial.....	51
Figura 19: Panel de Conectores MT8212B.....	52
Figura 20: GPS eTrex Legend.....	52
Figura 21: Delimitación de la Provincia de Loja- Ecuador.....	53
Figura 22: Delimitación del perímetro urbano de la Ciudad de Loja.....	54
Figura 23: Ubicación de los Sitios de Monitoreo.....	55
Figura 24: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Carigán.....	60
Figura 25: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Saucos Norte.....	60
Figura 26: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Carigán.....	61
Figura 27: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Saucos Norte.....	61
Figura 28: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Carigán.....	62
Figura 29: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Saucos Norte.....	62
Figura 30: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Carigán.....	63
Figura 31: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Saucos Norte.....	63
Figura 32: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Amable María.....	64
Figura 33: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – San Juan del Valle.....	64
Figura 34: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Amable María.....	65
Figura 35: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – San Juan del Valle.....	65
Figura 36: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Amable María.....	66
Figura 37: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – San Juan del Valle.....	66
Figura 38: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Amable María.....	67
Figura 39: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – San Juan del Valle.....	67
Figura 40: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Obrapia.....	68
Figura 41: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – El Pedestal.....	68
Figura 42: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Turunuma.....	69
Figura 43: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Obrapia.....	69

Figura 44: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – El Pedestal.	70
Figura 45: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Turunuma.	70
Figura 46: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Obrapia.	71
Figura 47: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – El Pedestal.	71
Figura 48: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Turunuma.	72
Figura 49: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Obrapia.	72
Figura 50: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – El Pedestal.	73
Figura 51: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Turunuma.	73
Figura 52: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Barrio Central.	74
Figura 53: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Zamora Huayco.	74
Figura 54: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Barrio Central.	75
Figura 55: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Zamora Huayco.	75
Figura 56: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Barrio Central.	76
Figura 57: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Zamora Huayco.	76
Figura 58: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Barrio Central.	77
Figura 59: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Zamora Huayco.	77
Figura 60: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – La Argelia.	78
Figura 61: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Daniel Alvarez.	78
Figura 62: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – La Argelia.	79
Figura 63: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Daniel Alvarez.	79
Figura 64: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – La Argelia.	80
Figura 65: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Daniel Alvarez.	80
Figura 66: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – La Argelia.	81
Figura 67: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Daniel Alvarez.	81
Figura 68: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – San Sebastián.	82
Figura 69: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – San Sebastián.	82
Figura 70: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – San Sebastián.	83
Figura 71: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – San Sebastián.	83
Figura 72: Porcentaje de espectro disponible en cada sub banda de estudio para cada parroquia de la ciudad de Loja.	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Bandas del Espectro Radioeléctrico.....	27
Tabla 2: Rango de frecuencias conforme a cada región.....	29
Tabla 3: Canales VHF.....	33
Tabla 4: Canales UHF.....	33
Tabla 5: Canalización de bandas atribuidas para el servicio de TV en Ecuador.....	34
Tabla 6: Zona Geográfica y Distribución de Canales.	36
Tabla 7: Grupos de Canales.	38
Tabla 8: Emisoras de Radio concesionadas en la ciudad de Loja.	39
Tabla 9: Concesión espectral para la TV abierta en la ciudad de Loja.	41
Tabla 10: Sub división de la banda de frecuencia 54 MHz – 686 MHz.....	57
Tabla 11: Parámetros de configuración del analizador de espectros.....	57
Tabla 12: Resultados de la ocupación espectral de la Sub-Banda 1.	85
Tabla 13: Resultados de la ocupación espectral de la Sub-Banda 2.	87
Tabla 14: Resultados de la ocupación espectral de la Sub-Banda 3.	88
Tabla 15: Resultados de la ocupación espectral de la Sub-Banda 4.	89
Tabla 16: Disponibilidad de espectro en la ciudad de Loja.	92

a.- TÍTULO

“IDENTIFICACIÓN DE WHITE SPACES EN LA BANDA VHF/UHF PARA LA
FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE RADIO COGNITIVA EN LA
CIUDAD LOJA”.

b.- RESUMEN

El constante desarrollo de sistemas de telecomunicaciones a nivel mundial, diseñados específicamente para transmitir de manera inalámbrica utilizando el medio radioeléctrico, es la causa para que hoy en día se empiece a experimentar una escasez de frecuencias disponibles dentro del espectro radioeléctrico. En efecto, la sobreutilización y el uso ineficiente del espectro han llevado a investigar posibles soluciones tecnológicas que ayuden a optimizar su uso. En este contexto se han propuesto las redes de acceso dinámico al espectro radioeléctrico, redes inteligentes conocidas como redes de *Radio Cognitiva*, las cuales nacieron como una solución al uso ineficiente del espectro, y que permiten un uso dinámico del espectro reutilizando las frecuencias en desuso con la condición de no interferir con los usuarios primarios.

Bajo esta visión, el presente proyecto tiene como objetivo llevar a cabo la identificación de los *White Spaces* en las bandas VHF/UHF, específicamente dentro del rango de frecuencias comprendido entre los 54 MHz a 686 MHz, para un posible uso en sistemas de radio cognitiva. Para ello se visitó cada una de las seis parroquias urbanas de la ciudad de Loja, lugar donde se realizó el monitoreo del espectro con el objetivo de conocer la ocupación espectral.

La ocupación espectral en cada una de las parroquias se determina mediante el método de detección de energía, para ello se utilizó principalmente un equipo basado en un *Analizador de Espectros* necesario para llevar a cabo las mediciones. En los resultados obtenidos se observa que aproximadamente el 70% del total de ancho de banda evaluado se encuentra subutilizado, permitiendo la posibilidad de implementar redes de Radio Cognitiva.

SUMMARY

The constant development of telecommunication systems worldwide, specifically designed to transmit wirelessly using radio medium is the cause for today will begin to experience a decrease in available frequencies. In fact, overuse and inefficient use of spectrum have been investigating possible technological solution that help optimize their use. In this context, networks have proposed dynamic access to radio spectrum, intelligent networks known as *Cognitive Radio Networks* (CRN's), which were made as a solution to the inefficient use of spectrum and allow a dynamic use of spectrum reusing obsolete frequencies with the condition not interfere with primary users.

Under this vision, this project aims to carry out the identification *White Spaces* in the VHF/UHF bands, specifically within the range of frequencies ranging between 54 MHz – 686 MHz, for possible use in system cognitive radio. For this he visited each of the six urban parishes of the city of Loja, where the spectrum monitoring was performed in order to meet the spectral occupation.

The spectral occupation in each of the parishes is determined by the energy detection method, for this is mainly used an equipment based on a *Spectrum Analyzer* required to perform the measurements. In the results is shows that about 70% of the total band width be evaluated underutilized, allowing to implement the possibility of Cognitive Radio Networks.

c.- INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha venido dando un importante crecimiento en los servicios inalámbricos de banda ancha, causado principalmente por la conectividad móvil. La gran necesidad de utilizar la comunicación como una herramienta primordial para el desarrollo de los pueblos y de la sociedad en general, ha permitido que se desarrollen nuevas y diferentes tecnologías de telecomunicaciones. El desarrollo de estas tecnologías ha traído consigo un crecimiento importante en la demanda de comunicaciones inalámbricas, dejando como consecuencia una escasez en el espectro radioeléctrico donde cada vez es más difícil encontrar bandas libres para el despliegue de nuevos sistemas, principalmente en las bandas por debajo de los 3 GHz, las mismas que son muy valiosas para los sistemas inalámbricos debido a sus características de propagación muy favorables.

Estudios recientes llevados a cabo por la FCC (Federal Communication Commission), una agencia Estatal independiente de los Estados Unidos encargada de la regulación de las telecomunicaciones muestran que, en promedio, el uso real del espectro en el que trabaja un determinado servicio oscila entre el 15% y el 85% del total, de tal forma que esporádicamente y en una localización geográfica, el uso de una banda espectral puede ser potencialmente bajo. Además, en estos resultados se muestra que en la banda comprendida entre los 30 MHz y los 3 GHz, banda que coincide con las frecuencias utilizadas para la transmisión de TV, radio FM y Telefonía Móvil, se puede evidenciar que ciertas bandas de frecuencias no están siendo extensivamente utilizadas, mostrándose por ejemplo que las frecuencias utilizadas para la televisión tan solo usan aproximadamente el 25 % del espectro que tienen licenciado para realizar sus transmisiones. En otros estudios llevados a cabo por una organización de operadores móviles denominada GSMA, muestran que el desarrollo de la industria móvil y el constante flujo de nuevas aplicaciones móviles aumentan de manera inusual el tráfico de datos en las redes y, por lo tanto, el uso del espectro disponible. Según estimaciones realizadas por esta organización se espera que en los próximos 5 años la industria móvil utilizará tres veces más espectro que en los últimos 20 años, por lo que la escasez del espectro es cada vez más significativa. [1] [2]

Desde esta perspectiva, la misma que muestra la ineficiencia de las actuales políticas de asignación de espectro, esta problemática creciente ha generado investigaciones que

buscan posibles soluciones que permitan un uso más eficiente del espectro sin afectar la calidad de servicio, las cuales han arrojado como resultado alguna soluciones como la Radio Cognitiva (CR, *Cognitive Radio*), misma que se ha identificado en los últimos años como una prometedora solución a este problema. La idea principal de esta nueva tecnología consiste en permitir que los usuarios sin licencia puedan acceder a ciertas bandas del espectro radioeléctrico que se encuentren temporalmente desocupadas por los usuarios con licencia, siempre y cuando estas transmisiones no den lugar a cualquier tipo de interferencias sobre los usuarios primarios o legítimos. [3]

En los últimos años, la tecnología de Radio Cognitiva se ha convertido en uno de los conceptos más investigados en el campo de las comunicaciones inalámbricas por sus múltiples potenciales. En general, las redes de Radio Cognitiva (CRN, *Cognitive Radio Network*) son capaces de adaptarse dinámicamente al entorno y combinar diferente tipo de información para poder tomar decisiones inteligentes sobre el espectro que puede utilizar. Las CRN's se basan en la reutilización del espectro en desuso, permiten la utilización del espectro por parte de usuarios sin licencia con la condición de no interferir las transmisiones de los usuarios primarios. [3]

El trabajo realizado en el presente proyecto ha consistido en una primera fase de documentación sobre la Radio Cognitiva, donde se define el funcionamiento y sus posibles aplicaciones, y la situación actual del espectro radioeléctrico en el Ecuador, descritos en el capítulo uno y dos respectivamente.

En el capítulo tres se describe las características más importantes del equipo de medida, elemento principal para realizar la evaluación espectral. Además se explican los conceptos básicos del analizador de espectros, así como la metodología utilizada para la realización de la campaña de medidas.

En el capítulo cuatro se realiza el procesamiento de las medidas tomadas y se presentan los resultados obtenidos de la ocupación espectral en la banda de televisión y FM en función de los umbrales de decision establecidos por el estándar IEEE 802.22. Además se determina la factibilidad para el posible uso de sistemas de Radio Cognitiva.

Finalmente se realiza una discusión de los resultados obtenidos para posteriormente elaborar y presentar las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto.

d.- REVISIÓN DE LITERATURA.

CAPÍTULO I. La Radio Cognitiva: Funcionamiento y Aplicaciones

1.1 Antecedentes y Desarrollo de la Radio Cognitiva.

La mayoría de dispositivos de radiocomunicaciones, hasta finales de los años 90 fueron fabricados utilizando un Procesador Digital de Señal (*DSP, Digital Signal Processor*), con la finalidad de implementar funciones de procesamiento de señal y de modulación. Este tipo de arquitectura permitió que esta tecnología pueda ser utilizada en nuevas funcionalidades para aplicaciones específicas. [4]

Con el paso de los años, se empieza a fabricar dispositivos de radio con diferentes funciones específicas, como por ejemplo el manejo del espectro radioeléctrico y adaptación de los parámetros de operación. Es de esta manera que empiezan a aparecer radios donde sus propiedades como: la frecuencia, la modulación, el ancho de banda de la señal y el acceso a la red son definidas mediante software, y es así como aparecen los denominados Radios Definidos por Software (*SDR, Software Defined Radio*). [4]

Los SDR's fueron la base fundamental para el desarrollo de las Radios Cognitivas. En la figura 1 se puede observar como a través de la convergencia de varias tecnologías, esta se convierte en una plataforma para orientar el camino de las Radios Cognitivas. [5]

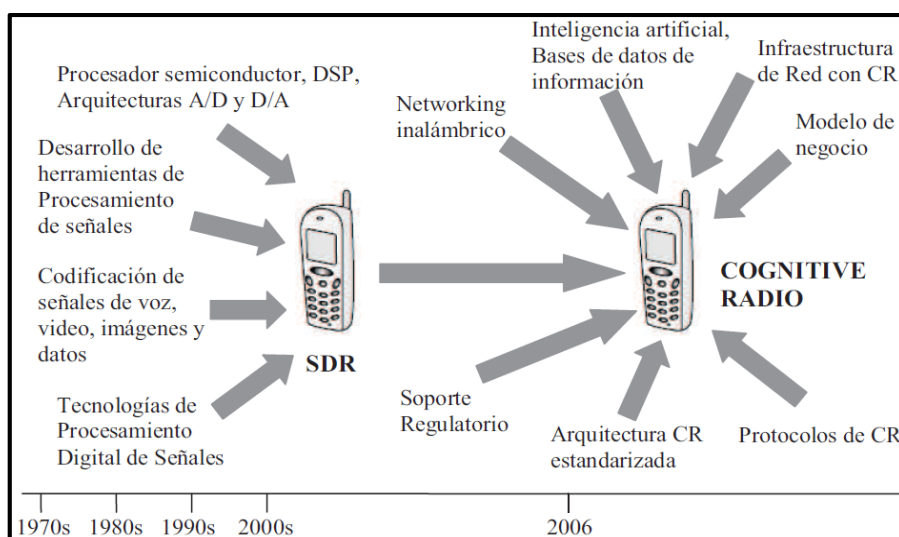


Figura 1: Convergencia a Cognitive Radio (CR).¹

¹ Bruce A. Fette; 2009, "Cognitive Radio Technology", Editorial Academic Press, Burlington, USA

El Término de *Radio Cognitiva* fue presentado por primera vez por Joseph Mitola III a finales de los años 90, con el objetivo de referirse a un tipo de radio reprogramable o reconfigurable. Es decir, un equipo donde un mismo elemento de hardware presenta la capacidad de realizar diferentes funcionalidades en distintos instantes de tiempo. Mitola publicó que: “*los denominados Cognitive Radios identifican el punto en que los Ayudantes Personales Digitales (PDA’s, Personal Digital Assitants) inalámbricos son lo suficientemente inteligentes para detectar las necesidades de comunicación del usuario en función del contexto de uso, y proveer los recursos de radio y los servicios inalámbricos más apropiados para esas necesidades*”. [3]

En otras palabras, el concepto de *Radio Cognitiva* surge para solucionar problemas de compatibilidad e interoperabilidad en redes inalámbricas, ya que define un conjunto de procedimientos y técnicas orientadas a realizar el procesamiento de señales por medio de un dispositivo de propósito general.

1.2 Redes de Radio Cognitiva (CRN’s).

Las redes de radio cognitiva (CRNs), también denominadas como redes de acceso dinámico al espectro (DSAN’s, *Dynamic Spectrum Access Networks*), proporcionaran un ancho de banda considerable a los usuarios móviles a través de arquitecturas heterogéneas inalámbricas y técnicas de acceso dinámico al espectro. El mal uso del espectro radioeléctrico existente puede mejorarse a través del acceso oportunista en bandas con licencia por usuarios secundarios o sin licencia, teniendo en consideración que no debe producirse ningún tipo de interferencias. Sin embargo las CRN’s imponen grandes retos a la investigación debido a los problemas técnicos que presentan, los cuales aún requieren de soluciones totalmente satisfactorias. [6]

La causa fundamental que permite el desarrollo de este tipo de redes es la tecnología *Cognitive Radio* (CR). Las técnicas CR proporcionan la capacidad para usar o compartir el espectro de forma oportunista. Las técnicas de acceso dinámico al espectro permiten a las CRN’s operar en el mejor canal que se encuentre disponible. En general, de forma concreta, la tecnología CR permite a los usuarios: [7]

1. Determinar la porción del espectro que se encuentra disponible y detectar la presencia de los usuarios primarios o con licencia cuando un usuario secundario esté operando en dicha banda, lo que se conoce como *Detección del Espectro*.
2. Seleccionar el mejor canal que se encuentre disponible. Lo que se conoce como *Decisión de Espectro*.
3. Coordinar el acceso a los canales disponibles con otros usuarios secundarios, lo que se conoce como *Compartición del Espectro*.
4. Desalojo del canal cuando se detecta a un usuario primario o con licencia, lo que se conoce como *Movilidad del Espectro*.

En general, para que una red de Radio Cognitiva (CRN) logre funcionar correctamente se debe de cumplir los siguientes requisitos: [7]

- Evitar interferencias: La red secundaria no debe interferir en ningún momento a los usuarios primarios o con licencia.
- Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*): Para poder decidir cuál es la banda espectral adecuada y de esta manera cumplir con los requerimientos de QoS, la red secundaria debe tener en cuenta el entorno dinámico y el uso heterogéneo del espectro radioeléctrico.
- La red de Radio Cognitiva debe proporcionar a los usuarios secundarios una comunicación fluida con independencia de la aparición de los usuarios primarios.

La tecnología de Radio Cognitiva (CR), es la clave tecnológica que permite a una CRN utilizar el espectro de forma dinámica, ya que las técnicas de Radio Cognitiva proporcionan la capacidad para compartir el canal de radio con los usuarios primarios de la manera más oportuna.

1.3 Radio Cognitiva (CR).

La radio cognitiva (CR, *Cognitive Radio*) es una tecnología basada en un sistema SDR (*Radio Definido por Software*) inteligente o cognitivo. Este término fue asignado por Joseph Mitola III en su tesis doctoral en el año de 1991, pensada como una plataforma para orientar el camino de la evolución de las comunicaciones inalámbricas. [6]

En general, la Radio Cognitiva se la define como:

“una tecnología radio que tiene la capacidad de cambiar sus parámetro de transmisión basándose en la interacción con el medio o su entorno”. [6]

El primer paso que se debe tomar para el desarrollo de un dispositivo CR, es la elaboración de técnicas que permitan la detección fiable de espacios inutilizados en el espectro radioeléctrico. De esta manera, un dispositivo CR debe tener la capacidad de monitorear de forma periódica su entorno de radiofrecuencia para detectar los posibles huecos del espectro que no están siendo utilizados temporalmente por sus usuarios primarios. Estas bandas que no están siendo utilizadas son denominadas espacios en blanco o *White Spaces*. [3]

Las tecnologías basadas en Radios Cognitivos son el resultado de un gran trabajo y esfuerzo multidisciplinario que involucra expertos en redes inalámbricas, comunicaciones digitales, ingeniería de sistemas, inteligencia artificial y otras disciplinas. Como resultado de esas actividades, se espera que estos sistemas puedan simultáneamente respetar los derechos de los usuarios licenciados mientras proporciona mayor flexibilidad para acceder al espectro y por ende utilizarlo de manera mucho más eficiente. [6]

De acuerdo a estas definiciones, se puede destacar tres características fundamentales sobre la Radio Cognitiva, estas son: El Acceso Dinámico al Espectro, La Capacidad Cognitiva y la Reconfigurabilidad. [6]

1.3.1 Acceso Dinámico al Espectro: *Dynamic Spectrum Access (DSA)*².

Teniendo en cuenta que uno de los propósitos principales de las redes de Radio Cognitiva es acceder a las mejores bandas del espectro radioeléctrico disponible a través de sus capacidades cognoscitivas, y dado que la mayoría del espectro ya está asignado, el reto más importante es compartir este espectro con los usuarios primarios o licenciados sin interferirlos, tal como se ilustra en la Figura 2, en donde se muestra el uso temporal del espectro en los espacios no utilizados o también conocidos como espacios en blanco (*White Spaces*). Si esta banda va a ser utilizada por un usuario primario, la radio cognoscitiva se mueve a otro “agujero del espectro”, o se queda en

² **DSA (Dynamic Spectrum Access)**.- es un término general que define un conjunto de técnicas empleadas para el acceso al recurso espectral bajo ciertas condiciones específicas dependientes de la arquitectura de la red, entre otros requerimientos.

la misma banda pero alterando su nivel de potencia de transmisión o esquema de modulación para evitar interferencias. [4]

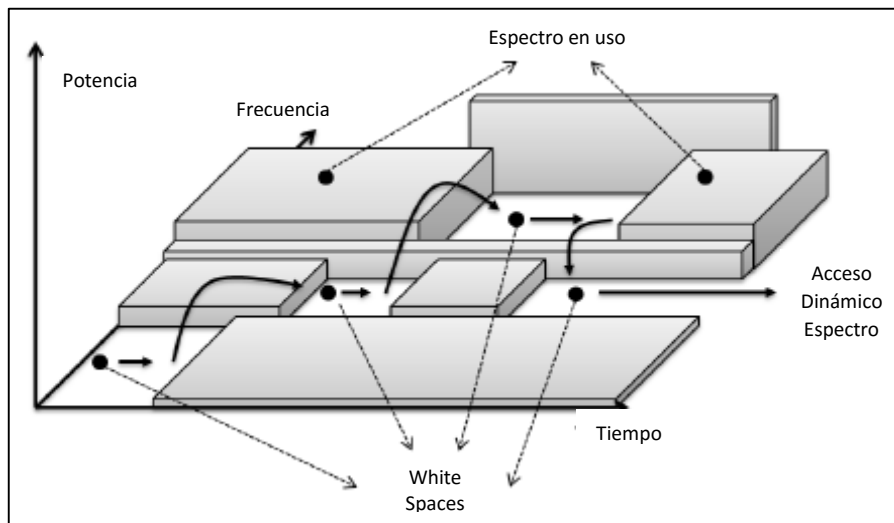


Figura 2: Representación del Acceso Dinámico al Espectro de una CR.³

Independientemente del modelo de regulación y del método utilizado, la flexibilidad y la eficiencia deben reflejarse en el acceso al espectro, ya que la apropiada compartición de este recurso juega un papel importante para aumentar la utilización y aprovechamiento del mismo.

1.3.2 Capacidad Cognitiva

La capacidad cognitiva se refiere a la capacidad que proporciona la tecnología de radio de escanear o monitorear la información de dispositivos radio que la rodean en tiempo real. Esta capacidad no puede determinarse simplemente monitoreando la potencia en las bandas de frecuencia de interés. Así pues, es necesario el uso de técnicas más sofisticadas para poder capturar las variaciones en el ambiente radio y de esta manera poder evitar interferencias con otros usuarios. A través de esta capacidad, las partes del espectro radioeléctrico que se encuentran sub-utilizadas en un momento específico o lugar se pueden identificar como espacio blanco (*White Spaces*). En consecuencia, se puede seleccionar el mejor espectro y parámetros de funcionamiento. [6]

³ Juan Carlos León Gutiérrez.; 2012, "Diseño e implementación de una metodología para representar White Spaces con una herramienta de Planificación de radiofrecuencia". Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14820/Memoria.pdf;jsessionid=76CFE3D9875EC55C5E8703324DF3E2FE?sequence=1>

Los espacios en el espectro radioeléctrico son definidos en una localización o tiempo determinado, clasificándose en tres diferentes clases: [8]

- Espacios negros: Se encuentran ocupados por interferencias de alta potencia en ciertos intervalos de tiempo. Estos espacios deben ser evitados todas las veces cuando los emisores de radio frecuencias residentes en ellos estén encendidos.
- Espacios grises: Se encuentran parcialmente ocupados por interferencias de baja potencia.
- Espacios blancos (*White Spaces*): Estos espacios se encuentran libres de interferencias de radio frecuencia excepto por el ambiente compuesto por formas naturales y artificiales de ruido.

A través de iteraciones en tiempo real con el entorno radio, la capacidad cognitiva de una CR, permite determinar los parámetros de comunicación más apropiados y adaptarse al entorno radio de modo dinámico. Los pasos que se requieren se muestra en la figura 3, al cual se lo denomina como *ciclo cognitivo*. [9]

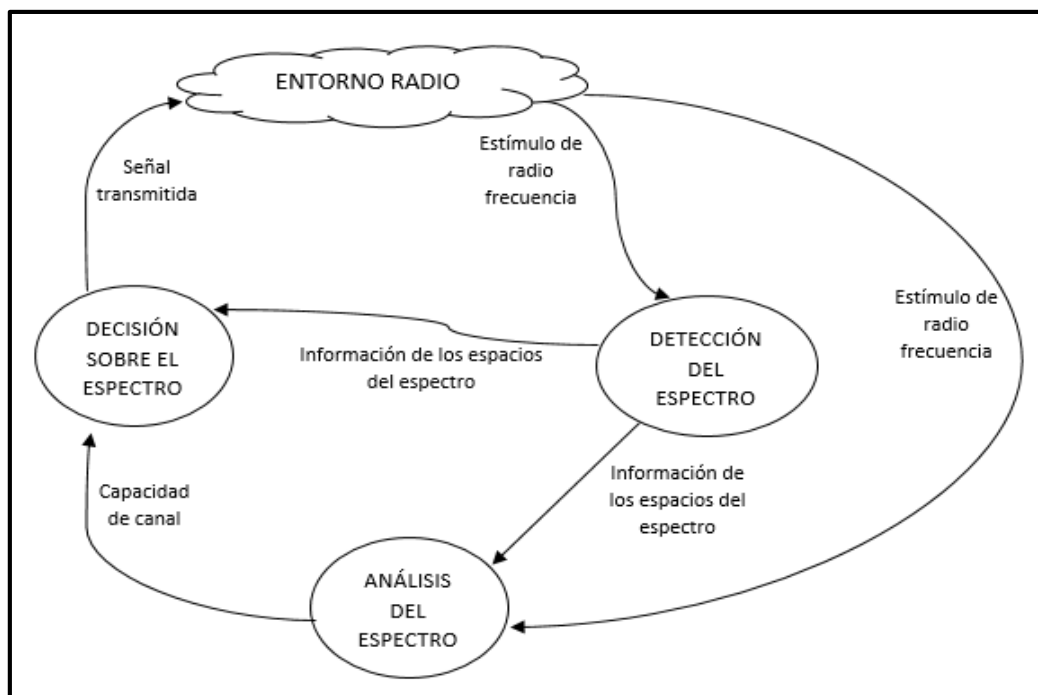


Figura 3: Ciclo Cognitivo.⁴

⁴ Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, 2006, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks". Disponible en: <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/surveys/radio.pdf>

- *Detección del espectro:* La CR monitoriza las bandas de espectro disponible, captura su información, y después detecta los huecos en el espectro o espacios en blanco (*White Spaces*).
- *Análisis del espectro:* Contiene la estimación de la información del estado del canal y la predicción de la capacidad del canal para ser usado por el transmisor.
- *Decisión sobre el espectro:* la CR determina la tasa de datos, el modo de transmisión y el ancho de banda de transmisión. Posteriormente, la banda de espectro apropiada se escoge teniendo en cuenta las características del espectro y los requerimientos del usuario.

Dado que los cambios del entorno radio ocurren en tiempo y en espacio, la Radio Cognitiva debe realizar un monitoreo constante de su entorno para percatarse de dichas modificaciones. Ahora bien, si existe cualquier tipo de cambio durante la transmisión, como la aparición del usuario primario o un cambio en el tráfico o movimientos de usuarios, existe una función de movilidad del espectro que se realiza para brindar una perfecta transmisión. [6]

1.3.3 Reconfigurabilidad

La Radio Cognitiva puede adaptarse fácilmente a un entorno radio dinámico al tener la capacidad de ajustar sus parámetros de operación en plena transmisión sin necesidad de realizar alguna modificación en sus componentes de hardware. Existen varios parámetros reconfigurables los cuales se nombran y explican a continuación de forma resumida: [9]

- *Frecuencia de operación:* Conforme a la información obtenida en su entorno radio, la Radio Cognitiva es capaz de cambiar su frecuencia de operación a la más adecuada.
- *Modulación:* La Radio Cognitiva debe reconfigurar el esquema de modulación adaptativo dadas las condiciones del canal y las necesidades del usuario. Un ejemplo se observa en las aplicaciones sensibles al retardo, donde la tasa de datos es más importante que la tasa de error. Por lo tanto, debe ser seleccionado un esquema de modulación que permita una alta eficiencia espectral.

- *Potencia de transmisión:* Permite controlar la potencia de forma dinámica dentro de unos parámetros establecidos, donde la Radio Cognitiva puede reducir la potencia del transmisor a un nivel mínimo logrando así compartir el espectro con más usuarios y disminuir la interferencia.
- *Tecnología de comunicación:* La Radio Cognitiva puede ser usada para proporcionar interoperabilidad entre diferentes sistemas de comunicación.

Todos los parámetros de transmisión de la Radio Cognitiva pueden reconfigurarse no tan solo al comienzo de la transmisión, sino también mientras se esté transmitiendo información. De acuerdo a las características del espectro radioeléctrico, estos parámetros pueden reconfigurarse de manera que si la radio cognitiva cambia a un espectro diferente, *spectrum handoff*, los parámetros de transmisión y recepción se adaptan, y se utilizan los parámetros del protocolo de comunicación y sistema de modulación adecuados a dicha situación. [6] [9]

1.4 Arquitectura de la Red de Radio Cognitiva (CRN).

Existen arquitecturas de redes inalámbricas que emplean heterogeneidad en términos de política de espectro y de tecnologías de comunicación. Además, una parte del espectro inalámbrico ya se encuentra asignado a diversas aplicaciones con licencia. Para el desarrollo de protocolos de comunicación, es esencial tener una clara descripción de la arquitectura de una red de Radio Cognitiva (CRN). En la Figura 4, se representan los componentes principales que conforman la arquitectura de esta red. [9]

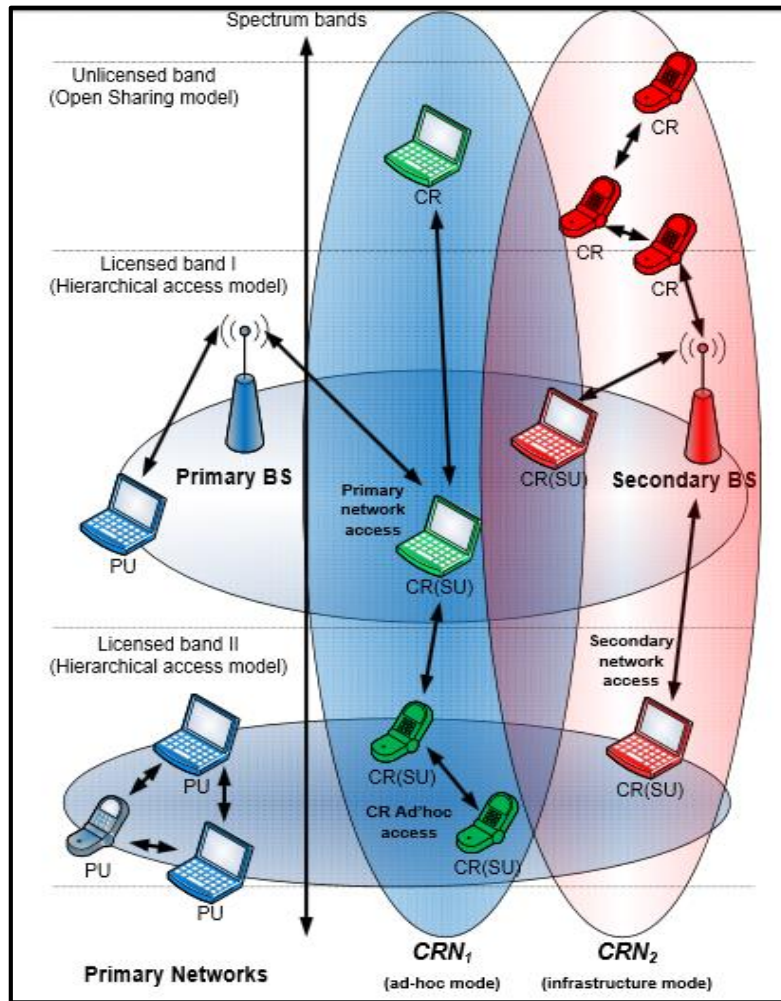


Figura 4: Arquitectura de una CRN.⁵

La arquitectura de CRN que se muestra en la figura 1.3 consta de diferentes tipos de redes, dentro de las que podemos destacar están: la red primaria, una infraestructura de red basada en CR o red secundaria, y una red ad-hoc CR. Las CRN's son redes que funcionan bajo el entorno de espectro mixto, es decir, en bandas con licencia y sin licencia. Así pues, existen tres tipos diferentes de acceso que pueden realizar los usuarios secundarios: [6] [9]

- *Acceso CRN o Red Secundaria (RS):* Los usuarios secundarios acceden a su propia estación base secundaria, tanto en las bandas del espectro con y sin licencias. Además, como todas las iteraciones suceden dentro de la RS, su política de compartir el espectro puede ser diferente a la de RP.

⁵ Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, 2006, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks". Disponible en: <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/surveys/radio.pdf>

- *Acceso Ad-Hoc CR*: Los usuarios secundarios se pueden comunicar con otros usuarios secundarios a través de una conexión ad hoc tanto en las bandas del espectro con y sin licencias.
- *Acceso Red Primaria (RP)*: Los usuarios secundarios también pueden acceder a la estación base primaria a través de la banda licenciada. A diferencia de los otros tipos de acceso, los usuarios secundarios requieren de un protocolo adaptativo de control de acceso al medio (MAC), que permite la itinerancia a través de múltiples RP con diferentes tecnologías de acceso.

1.4.1 Red Primaria (RP).

La red primaria o red con licencia se refiere a la infraestructura de la red existente. Dicha red tiene derecho exclusivo dentro de una determinada banda del espectro, por ejemplo la emisión de televisión o de telefonía móvil. Los componentes de la red primaria son los siguientes: [9]

- *Usuario primario o principal*: el usuario primario posee una licencia para operar en una determinada banda del espectro. Este acceso solo puede ser controlado por la estación base primaria y no debe verse afectado por usuarios que operen sin licencia. Los usuarios primarios no necesitan ningún tipo de modificación o función adicional para coexistir con estaciones bases secundarias o usuarios secundarios.
- *Estación base primaria*: La estación base primaria o estación base con licencia es un componente de infraestructura de red fija que posee una banda de frecuencia de trabajo tal y como sucede con las estaciones base (BTS, Base-station Transceiver System) en los sistemas de telefonía móvil. En principio, la estación base no tiene ninguna capacidad cognitiva para compartir el espectro con usuarios secundarios. Sin embargo, la estación base principal o primaria solicitará a ambos la licencia y el protocolo CR para la red de acceso primaria para los usuarios secundarios.

1.4.2 Red Secundaria (RS).

La red secundaria o red de Acceso Dinámico al Espectro, no tiene licencia para operar en la banda deseada. Por lo tanto, el acceso al espectro solo se permite de forma oportunista. Las redes secundarias pueden desplegarse como una infraestructura de red y

como red ad-hoc tal y como se muestra en la figura 4. Los componentes de una red secundaria son los siguientes: [9]

- *Usuarios CR*: los usuarios CR son usuarios secundarios que no tienen licencia en dicho espectro. Por lo tanto, son necesarias las funcionalidades adicionales para poder compartir la banda de espectro en que se necesita licencia.
- *Estación base CR*: la estación base CR o estación base secundaria, es un componente de la infraestructura fija con capacidad CR. La estación base secundaria tan solo establece conexión con usuarios secundarios que no poseen licencia de acceso al espectro. A través de esta conexión, un usuario secundario puede acceder a otras redes.
- *Agente del espectro*: Agente del espectro en una identidad central de la red que juega el papel de la distribución de los recursos del espectro entre las diferentes CRN's. El Agente del espectro puede conectarse a cada red sirviendo como información al espectro de otras redes y así permitir la coexistencia entre múltiples CRN's.

1.5 Técnicas de Detección del Espectro: *Spectrum Sensing*.

Un requerimiento fundamental de las CRN's es la capacidad de detectar tanto la existencia de los huecos espectrales (*White Spaces*), como de detectar la presencia de usuarios primarios con la finalidad de no causar interferencias. Para ello, cada usuario monitorea el espectro de manera individual haciendo uso de técnicas de sensado. [6]

Por lo general, las técnicas de *spectrum sensing* se pueden clasificar en tres grandes categorías: detección de energía, detección por filtro adaptado y detección cicloestacionaria. Cada una de ellas ofrece un grado diferente de compromiso entre complejidad y capacidad de detección, tal y como se detalla a continuación: [4]

- El método de *Detección de energía* es óptimo para descubrir cualquier señal desconocida, en donde se mide la energía de una frecuencia de radio en el canal de comunicaciones o el indicador de intensidad de señal recibida (RSSI) para el caso de compartición en bandas de frecuencias sin licencias, con el fin de determinar si el canal está ocupado o no. Aunque el método de detección de energía puede ser aplicado sin tener algún conocimiento previo de la señal del

usuario primario, tiene algunos inconvenientes. El primer problema es que sólo se puede detectar la señal del usuario principal si la energía detectada está por encima de un umbral específico, evitando que se detecten señales débiles. Otro problema fundamental, es que no se puede distinguir entre la señal de un usuario primario, al cual no se le puede interferir y la de otro usuario secundario que desean compartir el mismo canal. [4]

- Un *Filtro adaptivo* es un sistema lineal invariante cuya función principal es detectar la presencia de una señal de referencia, dentro de una señal desconocida que ingresará a este filtro. La señal a la salida del filtro será la correlación de la señal de referencia con la señal desconocida, procedimiento equivalente a realizar la convolución de la señal desconocida con una versión retardada de la señal que se usará como referencia. El filtro adaptivo es el sistema óptimo para maximizar la relación señal/ruido (SNR) en presencia de ruido blanco y gaussiano. Su uso es común en aplicaciones de radar, donde se envía una señal que luego se pretende detectar, pero en el ámbito de Cognitive Radio, puede requerirse información acerca del usuario primario. [4]
- *Detección Cicloestacionaria*: Si la señal del usuario primario exhibe fuertes propiedades ciclo estacionario, puede ser detectada aún con valores de SNR muy baja. Una señal se dice que es ciclo estacionaria si su auto correlación es una función periódica de tiempo, de cierto período de duración. Conociendo la periodicidad de las señales de los usuarios primarios, es decir, la frecuencia cíclica única de su señal, se puede detectar la misma. [4]

La aplicación de cada una de estas técnicas depende de la cantidad de información disponible acerca de las señales primarias a detectar. Por lo general, la red secundaria no dispone de ninguna información a priori de las señales a detectar. En tal caso, el único método de detección posible es el de detección de energía. Este método compara la energía de la señal recibida con un cierto umbral de decisión y determina que la señal está presente si el nivel de energía está por encima del umbral. Dado este propio funcionamiento del analizador espectral, este método es el considerado para el desarrollo del presente trabajo. [4] [6]

1.6 Aplicaciones de la Radio Cognitiva.

Existen algunos entornos donde se pueden utilizar los sistemas de Radio Cognitiva, los entornos en los que sobresalen son: [3] [9]

- *Uso militar*: la mayoría de los sistemas de comunicación de los ejércitos requieren un rápido despliegue bajo entornos desconocidos y hostiles, con variaciones constantes en el uso del espectro radioeléctrico. Las redes de radio cognitiva pueden ser una solución efectiva por su autónoma configuración y adaptabilidad a diferentes entornos, al utilizar frecuencias desocupadas.
- *Seguridad pública*: para los cuerpos de seguridad pública como por ejemplo, bomberos y policías, las redes cognitivas pueden ser de gran utilidad por su capacidad de interoperabilidad entre distintos sistemas y facilitar un rápido despliegue en la configuración.
- *Emergencias*: en las situaciones de catástrofes naturales, donde es transcendental la comunicación entre los servicios de salud, las redes de radio cognitiva permitirá que las frecuencias no utilizadas en el espectro, se ocupen en la atención de emergencias. Las redes de emergencia de radio cognitivas son capaces de cumplir su función incluso en la ausencia de las infraestructuras de comunicaciones habituales.
- *Internet de Banda Ancha*: Existen muchas oportunidades en el ámbito comercial para operar nuevos regímenes de administración del espectro, brindar así varios servicios inalámbricos y mejorar los actuales sistemas de radio, al acceder a más frecuencias. Una aplicación más comercial de la radio cognitiva consiste en proporcionar servicios de banda ancha en entornos rurales y de difícil acceso.

1.7 Seguridad en la Radio Cognitiva.

La Radio Cognitiva dentro de sus principales objetivos incluye la preservación de la privacidad de la información. Esto puede ser una necesidad vital, especialmente en las comunicaciones de uso militar. [3]

En muchos sistemas de comunicación, la seguridad de la información está garantizada mediante el uso de una cantidad excesiva de cifrado. Estos sistemas de cifrado solo son

conocidos por el emisor y el receptor, y de esta manera se puede evitar que los usuarios no deseados puedan escuchar la comunicación. En algunos otros sistemas, la seguridad de la información es un atributo inherente a la capa física propia. El Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS, *Direct Sequence Spread Spectrum*) y los sistemas de salto de frecuencia, permiten una comunicación segura mediante la asignación a cada usuario de un código específico de esparcimiento o de una secuencia de saltos. De esta manera un número de usuarios pueden utilizar la misma banda de frecuencias o el mismo fragmento de frecuencias sin escuchar el uno al otro. [3]

Las redes de radio cognitiva se encuentran aún en la fase de formación. Por tanto, existen ejemplos limitados de los sistemas de trabajo. Un ejemplo relacionado con la seguridad es la norma IEEE 802.22, un estándar para servicios de banda ancha inalámbrica en los espacios de televisión libres. Esta norma tiene en cuenta las cuestiones de seguridad a través de las especificaciones de subcapas de seguridad. Las subcapas de seguridad se centran en la integridad de los datos: la identificación de los usuarios y su asociación con una identidad válida, la autenticación de los dispositivos, los procesos de autorización, confidencialidad, protección de la privacidad de los datos, entre otras características. [3]

1.8 Estándar IEEE 802.22: *Wireless Regional Area Network (WRAN)*

El constante desarrollo que se ha ido dando en el mundo de las redes de banda ancha, y las diferentes tecnologías que se han desarrollado para la implementación de este servicio, han permitido desarrollar un estudio para la creación de un estándar que nos permita utilizar las bandas de frecuencia VHF/UHF, empleadas para transmisión de televisión y así poder aprovechar de una mejor manera el espectro radioeléctrico en estas frecuencias. [10]

De esta manera, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), durante noviembre de 2004 inicia los primeros pasos en busca del que probablemente sea el primer estándar en utilizar tecnología basada en la Radio Cognitiva (CR) donde la operación sin licencia en las banda de televisión sería muy significativa y donde las aplicaciones más importantes estarían en las zonas rurales y remotas. El 16 de junio de 2011, la IEEE aprueba el estándar 802.22 o también denominado como Redes Inalámbricas de Área Regional (WRAN). [11]

1.8.1 Sistema IEEE 802.22 WRAN

1.8.1.1 Topología

El sistema 802.22 especifica una interfaz inalámbrica fija punto a multipunto (P-MP) por el cual una estación base (BS) maneja su celda y todos los equipos locales de usuarios (CPE's, *Consumer Premise Equipments*). La BS controla el medio de acceso en su celda y transmite a varios CPE's, los cuales responden a la BS. [12]

Además, las BS también administran lo que se llama detección distributiva (*distributed sensing*). Esta característica es necesaria para asegurar el correcto uso del espectro de televisión sin interferir en el espectro ya usado por las emisiones. Según lo que la BS reciba de los CPE's, actuará de una manera u otra. [12]

1.8.1.2 Capacidad del Servicio

El sistema 802.22 presenta una eficiencia espectral en el rango de 0.5 bit/(seg/Hz) hasta 5 bit/(seg/Hz). Si se considera un promedio de 3 bit/(seg/Hz), este estándar puede alcanzar una velocidad media de 18 Mbps en un canal de televisión de 6 MHz. Suponiendo un total de 12 usuarios simultáneos la velocidad de datos mínima por CPE en total es de 1.5 Mbps de bajada (*downlink*) y 384 Kbps de subida (*uplink*), bastante similar al servicios ADSL (*Línea de abonado digital asimétrica*). [12]

1.8.1.3 Cobertura de los Servicios

Otra de las grandes diferencias del estándar 802.22 WRAN con respecto a los estándares existentes IEEE 802 es el rango de cobertura de las BS, siendo de hasta 100 Km siempre que la potencia no sea un problema. Si la BS cuenta con una potencia (PIRE, *Potencia Isotrópica Radiada Equivalente*) de 4W, la cobertura puede alcanzar una distancia de hasta 33 km.

1.8.1.4 La Interfaz Aérea

Uno de los requerimientos más críticos e importante de la interfaz aérea del estándar 802.22 es la flexibilidad y la adaptabilidad, ya que hay que evitar las interferencias con otros usuarios que usan el mismo espectro. Además, al no requerir licencias para usar este

sistema y debido a la gran cobertura que alcanzan las BS, la coexistencia entre varias celdas (a partir de ahora, *auto-coexistencia*) es de vital importancia. [12]

1.8.1.4.1 La capa física (PHY)

La capa física (PHY) es la interfaz entre la MAC y el medio inalámbrico. Provee de tres niveles de funcionalidad: [12]

- Intercambiar tramas entre PHY y MAC.
- Utilizar portador de señal (*signal carrier*) y modulación de espectro ensanchado (*spread spectrum*) para transmitir tramas a través del medio.
- Proveer a la MAC de un indicador de detección de portadora (*carrier sense indication*) para señalar actividad en el medio.

La capa PHY se encuentra dividida en dos sub-capas: subcapa PLCP (*Physical Layer Convergence Layer*) más cercano a la MAC y la subcapa PMD (*Physical Medium Dependent Layer*), que interacciona con el medio inalámbrico.

En la figura que se muestra a continuación, se puede apreciar lo que podría ser el patrón de ocupación de los canales de televisión. Como se puede ver, las oportunidades de transmisión de las BS son totalmente aleatorias influyendo, por consiguiente, en el diseño de la MAC y de la PHY. [12]

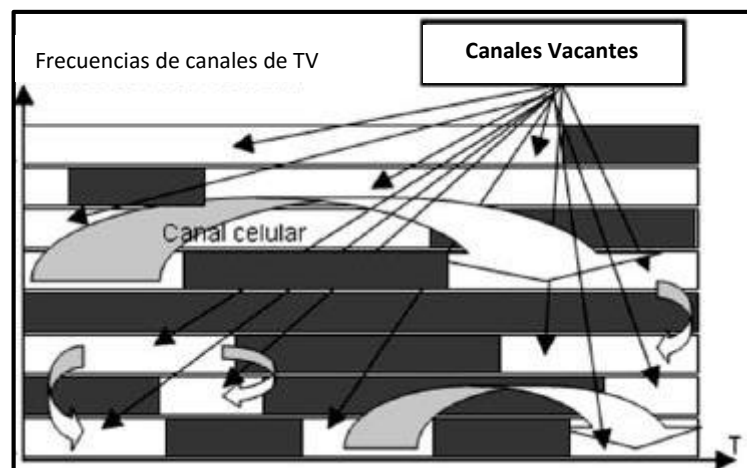


Figura 5: Patrón ocupacional de canales de TV.⁶

⁶ Carlos Cordeiro, Kiran Challapali y Dagnachew Birru, 2006, "IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios". Disponible en: <http://www.cs.uc.edu/~cordeicm/papers/jcm06.pdf>

Las aplicaciones WRAN requieren flexibilidad en subida y bajada con soporte para varios usuarios. El borrador actual del estándar 802.22 está basado en modulación OFDMA, esta multiplexación es una versión multiusuario de la conocida multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM). Se utiliza para conseguir que un conjunto de usuarios de un sistema de telecomunicaciones puedan compartir el espectro de un cierto canal para aplicaciones de baja velocidad. El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. [12]

Las redes WRAN se caracterizan también por largos tiempos de propagación que van desde los 25us hasta 50us en las grandes áreas de terreno o metropolitanas, lo que requiere el uso de un prefijo cíclico de unos 40us. Para reducir la sobrecarga debido al prefijo cíclico, se usan portadoras de aproximadamente 2K (2048 portadoras) en un canal de televisión. [12]

La capa física también ha de proveer alta flexibilidad en término de modulación y codificación. La modulación OFDM se ajusta perfectamente a los requisitos para estos fines. Actualmente se ha propuesto repartir los abonados en 48 sub-canales. Las modulaciones propuestas QPSK, 16 QAM y 64 QAM. Esto conseguiría una tasa de transferencia de unos pocos Kbps por sub-canal hasta 19 Mbps por canal de televisión.

Análisis preliminares mostraron la dificultad de transmitir a 19 Mbps en 30 Km usando solo un canal de televisión. Para ello se usa el vínculo de canales, por lo que se distinguen dos maneras de vincular canales: [12]

- Vínculo de canales contiguos.
- Vínculo de canales no contiguos.

En la figura 6 se muestra un diagrama de cómo sería el vínculo de canales contiguos. En principio, vincular tantos canales como sea posible sería lo ideal, pero las limitaciones a la hora de implementar este estándar limitan el número de canales a vincular. Así, el espacio libre mínimo entre canales de televisión para que la WRAN pueda operar debe de ser de 3 canales de TV. Según esto, el ancho de banda está limitado a tan solo tres canales contiguos. Para canales de 6 MHz esto supondría un ancho de banda de 18 MHz.

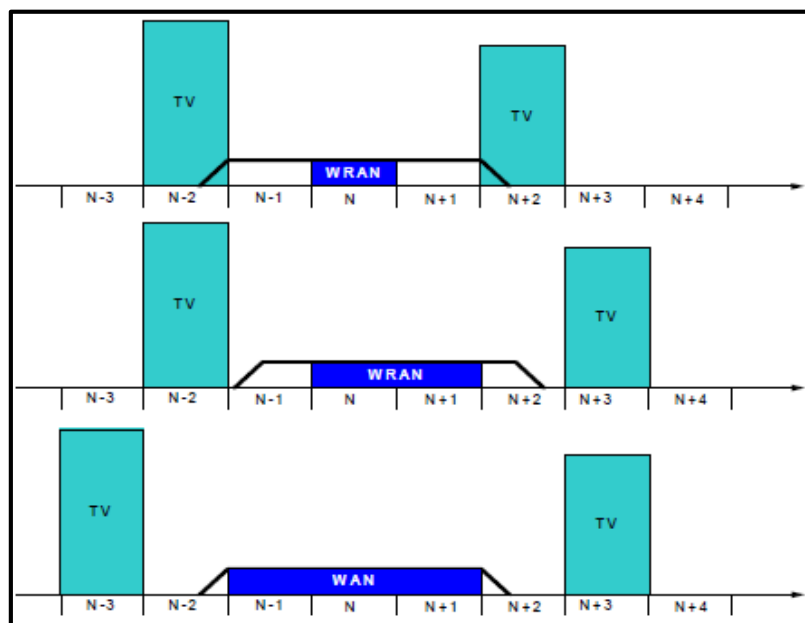


Figura 6: Vínculo canales contiguos.⁷

En general, el sistema está basado en FFT⁸ de 6K (6048 portadoras) para 3 canales de TV. Cuando solo se usa un canal de televisión las portadoras externas son puestas a cero y solo unas pocas subportadoras siguen activas, aproximadamente 1.7K (1740 portadoras).

Cuando un dispositivo empieza la sincronización, no conoce a priori los canales que se encuentran vinculados. Para facilitar la sincronización inicial, se ha definido una estructura de supertrama, la misma que se muestra en la figura 7. La cabecera de esta supertrama se transmite en el modo de 6 MHz. El nuevo dispositivo empieza a escanear en modo 6 MHz hasta encontrar la cabecera de la supertrama y obtener la información de los siguientes frames. La cabecera de control de la supertrama (SCH, *Superframe Control Header*) contiene información tal como el preámbulo de sincronización, el ajuste de control de cabecera que contiene los bits de información actual. Esta misma información se transmite en todos los canales de TV vinculados. [12]

⁷ Carlos Cordeiro, Kiran Challapali y Dagnachew Birru, 2006, "IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios". Disponible en: <http://www.cs.uc.edu/~cordeicm/papers/jcm06.pdf>

⁸ FFT.- (*Fast Fourier Transform*), es la abreviación del inglés de un eficiente algoritmo que permite calcular la transformada de Fourier discreta (DFT) y su inversa. Las FFT es de gran importancia en varias aplicaciones, desde el tratamiento digital de señales y6 filtrado digital.

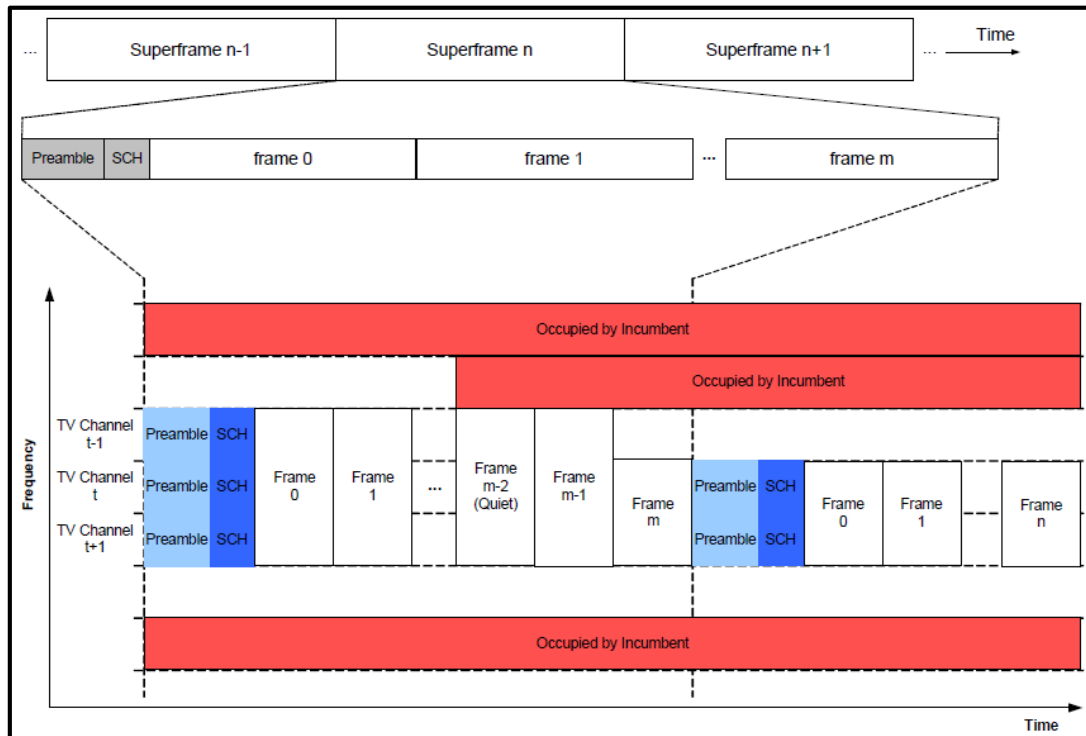


Figura 7: Estructura de la Supertrama CRN.⁹

1.8.1.5 Las medidas y gestión del espectro

Para que una celda 802.22 pueda operar sin causar interferencias a los usuarios legítimos, las estaciones base (BS) deben instruir a sus CPE's asociadas para que realicen mediciones periódicas, las cuales pueden ser: [12] [13]

- ✓ *Medidas en banda:* Estas medidas se realizan en los canales usados por la BS para comunicarse con los CPE's. Para estas medidas la BS silencia periódicamente el canal, así el detector de usuarios legítimos pueden cumplir su cometido.
- ✓ *Medidas fuera de banda:* Las medidas se realizan en todos los otros canales. Para detectar la presencia de usuarios legítimos, los dispositivos 802.22 deben poder detectar señales a un nivel SNR muy bajo con acierto.

⁹ Carlos Cordeiro, Kiran Challapali y Dagnachew Birru, 2006, "IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios". Disponible en: <http://www.cs.uc.edu/~cordeicm/papers/jcm06.pdf>

1.8.1.6 Periodos de silencio para detectar usuarios legítimos.

Para canales de banda se emplea el mecanismo de periodos de silencio. Este mecanismo se divide en dos partes, las cuales tienen diferentes escalas de tiempo como se muestra en la siguiente figura: [13]

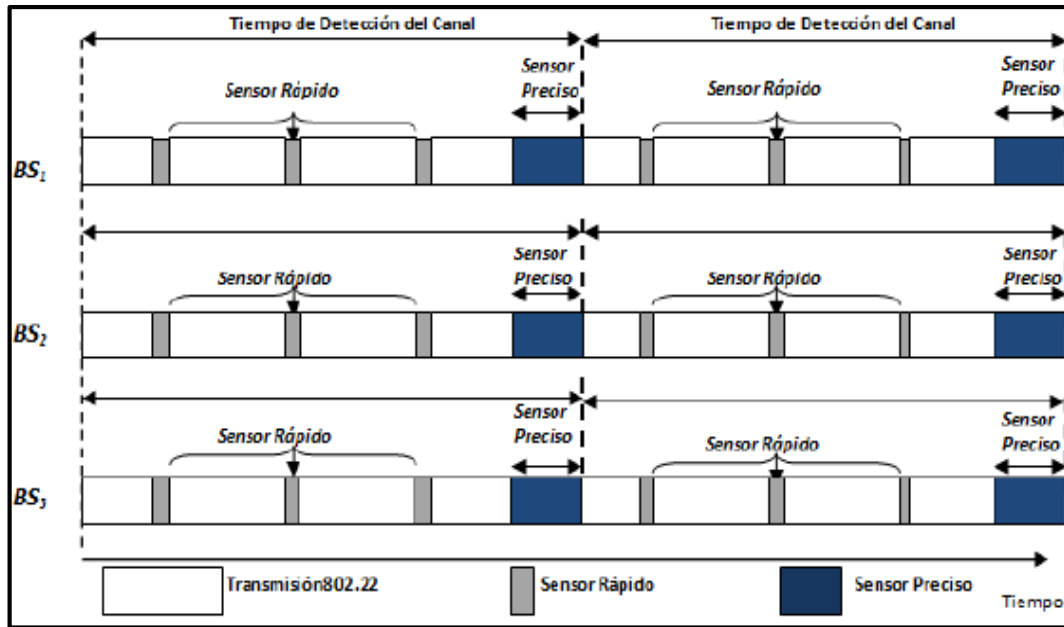


Figura 8: Periodos de silencio.¹⁰

- *Sensor rápido*: durante esta fase se emplea un algoritmo de sensor bastante rápido y eficiente. Los resultados de las medidas de los CPE's y de los BS's se consolidan en las BS's, las cuales deciden si la fase de sensor preciso es necesaria.
- *Sensor preciso*: en esta fase se emplea un sensor más rápido que la fase anterior. Los algoritmos utilizados aquí pueden llegar a durar milisegundos (ms) por cada canal. Este mecanismo es altamente eficiente, pero menos rápido que el anterior. Su uso se decide en la fase de sensor rápido, por lo que no siempre es necesaria esta fase.

¹⁰ Alfonso Vivanco Cayuelas, 2010, "Estándar IEEE 802.22". Disponible en: http://dspace.universia.net/bitstream/2024/223/1/ieee802.22_trabajo.pdf

CAPÍTULO II. Situación Actual del Espectro Radioeléctrico en Ecuador

2.1 Introducción

El espectro radioeléctrico es considerado como un recurso natural limitado de suma importancia para el campo de las telecomunicaciones el mismo que requiere ser utilizado siempre de la mejor manera, esto es; de manera eficiente y apropiada, ya que de esta situación depende el aprovechamiento de los avances tecnológicos que se están dando en los últimos años, los cuales también requieren hacer uso del espectro radioeléctrico.

Por otro lado, también sabemos que el espectro radioeléctrico es un recurso natural cuya gestión pertenece al Estado. Sin embargo mediante la historia no ha sido siempre de esa forma, pues en un principio el espectro era prácticamente un recurso administrado por quienes tenían el poder del capital y la tecnología, de esta manera el espectro radioeléctrico era manejado en forma privada. Actualmente, la situación en el Ecuador respecto al manejo del espectro radioeléctrico se fundamenta en la Ley de Radiodifusión y Televisión, en la Norma Técnica para el Servicio de Televisión Analógica y en el Plan de Distribución de Frecuencias del espectro radioeléctrico. [14]

En la constitución de la República del Ecuador y en la Ley de Radiodifusión y Televisión se señala que: *“todos los canales o frecuencias de radiodifusión y televisión son recursos no renovables e inalienables, los mismos que pueden ser utilizados para la prestación de diversos servicios de comunicaciones, de manera combinada o no con medios tangibles como cables, fibra óptica, entre otros”*. [14]

2.2 Espectro Radioeléctrico

El espectro radioeléctrico se lo puede definir como un recurso natural de carácter limitado, el mismo que se concibió inicialmente como una idea matemática, pero luego de varios años de evolución tecnológica, se ha logrado convertir en una herramienta clave para el desarrollo de las telecomunicaciones y el transporte de cualquier tipo de información. [14]

De acuerdo a un artículo publicado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el espectro radioeléctrico es el conjunto de las ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se encuentran fijadas por debajo de los 3000 GHz, las mismas que se propagan por el espacio sin el uso de una guía artificial. [15]

Ampliando el concepto de espectro radioeléctrico, podemos decir que es el medio o espacio por donde se propagan las ondas radioeléctricas, es decir, se trata de un conjunto de radiofrecuencias establecidas convencionalmente desde los 3 KHz a 3000 GHz, dentro del cual se generan las ondas, que a través de un dispositivo llamado antena, son transmitidas y recibidas.

Teniendo en consideración las características de propagación establecidas, el rango de frecuencias del espectro radioeléctrico ha sido dividido en diferentes bandas y sub-bandas, tal como se puede observar en la siguiente tabla. [16]

Tabla 1: Bandas del Espectro Radioeléctrico.¹¹

N° Banda	Símbolos	Gama de frecuencias	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviaturas métricas
4	VLf	3 a 30 KHz	Ondas miriamétricas	B.Mam
5	LF	30 a 300 KHz	Ondas kilométricas	B.km
6	MF	300 a 3000 KHz	Ondas hectométricas	B.hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B.dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B.m
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas	B.dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B.cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B.mm
12		300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas	

Con la constante evolución de la tecnología, hoy en día ya se puede usar cualquier parte del espectro radioeléctrico, sin embargo, la transmisión de información en una señal, requiere un rango de frecuencias, denominado *Ancho de Banda*, cuya longitud depende directamente de la cantidad de información a transmitirse.

El espectro radioeléctrico presenta diferentes propiedades físicas y de propagación de acuerdo a la frecuencia, una de ellas es la atenuación de la señal, la misma que condiciona la distancia máxima de transmisión y en general, la cobertura. En este sentido, se puede

¹¹ ARCOTEL, "Plan Nacional de Frecuencias 2012". Disponible en: www.arcotel.gob.ec

decir que a frecuencias menores, la atenuación es menor y por tanto se consigue mayor cobertura en la transmisión y una mayor capacidad de las señales de atravesar obstáculos.

2.2.1 División del Espectro Radioeléctrico

De acuerdo con el reglamento de radiocomunicaciones elaborado por parte de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), la gestión de frecuencias se fundamenta en la atribución de bandas de frecuencias para dividir al mundo en tres regiones, y de esta manera poder establecer límites de frecuencias respecto a la región para ser utilizadas para determinados servicios. [16]

En la figura 9 se muestra la división del mundo en tres regiones indicadas en el siguiente mapa y descritas desde el punto de vista de la atribución de bandas de frecuencia.

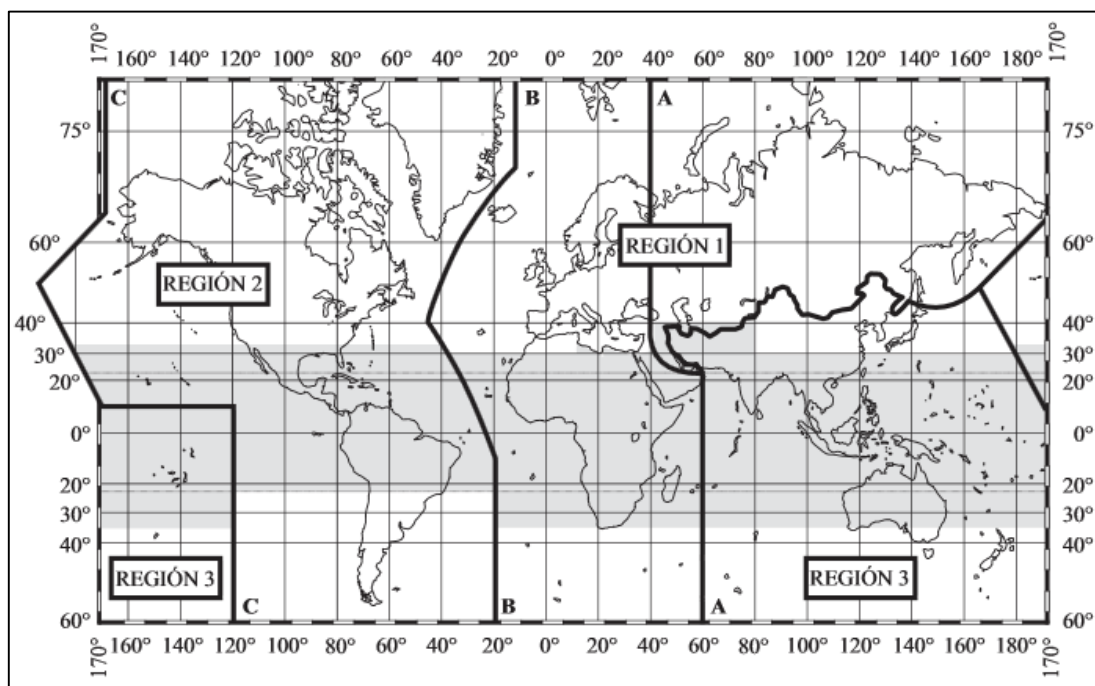


Figura 9: Distribución de Frecuencias según sus Regiones.¹²

Para tener una idea más clara de esta división, es necesario señalar los rangos de frecuencia que forman parte de las bandas I, II, III, IV, V correspondientes a las bandas

¹² ITU, "Reglamento de Radiocomunicaciones", Edición 2012. Disponible en: http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/02/S02020000244501PDFS.pdf

VHF/UHF, las mismas que varían de región a región tal y como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2: Rango de frecuencias conforme a cada región.¹³

	REGIÓN 1	REGIÓN 2	REGIÓN 3
BANDA	Rango de frecuencias (MHz)		
I	47 – 68	54 - 68	47 – 68
II	87,5 – 108	88 – 108	87 – 108
III	174 – 230	174 – 216	174 – 230
IV	470 – 582	470 – 582	470 – 582
V	582 - 960	582 – 890	582 - 960

En general, según podemos observar en la figura 9, claramente se muestra que Ecuador se encuentra ubicado en la región 2.

2.2.2 Uso de las Frecuencias del Espectro Radioeléctrico

Dentro del Espectro Radioeléctrico se pueden encontrar las distintas bandas de operación con sus respectivo servicios, los mismos que se designan por numeros enteros, en orden creciente tal como se indica en la figura 10.

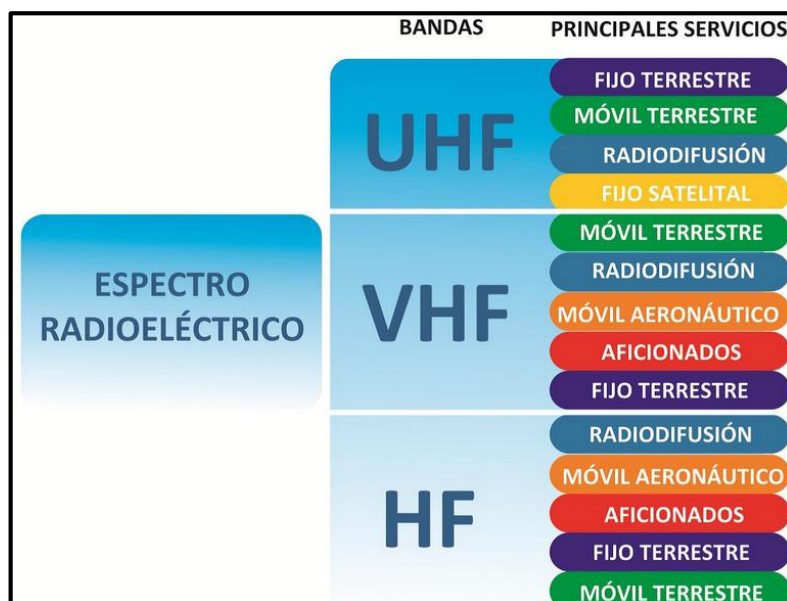


Figura 10: Uso de Frecuencias del Espectro.¹⁴

¹³ ARCOTEL, "Plan Nacional de Frecuencias 2012". Disponible en: www.arcotel.gob.ec

¹⁴ Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF 2013), Orden IET/787/2013, de 25 de abril.

El uso de Frecuencias Radioeléctricas para otros fines diferentes de los servicios de radiodifusión y televisión, son servicios que requieren de una autorización previa, la misma que es otorgada únicamente por parte del Estado y dará lugar al pago de los derechos que corresponda.

2.2.2.1 Banda HF (*High Frequency*)

Esta banda es una porción del espectro radioeléctrico a la cual también se la denomina como “*Onda Corta*”, además, comprende la gama de frecuencias que van de 3 MHz a 30 MHz cuya longitud de onda varía de 100 a 10 metros, en este rango de frecuencias las ondas que se propagan en línea recta, rebotan a distintas alturas de la ionósfera, con lo cual las señales pueden llegar a alcanzar puntos que se encuentran situados a largas distancias. [17]

Dentro de sus ventajas principales se encuentran las emisoras fijas las mismas que se encargan de realizar el tráfico entre distintos puntos fijos del mundo utilizando antenas direccionales. Aproximadamente el 48% del espectro de la banda HF se encuentra ocupada por estas emisoras fijas, mientras que el resto de espectro se encuentra utilizado por emisoras terrestres móviles. [17]

2.2.2.2 Banda VHF (*Very High Frequency*)

Esta fracción del espectro radioeléctrico se encuentra conformada por la gama de frecuencias que van de 30 MHz a 300 MHz, y donde su longitud de onda está comprendida de 10 a 1 metro.

Dentro de este rango de frecuencias la propagación se da por lo que se conoce como “*Onda Espacial Troposférica*”, ideal para las comunicaciones terrestres. Las antenas que se encuentran utilizadas en los sistemas que operan en esta banda, suelen ser antenas lineales conformadas por un radiador con una línea de transmisión abierta y excitada de forma simétrica en uno de sus extremos. [17]

Además, en esta banda de frecuencias funcionan sistemas móviles y fijos. Los sistemas de comunicaciones móviles están orientados a facilitar el intercambio de información entre terminales móviles y terminales fijos a través de un medio de transmisión radioeléctrico. En estos sistemas la cobertura suele ser zonal, es decir, esto permite ubicar los terminales en cualquier lugar siempre y cuando se encuentre dentro del área de

cobertura. Esta gama de aplicaciones ha dado lugar a los sistemas de radiotelefonía privada, los mismos que se caracterizan por tener una cobertura local y no se encuentran conectados a la red telefónica pública conmutada. [17]

2.2.2.3 Banda UHF (*Ultra High Frequency*)

Esta banda del espectro radioeléctrico está conformada por las frecuencias que van desde los 300 MHz hasta 3GHz, además su longitud de onda está comprendida de 1 metro a 10 centímetros.

En esta banda de frecuencias se produce lo que se conoce como “*Propagación por Onda Espacial Troposférica*”, con una atenuación adicional máxima de 1 dB si existe despejamiento de la primera zona de Fresnel. Esta gama de frecuencias también es ampliamente utilizada por agencias de servicio público para las comunicaciones con radios de dos vías, televisión, telefonía móvil y además son muy usadas para los sistemas de posicionamiento global (GPS, *Global Positioning System*). [17]

Por otro lado, es importante resaltar que la transmisión punto a punto de ondas de radio es interferido por diferentes variables, como son: la humedad atmosférica, hora del día, etc. todo tendrá efecto sobre la transmisión de la señal, ya que las ondas de radio son parcialmente absorbidas por la humedad atmosférica y esto disminuye la potencia de las señales de radio sobre todo a largas distancias. [17]

2.2.3 Categoría de los Servicios

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) asigna una determinada banda de frecuencias de acuerdo a cada servicio, ya sea a todo el mundo o en una Región específica. En el Ecuador, el Plan Nacional de Frecuencias y el Plan Nacional de Distribución de Frecuencias consideran dos categorías de servicios: Servicios Primarios y Servicios Secundarios. [18]

2.2.3.1 Servicios Primarios

Los servicios primarios son aquellos servicios principales a los cuales se les ha asignado una determinada banda de frecuencias. Este servicio tendrá prioridad sobre los demás servicios a los que encuentra atribuida esta banda, es decir, será aquel servicio que se proteja contra las interferencias causadas por cualquier de los otros servicios. [18]

2.2.3.2 Servicios Secundarios

Los servicios secundarios son aquellos servicios de segundo orden a los cuales se les ha atribuido un determinado rango de frecuencias. Las estaciones de los servicios secundarios no deben causar ningún tipo de interferencias que sean perjudiciales a las estaciones de un servicio primario, así como tampoco pueden reclamar algún tipo de protección contra las interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario, pero si tienen derecho a reclamar protección contra interferencias causadas por estaciones del mismo servicio. [18]

2.3 Norma Técnica y Plan de Distribución de Canales en el Ecuador

La Norma Técnica, el Servicio de Televisión Analógica y Plan de Distribución de Canales, son los encargados de establecer las bandas de frecuencias, la canalización y las condiciones técnicas para la distribución y asignación de canales de televisión abierta en la banda VHF/UHF en todo el territorio nacional. A continuación se detalla las funciones y características principales que cumplen algunas de estas entidades. [16]

2.3.1 Plan Nacional de Frecuencias (PNF)

El Plan Nacional de Frecuencias es el documento utilizado en los diferentes servicios de radiocomunicaciones dentro del territorio nacional, que expresa la soberanía del Estado Ecuatoriano, en materia de administración del espectro radioeléctrico.

Puesto que el sector de las telecomunicaciones es un sector dinámico, el Ecuador ha visto la necesidad de tener un documento que recoja las atribuciones de bandas de frecuencias, el mismo que se encuentre sujeto a cambios frecuentes tanto de tecnología como evolución de servicios. [16]

En general, el Plan Nacional de Frecuencias facilitará el acceso en igualdad de condiciones y la utilización racional de un recurso estratégico como lo es el espectro radioeléctrico, para garantizar la disponibilidad de servicios de radiocomunicaciones fijas y móviles, tanto terrestres como espaciales, servicios marítimos y aeronáuticos, así como los servicios integrados que vendrán con la convergencia tecnológica.

Dentro de las normas que se establecen a partir del PNF para la adjudicación de bandas y asignaciones de frecuencias, entre otras, están las siguientes: [16]

- Determinación de las prioridades de las bandas del espectro radioeléctrico en función de los diferentes servicios radioeléctricos.
- Reserva de bandas, sub-bandas y frecuencias del espectro radioeléctrico para uso privativo, compartido, experimental.

Básicamente, el objetivo principal del PNF es el de proporcionar los lineamientos para un proceso eficaz de gestión del espectro radioeléctrico, asegurar una utilización óptima del mismo, así como la prevención de interferencias perjudiciales entre los distintos servicios. Además, el PNF contiene la información necesaria para permitir a las personas naturales o jurídicas interesadas en el uso del espectro radioeléctrico disponer de una guía de atribuciones de bandas para los servicios radioeléctricos.

2.3.2 Bandas de Frecuencias

Según los datos de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), anteriormente conocida como la Superintendencia de Telecomunicaciones o SUPERTEL, en el Ecuador las bandas de frecuencias que están destinadas para el servicio de televisión abierta son las que se muestran en la Tabla 3 y Tabla 4: [19]

Televisión VHF:

Tabla 3: Canales VHF.¹⁵

Banda	Rango Frecuencias	Canales
Banda I	54 - 72 MHz	2, 3, 4
	76 - 88 MHz	5 y 6
Banda III	174 - 216 MHz	1, 8, 9, 10, 11, 12, 13

Televisión UHF:

Tabla 4: Canales UHF.¹⁶

Banda	Rango Frecuencias	Canales
Banda IV	500 - 608 MHz	19, 20, 21, 22, ..., 36
	614 - 644 MHz	38, 39, 40, 41, 42
Banda V	644 - 686 MHz	43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

¹⁵ ARCOTEL, "Resolución Norma Técnica de TV Analógica 2015". Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf>

¹⁶ ARCOTEL, "Resolución Norma Técnica de TV Analógica 2015". Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf>

2.3.3 Canalización de las Bandas

Las bandas de frecuencias que se encuentran atribuidas a la televisión abierta VHF/UHF en el Ecuador, se dividen en 42 canales de 6 MHz de ancho de banda cada uno, tal y como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5: Canalización de bandas atribuidas para el servicio de TV en Ecuador.¹⁷

Rango de Frecuencias	Banda	Canal	Portadoras	
MHz		MHz	Video (MHz)	Sonido (MHz)
VHF (54 -72 MHz)	I	2 (54 – 60 MHz)	55.25	59.75
		3 (60 – 66 MHz)	61.25	65.75
		4 (66 -72 MHz)	67.25	71.75
VHF (76 -88 MHz)	I	5 (76 -82 MHz)	77.25	81.75
		6 (82 -88 MHz)	83.25	87.75
VHF (174 -216 MHz)	III	7 (174 -180 MHz)	175.25	179.75
		8 (180 – 186 MHz)	181.25	185.75
		9 (186 – 192 MHz)	187.25	191.75
		10 (192 -198 MHz)	193.25	197.75
		11 (198 – 204 MHz)	199.25	203.75
		12 (204 – 210 MHz)	205.25	209.75
UHF (500 – 608 MHz)	IV	13 (210 – 216 MHz)	211.25	215.75
		19 (500-506 MHz)	501.25	505.75
		20 (506 – 512 MHz)	507.25	511.75
		21 (512 – 518 MHz)	513.25	517.75
		22 (518 – 524 MHz)	519.25	523.75
		23 (524 – 530 MHz)	525.25	529.75
		24 (530 -536 MHz)	531.25	535.75
		25 (536 – 542 MHz)	537.25	541.75
		26 (542 – 548 MHz)	543.25	547.75
		27 (548 – 554 MHz)	549.25	553.75
		28 (554 – 560 MHz)	555.25	559.75
		29 (560 – 566 MHz)	561.25	565.75
		30 (566 – 572 MHz)	567.25	571.75
		31 (572 – 578 MHz)	573.25	577.75
32 (578 – 584 MHz)	579.25	583.75		

¹⁷ ARCOTEL, “Resolución Norma Técnica de TV Analógica 2015”. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf>

		33 (584-590 MHz)	585.25	589.75
		34 (590 – 596 MHz)	591.25	595.75
		35 (596 -602 MHz)	597.25	601.75
		36 (602- 608 MHz)	603.25	607.75
UHF (614 – 644 MHz)	IV	38 (614 – 620 MHz)	615.25	619.75
		39 (620 – 626 MHz)	621.25	625.75
		40 (626 – 632 MHz)	627.25	631.75
		41 (632 – 638 MHz)	633.25	637.75
		42 (638 – 644 MHz)	639.25	643.75
UHF (644 – 686 MHz)	V	43 (644 – 650 MHz)	645.25	649.75
		44 (650 – 656 MHz)	651.25	655.75
		45 (656 – 662 MHz)	657.25	661.75
		46 (662 – 668 MHz)	663.25	667.75
		47 (668 – 674 MHz)	669.25	673.75
		48 (674 – 680 MHz)	675.25	679.75
		49 (680 – 686 MHz)	681.25	685.75

2.4 Asignación de Canales de TV en la Banda VHF/UHF en el Ecuador

La asignación de canales en la banda VHF/UHF se encuentra bajo el cargo del Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) de acuerdo a cada zona geográfica, de conformidad con los grupos de canales y más especificaciones técnicas que se encuentran contempladas en la Norma Técnica.

2.4.1 Zonas y Delimitación Geográfica

Para llevar a cabo la asignación de canales de televisión en la banda VHF/UHF dentro del territorio ecuatoriano, este se divide en diferentes zonas geográficas a las que corresponden determinados grupos de canales, los mismos que para su descripción y asignación en todo el ámbito nacional han sido divididos en cuatro grupos VHF (A1, A1, B1 y B2), y cuatro grupos UHF (G1, G2, G3 y G4), tal y como se describe en la siguientes Tabla 6. [19]

Tabla 6: Zona Geográfica y Distribución de Canales.¹⁸

ZONA GEOGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA GEOGRÁFICA	GRUPOS DE CANALES VHF	GRUPO DE CANALES UHF
A	Provincia de Azuay excepto zona norte (cantones Sigsig, Chordeleg, Gualaceo, Paute, Guachapala, El Pan y Sevilla de Oro), y zona occidental de la Cordillera occidental de la provincia de Azuay.	A1-B2	G1-G4
B	Provincias de Bolívar, excepto la zona occidental de la cordillera occidental de Los Andes de la provincia de Bolívar.	A1-B2	G1-G4
C	Provincia del Carchi, incluye las poblaciones de Pimampiro, Juncal, Valle del Chota y Batallón Yaguachi de la provincia de Imbabura.	A1-B1	G1-G4
D	Provincias de Orellana y Sucumbíos.	A1-B2	G1-G4
E	Provincia de Esmeraldas, excepto Rosa Zárate y Muisne.	A1-B2	G1-G3
F	Provincia del Guayas, excepto Gral. Villamil, El Empalme, Palestina y Balao, se incluye La Troncal, Suscal y zona occidental de la Cordillera Occidental de provincias de Cañar y Azuay.	A1-B1	G2-G4
G	Provincia de Santa Elena y Gral. Villamil.	A1-B2	G1-G3
H	Provincia de Chimborazo, excepto las estribaciones occidentales de la cordillera occidental.	A1-B2	G1-G4
J	Provincia de Imbabura, excepto las poblaciones de Pimampiro, Juncal, Valle del Chota, Batallón Yaguachi.	A2-B2	G2-G3
L1	Provincia de Loja, excepto cantones de Loja, Catamayo, Saraguro, Amaluza y zona occidental de la Cordillera Occidental.	A2-B1	G2-G3
L2	Provincia de Loja: cantones Loja, Catamayo y Saraguro.	A1-B2	G2-G3
M1	Provincia de Manabí, zona norte (desde Bahía de Caraquez hacia el norte), excepto El Carmen y Flavio Alfaro; se incluye Muisne.	A2-B1	G1-G4
M2	Provincia de Manabí, zona sur, comprende poblaciones localizadas al sur de la ciudad de Bahía de Caraquez, excepto Pichincha.	A1-B2	G2-G3
N	Provincia de Napo.	A1-B2	G2-G4
Ñ	Provincia de Cañar, excepto zona occidental Cordillera Occidental (Suscal, La Troncal) e incluye zona norte provincia de Azuay.	A2-B1	G2-G3
O	Provincia de El Oro y zona occidental de la Cordillera Occidental de la provincia de Loja e incluye Balao de la provincia del Guayas.	A2-B2	G1-G3
P	Provincia de Pichincha, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental de la	A1-B1	G1-G4

¹⁸ Agencia de Regulación de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), "Resolución Norma Técnica de TV Analógica 2015". Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf>

	provincia de Pichincha (Los Bancos, P.V. Maldonado).		
K	Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, incluye El Carmen, Rosa Zárate, Flavio Alfaro, P.V. Maldonado y Los Bancos.	A1-B2	G1-G3
R1	Provincia de Los Ríos, excepto Quevedo, Buena Fe, Mocache y Valencia e incluye Balzar, Colimes, Palestina y zona occidental Cordillera Occidental de las provincias de Bolívar y Chimborazo.	A1-B1	G2-G4
R2	Provincia de Los Ríos, Quevedo, Buena Fe, Mocache, Valencia, La Maná, El Corazón y zona occidental de la Cordillera Occidental de la provincia de Cotopaxi.	A2-B2	G1-G3
S1	Provincia de Morona Santiago, excepto Palora y cantón Gral. Plaza al sur.	A2-B2	G2-G4
S2	Provincia de Morona Santiago, cantón Gral. Plaza al Sur.	A1-B2	G2-G4
T	Provincia de Tungurahua y Cotopaxi, excepto zona occidental de la Cordillera Occidental.	A1-B1	G2-G3
X	Provincia de Pastaza, incluye Palora de la provincia de Morona Santiago.	A1-B2	G1-G3
Y	Provincia de Galápagos.	A1-B2	G1-G3
Z	Provincia de Zamora Chinchipe, incluye cantón Amaluza.	A1-B2	G1-G3

De acuerdo con las zonas geográficas y plan de distribución de canales, el cual ha sido establecida por parte del Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL), se puede observar que la ciudad de Loja, lugar donde se llevará a cabo el proyecto de investigación, se encuentra en la zona L2, con los grupos A1 y B2 en la banda VHF, y con los grupos G2 y G3 en la banda UHF.

En el siguiente mapa de la figura 11, se puede observar de manera más clara como se encuentran distribuidos los canales de TV en el Ecuador de acuerdo al grupo que pertenezcan.



Figura 11: División en zonas geográficas del Ecuador.¹⁹

Para comprender de mejor manera la distribución de los canales en los diferentes grupos, a continuación se presenta una tabla conforme a la distribución de canales que corresponden a cada grupo y a cada una de las bandas VHF/UHF.

Tabla 7: Grupos de Canales.²⁰

Grupo	Canales	Banda
A1	2,4,5	VHF
A2	3,6	
B1	8,10,12	
B2	7,9,11,13	
G1	19,21,23,25,27,29,31,33,35	UHF
G2	20,22,24,26,28,30,32,34,36	
G3	39,41,43,45,47,49	
G4	38,40,42,44,46,48	

¹⁹ Disponible en: www.arcotel.gob.ec

²⁰ ARCOTEL, "Resolución Norma Técnica de TV Analógica 2015". Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf>

Por tanto, de acuerdo con los grupos establecidos y demás especificaciones que se encuentran presentes en la Norma Técnica, la distribución de canales correspondientes para brindar el servicio de televisión abierta para la ciudad de Loja, se presenta en las bandas VHF, canales 2, 4, 5, 7, 9, 11, 13, y en las bandas UHF canales 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 39, 41, 43, 45, 47, 49. Sin embargo no todos estos canales se encuentran concesionados.

A continuación se detallará de una manera más específica aquellos canales que tienen concesión para poder operar dentro de la ciudad de Loja, tanto para la transmisión de emisoras de radio FM, como para la transmisión de televisión abierta.

2.5 Concesión espectral para la Ciudad de Loja en la Banda de 54 MHz-686 MHz

En las Tabla 8 y 9, se muestran las diferentes empresas que prestan el servicio tanto de televisión abierta como de radio FM dentro de la ciudad de Loja, las mismas que poseen concesión para el uso del espectro radioeléctrico en la banda de evaluación según consta en el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador.

Tabla 8: Emisoras de Radio concesionadas en la ciudad de Loja.²¹

Categoría	Nombre de Estación	Canal de Ocupación (MHz)	Tipo	Área de Servicio
FM (Frecuencia Modulada)	Boquerón	93,7	M	Loja
FM	Caravana AM	101,3	R	Loja
FM	Cariamanga FM	104,5	R	Loja
FM	Ecuasur FM	102,1	R	Loja
FM	El Cisne	91,3	M	Loja
FM	Radio Universitaria	98,5	M	Loja
FM	J.C Radio	107,3	R	Loja
FM	Kocodrilo Radio	98,1	M	Loja
FM	La Hechicera	88,9	M	Loja
FM	La voz del Santuario	99,7	M	Loja

²¹ Listado mensual de Radiodifusión FM, Agosto 2015. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas/>

FM	Loja 97.7 FM	97,7	M	Loja
FM	Luz y Vida	88,1	M	Loja
FM	Matovelle	100,1	M	Loja
FM	Misión San Antonio	94,9	R	Loja
FM	Mix FM	105,7	R	Loja
FM	Municipal FM	90,1	R	Loja
FM	Ondas de Esperanza	94,1	M	Loja
FM	Planeta estéreo	106,1	M	Loja
FM	Poder	95,3	M	Loja
FM	Radio Corporación	97,3	M	Loja
FM	Radio de la Asamblea Nacional	95,7	R	Loja
FM	Radio Pública FM	90,5	R	Loja
FM	RS Musical	89,3	R	Loja
FM	Rumba Stereo	106,9	M	Loja
FM	Satelital	100,9	R	Loja
FM	Semillas de Amor	89,7	M	Loja
FM	Sociedad FM	99,3	M	Loja
FM	Sonorama FM	103,7	R	Loja
FM	Vilcabamba estéreo	102,5	M	Loja
FM	Zapotillo FM	96,1	R	Loja
FM	Cañaverál	96,5	M	Loja
FM	Radio Vigía FM	93,3	R	Loja
FM	Súper Láser Panamericana	104,9	M	Loja
FM	WG Milenio	92,5	M	Loja

De la tabla anterior, se puede observar que para la ciudad de Loja se encuentran concesionadas un total de treinta y cuatro emisoras de radio, estos datos estadísticos fueron rescatados de la lista mensual de radiodifusión FM realizada por parte de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) en la ciudad de Loja en el mes de Agosto del presente año.

Tabla 9: Concesión espectral para la TV abierta en la ciudad de Loja.²²

Categoría	Nombre de Estación	Canal de Ocupación (Frecuencias MHz)	Tipo	Área de Servicio
TV Abierta	Corporación Ecuatoriana de Televisión	2- (54-60)	R	Loja
TV Abierta	UV Televisión	4- (66-72)	M	Loja
TV Abierta	Teleamazonas	5- (76-82)	R	Loja
TV Abierta	Ecuador TV	7- (174-180)	R	Loja
TV Abierta	Cadena Ecuatoriana de Televisión	8- (180-186)	R	Loja
TV Abierta	Red Telesistemas (RTS)	9- (186-192)	R	Loja
TV Abierta	Televisión del Pacífico	11- (198-204)	R	Loja
TV Abierta	Telerama	24- (530-536)	R	Loja
TV Abierta	Canal Uno	26- (542-548)	R	Loja
TV Abierta	TV Legislativa	28- (554-560)	R	Loja
TV Abierta	Teleatahualpa (RTU)	30- (566-572)	R	Loja
TV Abierta	Tropical TV	32- (578-584)	R	Loja
TV Abierta	UCSG TV	34- (590-596)	R	Loja
TV Abierta	Oromar	36- (602-608)	R	Loja
TV Abierta	El Ciudadano TV	49- (680-686)	R	Loja

De la tabla anterior se puede concluir que aproximadamente para la ciudad de Loja existen un total de 15 emisoras de Televisión analógica que se encuentran concesionadas a las diferentes empresas que proveen este servicio.

²² Listado mensual Tv abierta VHF/UHF, Agosto 2015. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas/>

e.- MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO III. Equipo y Metodología de medida

3.1 Sistema de medida

En el presente capítulo se realizará una breve descripción de cada uno de los componentes del sistema que han sido necesarios para llevar a cabo la campaña de medidas, en el cual se ha utilizado principalmente un equipo basado en un analizador de espectros, necesario para evaluación del espectro radioeléctrico dentro de las bandas VHF/UHF, específicamente en aquellas bandas de frecuencias utilizadas para la transmisión de radio FM y televisión analógica.

Además de explicar el equipo utilizado para la elaboración del proyecto, también se explicara su configuración, así como las metodologías empleadas a la hora de realizar las medidas y la ubicación final de los puntos medidos en las seis parroquias urbanas que conforman la ciudad de Loja.

3.2 Esquema de medida

El esquema de medida que se ha llevado a cabo para poder realizar la campaña de mediciones se muestra en la figura 12. Como se observa en la ilustración el diseño no es complejo, básicamente se encuentra conformado por una antena omnidireccional, un cable coaxial, un analizador de espectro, un ordenador portátil y un GPS. Cada uno de estos elementos son fundamentales para poder realizar una correcta evaluación del espectro.

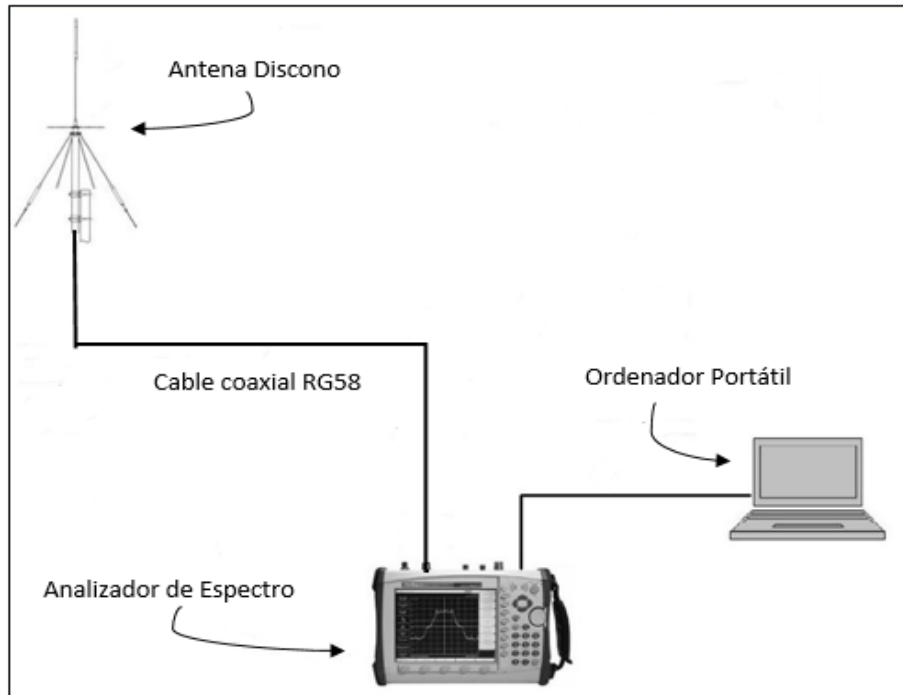


Figura 12: Esquema de medida.

A continuación se explicara de una forma detallada cada uno de los componentes que fueron utilizados para realizar el monitoreo del espectro radioeléctrico dentro de la banda de estudio en la ciudad de Loja.

3.2.1 Analizador de Espectro

El analizador de espectros es el equipo principal de medida que se utilizó para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto. A continuación se hará una breve introducción de los conceptos básicos de este instrumento, ya que es muy importante conocer cómo funciona el analizador de espectros y sus diferentes componentes para configurarlo de la mejor manera según el tipo de la señal, rango de frecuencias, potencia y variación de las señales que se pretenden analizar.

Básicamente, el analizador de espectro se lo puede definir como un equipo de medición electrónica que permite visualizar en pantalla las diferentes componentes espectrales de las señales que se encuentran presentes en la entrada del dispositivo.

La teoría de Fourier explicaba que cualquier fenómeno eléctrico en el dominio del tiempo se encuentra formado por una o más señales senoidales de determinada frecuencia,

amplitud y fase. Esto significa que se puede llegar a encontrar el equivalente frecuencial de cualquier señal en el dominio temporal, como se observa en la siguiente figura.

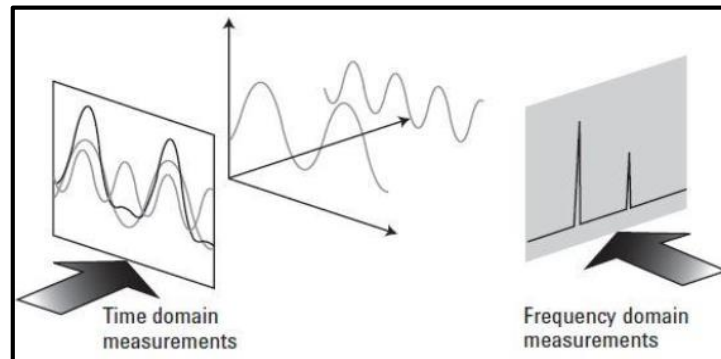


Figura 13: Relación entre dominio de tiempo y dominio de frecuencia.²³

Desde este punto de vista, el espectro de una señal se puede definir como un grupo de ondas sinusoidales que combinadas de forma adecuada, dan como resultado la señal que estamos examinando en el dominio temporal. Si observamos el ejemplo de la figura 13, cómo se encuentra la señal en el dominio temporal por medio del uso de un osciloscopio, se puede apreciar que no es una senoide pura, pero no se puede saber fácilmente por qué señales se encuentra conformada. Al transformar la señal al dominio frecuencial, se puede observar exactamente las señales por las que está formada. En este caso vemos que la señal está formada por dos ondas sinusoidales de frecuencia y amplitudes diferentes con una determinada relación de fase entre ellas. [7]

Además, cabe resaltar que un analizador de espectro descarta la información de fase de las diversas componentes espectrales de la señal, proporcionando solamente la información de amplitud y potencia para cada componente frecuencial. Existen algunas medidas que requieren de toda la información de la señal como: la frecuencia, amplitud y fase, este tipo de análisis se denomina *análisis vectorial de la señal*. Sin embargo, también existe un gran número de medidas las cuales se pueden llevar a cabo sin necesariamente conocer la fase de las señales, este análisis se conoce como *análisis espectral*, el mismo que será utilizado para la realización del presente proyecto. [6]

²³ Disponible en:
http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12749/Proyecto_Final_de_Carrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y

3.2.1.1 Tipos de Analizadores de espectro

Existen diferentes tipos de analizadores de señal que potencialmente pueden emplearse para el análisis espectral, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes: [7]

- ✚ **Analizador de Fourier:** Este equipo digitaliza la señal en el dominio temporal, utiliza técnicas de procesamiento digital de la señal para realizar una Transformada Rápida de Fourier (FFT, *Fast Fourier Transform*) y muestra la señal en el dominio de frecuencia. Con este tipo de analizador, a diferencia de otros, se puede medir la fase de la señal, sin embargo es limitado en el margen de frecuencias, sensibilidad y margen dinámico. Normalmente se utiliza para medidas de señales de hasta 40 MHz.
- ✚ **Analizador Vectorial:** Este analizador al igual que el analizador de Fourier, digitaliza la señal en el dominio temporal. Bajando la señal en frecuencia antes del digitalizado, permite extender el rango de frecuencias a analizar. Además, ofrece medidas espectrales de alta resolución, demodulación y un análisis en el dominio temporal.
- ✚ **Analizador Superheterodino:** Este analizador detecta señales cuya frecuencia está por encima del nivel auditivo. El analizador mezcla la señal de entrada con otra proveniente de un oscilador local trasladando la señal en frecuencia a Frecuencia Intermedia (FI).

En primer lugar la señal de entrada es atenuada, pasa por un filtro paso bajo antes de entrar al mezclador. El mezclador es un dispositivo no lineal, a la salida del mismo se encuentran no solo las dos señales originales sino también sus armónicos, si alguna de las señales resultantes cae dentro de la banda de paso de la Frecuencia Intermedia (FI), será procesada. La señal se rectifica con el detector de envolvente, se digitaliza y se muestra por pantalla.

El generador de barrido crea una rampa encargada de hacer un barrido de la pantalla del analizador de izquierda a derecha y sintoniza el oscilador local, siendo la frecuencia del oscilador proporcional al nivel de voltaje de la rampa.

El analizador de espectro que se ha sido seleccionado para llevar a cabo el presente trabajo y realizar las medidas correspondientes del espectro en cada una de las sub bandas

de trabajo, por su diseño portable y de fácil manejo, es el analizador de espectros de la marca: *ANRITSU*, y modelo: *MT8212B*. En la figura 14 se muestra las características físicas de dicho equipo.



Figura 14: Analizador de Espectro ANRITSU MT8212B.²⁴

El analizador de espectros *Call Master*, está diseñado para monitorizar, medir y analizar señales que se encuentran comprendidas entre 100 KHz y 4000 MHz. Las medidas se pueden efectuar utilizando las funciones básicas conocidas como: la frecuencia, el span, la amplitud y el ancho de banda. Además el analizador de espectro puede ser programado y configurado a través de una interfaz Serial y los datos recolectados pueden ser almacenados en la memoria interna, en dispositivos de almacenamiento como una USB e incluso se pueden descargar a un ordenador. [20]

Para tomar las medidas del espectro radioeléctrico en la banda VHF/UHF, específicamente en la gama de frecuencias de 54 MHz a 686 MHz, el analizador de espectro se configura siempre del mismo modo y de esta forma se puede garantizar el tiempo que lleva hacer una medida en cada una de las diferentes sub bandas en las cuales ha sido dividido el rango de frecuencias de estudio.

3.2.1.2 Funcionamiento del Analizador de Espectro

Para poder comprender el funcionamiento de un analizador se expone en detalle la arquitectura de un analizador espectral superheterodino clásico a partir del diagrama de bloques que se muestra en la figura 15. [7]

²⁴ Disponible en:

https://www.google.com.ec/search?q=ANRITSU+MT8212B+datasheet&biw=1366&bih=659&source=Inms&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAGoVChMI48fVzKb5xwIVB1weCh2jrQLV&dpr=1

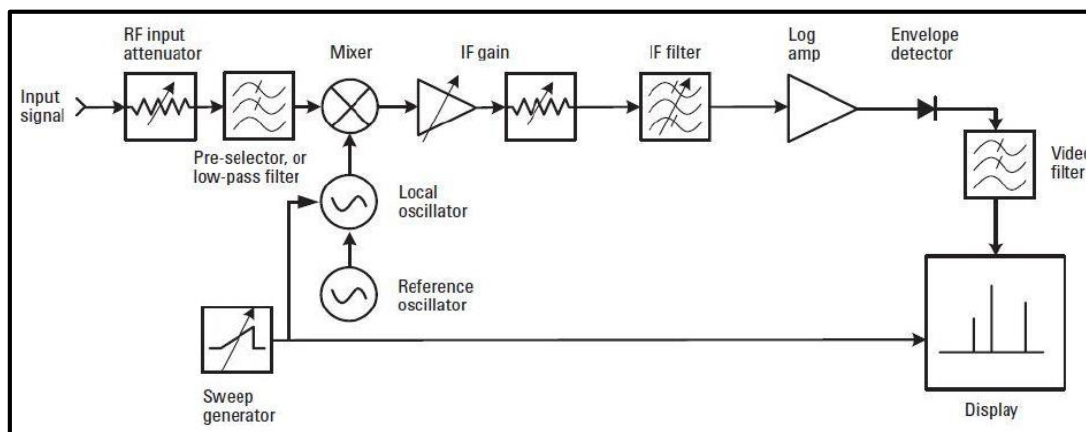


Figura 15: Diagrama de bloques de un analizador superheterodino.²⁵

- ✚ **Atenuador de entrada de radiofrecuencia:** la primera etapa del analizador consiste en un atenuador de radiofrecuencia, cuya función es atenuar la señal que entra al mezclador para evitar sobrecarga, compresión de ganancia o distorsión. Usualmente se configura de forma automática dependiendo del nivel de referencia establecido. El atenuador está formado por un condensador que bloquea señales de corriente continua, este elemento hace que también se atenúe las señales de baja frecuencia por lo que el analizador detecta frecuencias a partir de 100 Hz en algunos casos y de 9 kHz en otros casos.
- ✚ **Filtro paso bajo:** Este filtro se encarga de bloquear las señales de alta frecuencia al mezclador. Este filtrado previene que a la salida del mezclador haya señales indeseadas en Frecuencia Intermedia (FI).
- ✚ **Mezclador y oscilador local:** Son los encargados de sintonizar el analizador de espectros al margen frecuencial que se desee. De todas las señales que aparecen del mezclador, las dos con mayor amplitud son las generadas a partir de la suma de la señal del oscilador local y la señal de entrada.

La Frecuencia Intermedia (FI) debe estar por encima de la frecuencia superior del margen frecuencial que se quiere medir, es decir, si se desea estudiar un margen de 0 a 3 GHz se escoge una FI de 3.9 GHz.

- ✚ **Amplificador a FI:** Este amplificador es utilizado para ajustar la posición vertical de las señales en el display sin afectar el nivel de la señal de entrada al mezclador.

²⁵ Disponible en:
http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12749/Proyecto_Final_de_Carrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cualquier cambio en la atenuación de la entrada cambiará automáticamente el valor de la ganancia a FI, de esta manera no se verá afectado el nivel de referencia del display.

- ✚ **Filtro de resolución (RBW):** El filtro de resolución es la etapa posterior a la ganancia en FI. La resolución en frecuencia se define como la habilidad que presenta en analizador de espectro para separar dos señales de entrada senoidales de misma amplitud.

Teóricamente dos señales senoidales sin importar lo cerca que esté una de la otra, deberían aparecer en el display como dos líneas. Sin embargo, en la práctica esto no ocurre, y las señales se muestran en una determinada anchura en la pantalla. Esto se debe a que las señales de entrada pasan por un mezclador por el que salen diferentes productos de señales que pasan por el filtro paso banda a frecuencia intermedia. Como la frecuencia de la señal de entrada es fija, y el oscilador local es variable, los productos del mezclador también lo son.

- ✚ **Detector de envolvente:** Un analizador de espectro convierte la señal *Frecuencia Intermedia* (FI) a video con un detector de envolvente, este detector consiste en un diodo, una carga resistiva y un filtro paso bajo. En los analizadores analógicos el detector de envolvente sigue los cambios en el valor de la amplitud de los picos de la señal en FI, pero no los valores instantáneos, resultando de esta manera las pérdidas de información de la fase.
- ✚ **Display:** En general, el *display* de un analizador de espectro consiste en una cuadrícula dividida horizontalmente y verticalmente en diez partes iguales, como se puede observar en la siguiente figura:

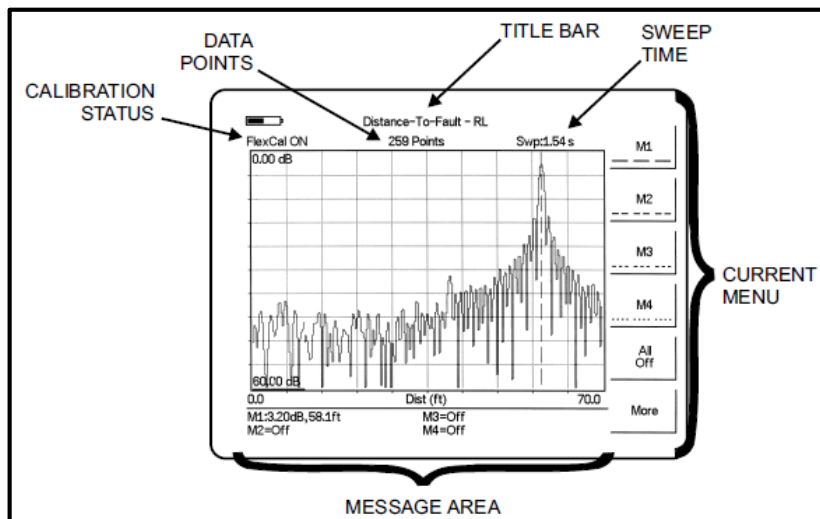


Figura 16: Display de un analizador de espectro.²⁶

El eje horizontal se encuentra calibrado en frecuencia aumentando de izquierda a derecha. Para configurar el margen frecuencial a visualizar se lo puede realizar en dos pasos. En primer lugar se ajusta la frecuencia central de la cuadrícula con el control *Center Frequency*. Luego se ajusta el margen frecuencial (*Span*) que se mostrará en la pantalla. Estos controles son independientes, es decir, si se cambia la frecuencia central no se altera el *Span*. Por otro lado, el eje vertical puede representar amplitud, energía o potencia tanto en magnitud lineal, es decir, para señales que no difieran más de 20-30dB, así como en magnitud logarítmica (dB).

El analizador de espectro que será utilizado en el presente proyecto dispone de un display digital para mostrar el espectro de la señal medida. Este display presenta una resolución limitada y por lo tanto, puede representar el espectro de la señal medida con un número limitado de puntos. Por muy elevada que sea la resolución de la pantalla, cada uno de los puntos deberá representar lo que ocurre con el espectro de la señal sobre un determinado rango de frecuencias.

- ✚ **Filtro de video (VBW):** El filtrado de video consiste en un proceso que permite al analizador de espectro suavizar las variaciones en las amplitudes obtenidas por el detector de envolvente y además ayuda a reducir el efecto por el ruido.

²⁶ Disponible en: <http://www.anritsu.com/en-US/Downloads/Manuals/User-Guide/DWL1954.asp>

El filtro de video es un filtro paso bajo siguiente a la etapa del detector de envolvente y el cuál determina el ancho de banda de la señal de video que posteriormente será digitalizada. El valor del VBW se puede reducir hasta un ancho menor que el del filtro de resolución (RBW). Cuando esto llega a suceder, el sistema de video no puede seguir las variaciones rápidas de la envolvente de la señal, como resultado se obtiene un suavizado de la señal mostrada.

3.2.2 Antena

Las medidas realizadas en el presente trabajo comprenden la gama de frecuencias entre los 54 MHz y 686 MHz. Para ello será necesario utilizar una antena omnidireccional, la cual nos permita poder captar la banda de señal que ha sido escogida para el estudio. La antena que se ha utilizado para llevar a cabo la campaña de medidas del espectro radioeléctrico, consiste en una antena Receptora-Scanner del modelo: *Discono DX-D130*. Además, presenta una ganancia de aproximadamente 13 dBi y polarizada verticalmente con diagrama de recepción omnidireccional capaz de captar señales entre los 25 MHz y 1300 MHz, tal como se muestra en la figura 17.

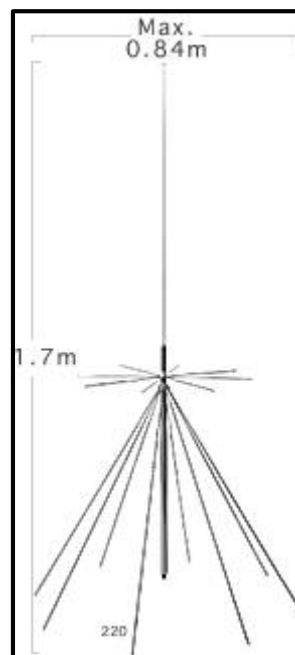


Figura 17: Antena Discono DX-D130.²⁷

Disponible en: http://www.radiocenter.es/contents/es-mx/p3075_d3000n_diamond.html

La razón principal por la cual se utiliza una antena polarizada verticalmente, es porque la mayoría de los transmisores por radiofrecuencia se encuentran polarizados verticalmente, aunque algunos se encuentren polarizados horizontalmente, como por ejemplo la difusión de TV o FM, la mayoría de las estaciones acostumbran a emitir a potencias muy elevadas, de tal manera que incluso con antenas polarizadas verticalmente, estas señales pueden ser detectada. Además la arquitectura de la antena discono permite receptor todas aquellas señales ya sea que se encuentren en polarización vertical u horizontal.

3.2.3 Otros componentes

Para interconectar los elementos que has sido nombrados anteriormente se ha utilizado un cable coaxial RG58 a 50 ohm y de una longitud de aproximadamente 5 metros, lo cual nos permita desplazarnos fácilmente desde la ubicación de la antena hasta el equipo analizador de espectro. Además, en el esquema de medida utilizado ha sido necesario adquirir de 2 adaptadores tipo PL, y una transición PL-BNC, ya que el conector de la antena es de tipo PL y la entrada del analizador de espectros es un conector tipo BNC.

Para descargar los datos obtenidos del equipo analizador de espectros hacia una computadora para el posterior procesamiento de los mismos, fue necesario adquirir un cable conversor tipo *USB to Serial*, como se muestra en la figura 18. El uso de este conversor se debe a que el equipo analizador de espectro presenta una interfaz serial como se muestra en la figura 19.

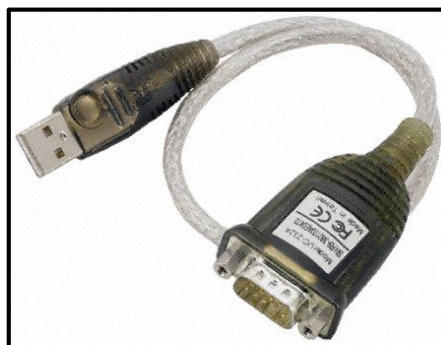


Figura 18: Convertidor USB to Serial.²⁸

²⁸ Disponible en: <http://sg.rs-online.com/web/p/usb-cable-assemblies/4503238/>

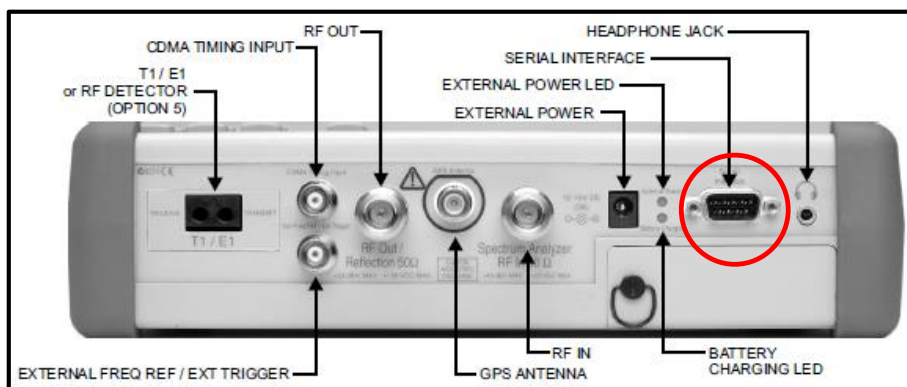


Figura 19: Panel de Conectores MT8212B.²⁹

Para la geo-referenciación de los diferentes puntos donde se llevarán a cabo las medidas del espectro radioeléctrico en las distintas sub-bandas se hará uso de un GPS modelo: *eTrex Legend*, tal como se muestra en la figura 20.



Figura 20: GPS eTrex Legend.³⁰

Con este equipo se podrá establecer las coordenadas con mayor exactitud de cada uno de las parroquias donde se realizan las medidas.

3.3 Escenarios de Medida

El propósito principal del presente proyecto consiste en establecer un plan de medición para identificar los huecos en frecuencia, también conocidos como *White Spaces*, en el espectro radioeléctrico comprendidos en la banda VHF/UHF en el territorio de las seis parroquias urbanas que conforman la ciudad de Loja. Esta ciudad se encuentra situada al

²⁹ Disponible en:

https://www.google.com.ec/search?q=ANRITSU+MT8212B+datasheet&biw=1366&bih=659&source=Inms&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAGoVChMI48fVzKb5xwIVB1weCh2jrQLV&dpr=1

³⁰ Disponible en: <https://buy.garmin.com/es-MX/MX/deportes-y-recreacion/descatalogados/etrex-legend-/prod173.html>

Sur de la sierra ecuatoriana y en el Centro-Sur de cuya provincia lleva su mismo nombre, Loja. En la siguiente figura se indica mediante un mapa la ubicación exacta de la provincia.



Figura 21: Delimitación de la Provincia de Loja- Ecuador.³¹

La delimitación urbana de las seis parroquias urbanas que conforman la ciudad de Loja, así como los diferentes lugares donde se llevará a cabo las medidas realizadas para determinar los *White Spaces* que se encuentran disponibles dentro del rango de frecuencias de estudio, se ilustra en la figura 22.

³¹ Disponible: <http://espanol.mapsofworld.com/continentes/sur-america/ecuador/ecuador-mapa.html>

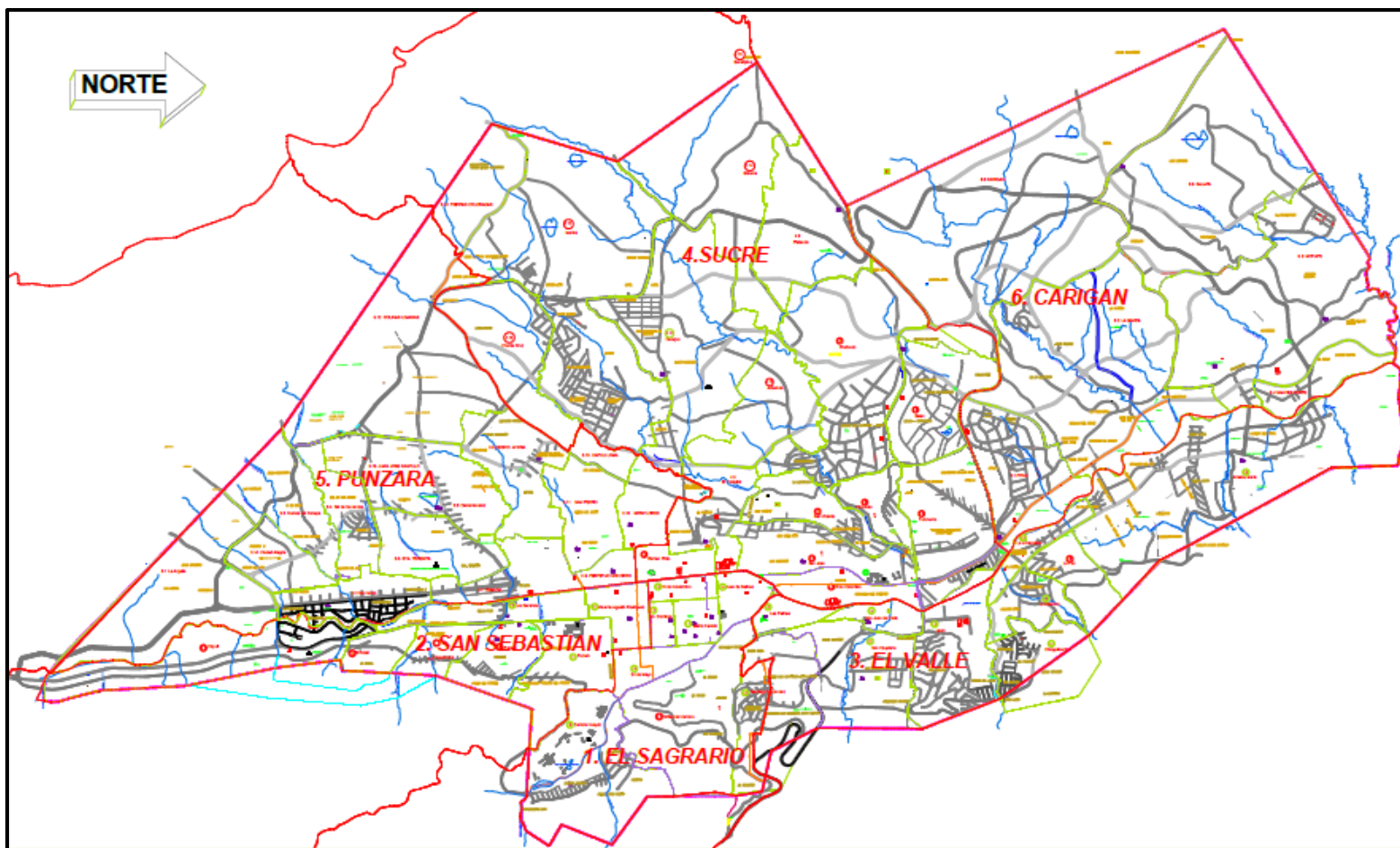


Figura 22: Delimitación del perímetro urbano de la Ciudad de Loja.³²

³² Fuente: Departamento de planificación del GAD Municipal de Loja.

3.3.1 Posición de los puntos y lugar de medida

Con la ayuda de las herramientas de Google Maps se pudo establecer los puntos, en los cuales se tomarán las diferentes mediciones dentro de las seis parroquias urbanas de la ciudad de Loja, en cada parroquia se realizarán 1, 2 o 3 medidas según las características del mismo en cuento a su ubicación geográfica y relieve del terreno.

Todas las mediciones llevadas a cabo se realizaran en una zona céntrica con mayor representación para cada una de las parroquias. Con estas medidas se pretende obtener la frecuencia que corresponde a cada uno de los puntos que muestra el analizador, así como los valores de potencia en dB para cada una de las frecuencias. En la figura 23 se detalla mediante un mapa las ubicaciones geográficas de los sitios participantes en la evaluación del espectro radioeléctrico con la finalidad de determinar los huecos en frecuencias o *White Spaces*.

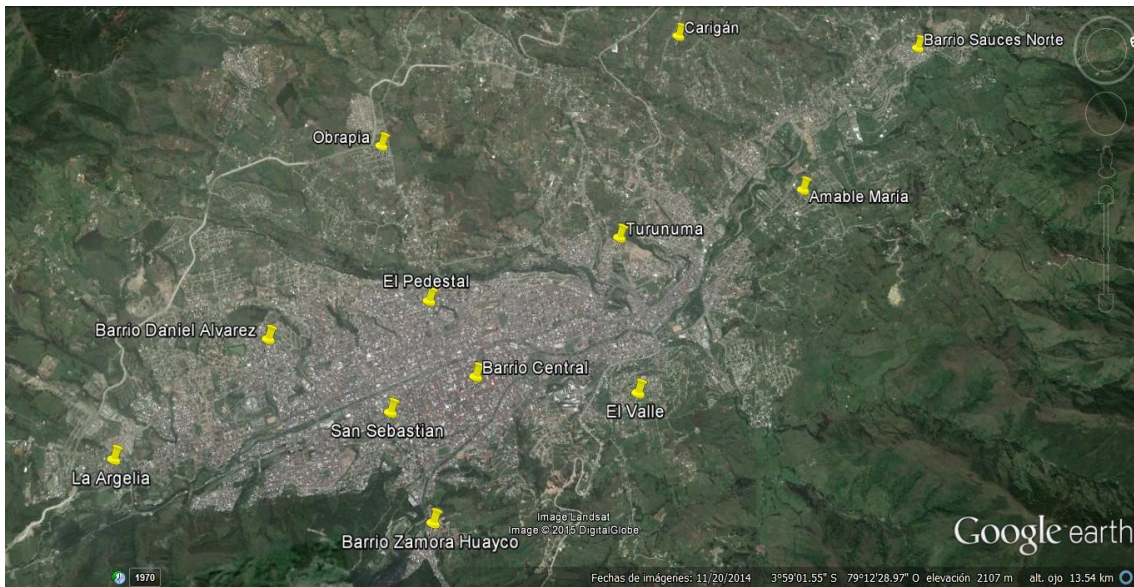


Figura 23: Ubicación de los Sitios de Monitoreo.³³

3.4 Proceso de evaluación espectral

Antes de comenzar a realizar las mediciones del espectro disponible en las diferentes parroquias urbanas que conforman la ciudad de Loja, se realizaran medidas preliminares dentro del Campus de la Universidad Nacional de Loja (UNL). Este estudio previo realizado en el campus universitario permite no solo ajustar el tiempo de medida, sino

³³ Fuente: Google earth.

también, la familiarización con el equipo de medida, específicamente con el analizador de espectros, fundamental para las próximas medidas que se tomarán en los puntos establecidos de los diferentes sectores de la ciudad de Loja.

A continuación se muestran las actividades principales desarrolladas para evaluar la ocupación del espectro radioeléctrico dentro de las bandas VHF y UHF, las cuales corresponden al rango de frecuencias comprendido desde los 54 MHz hasta 686 MHz.

3.4.1 Procedimiento

El procedimiento que se ha establecido para el presente trabajo obedece a la obtención de medidas del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias de 54 MHz a 686 MHz para las parroquias urbanas de la ciudad de Loja. Para efectuar el estudio de las medidas se ha utilizado un equipo, basado principalmente en un analizador de espectros de Marca: **ANRITSU**- Modelo: **MT8212B**, una antena discono Modelo: **DX-D130** y dispositivos externos como: Transición PL-BNC; Cable coaxial RG58 a 50 ohm; Conectores RF, esto con el objetivo de poder detectar la presencia de señales electromagnéticas que se encuentren disponibles o no por aplicaciones de radiodifusión, televisión o cualquier otra actividad de las telecomunicaciones que poseen una concesión para su uso dentro de la banda de estudio.

- ✚ Para poder obtener una mejor observación y proceso de evaluación del espectro dentro de la banda de estudio, se establece una subdivisión de la banda comprendida entre 54 MHz a 686 MHz. En esta subdivisión se consideran los rangos de aplicación y uso del espectro según el Plan Nacional de Frecuencias. La necesidad de tener un ancho de banda configurado en el analizador de espectros no muy amplio, permitirá tener una mejor resolución frecuencial al momento de la medición. El número total de las sub-bandas obtenidas de la división es de cuatro, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10: Sub división de la banda de frecuencia 54 MHz – 686 MHz.

	Banda de Medición			
	Valor Inicial 54 MHz		Valor Final 686 MHz	
	SubBanda 1 (MHz)	SubBanda 2 (MHz)	SubBanda 3 (MHz)	SubBanda 4 (MHz)
Rango	54 - 88	88 - 108	174 - 216	512 - 686
AB (MHz)	34	20	42	174
Aplicación	Televisión en VHF	Radio FM	Televisión en VHF	Televisión en UHF

- Para llevar a cabo la configuración del analizador de espectros, esta variará dependiendo de la banda de medición que se esté realizando. En la tabla 11 se puede observar los parámetros de configuración que se han establecido al analizador para las diferentes bandas de frecuencias en las cuales se han realizado las diferentes campañas de medida. Es necesario destacar que estos valores no son fijos, por lo que pueden variar conforme se vayan dando las diferentes situaciones de medida.

Tabla 11: Parámetros de configuración del analizador de espectros.

Parámetros	Valores
Filtro de Resolución (RBW)	100 kHz
Filtro de Video (VBW)	10 kHz
Nivel de Referencia	-50 dB a -100 dB
Escala	5 dB/div
Tipo de Medida	Espectrograma

- Para la realización del barrido espectral se efectuará un total de 80 barridos en el espectro radioeléctrico para cada sub banda evaluada. Por cada barrido espectral se adquiere un número total de 400 muestras, generando un número de muestras suficientes para discriminar cualquier error en función de las prestaciones técnicas de los sistemas de radio cognitiva.

El tiempo por barrido espectral tendrá una duración de 22 segundos, de esta manera cada sub banda de estudio será monitoreada por aproximadamente 30 minutos y en tres instantes diferentes del día. En general, se escogen horas diferentes y días diferentes con el objetivo de adquirir suficientes muestras, y de esta manera conseguir datos estadísticos que puedan procesarse otorgando fidelidad y mayor inclinación a la realidad.

f.- RESULTADOS

CAPÍTULO IV. Resultados de la ocupación del Espectro Radioeléctrico

En el presente capítulo se tiene como objetivo principal presentar los resultados obtenidos durante la evaluación del espectro radioeléctrico en las diferentes parroquias urbanas de la ciudad de Loja, y de esta manera poder determinar la ocupación espectral que existe dentro del rango de frecuencias (54 MHz – 686 MHz), utilizado específicamente para emitir señales de televisión y de radio FM.

Para tal fin se emplearán los datos experimentales obtenidos durante la campaña de mediciones cuyos detalles fueron expuestos en el capítulo anterior. En general, el propósito de este análisis es el de poder determinar los patrones de la utilización espectral, en la cual se encuentran actualmente, y de esta manera poder adaptar futuros métodos de asignación del espectro radioeléctrico, así como identificar bandas apropiadas para una futura implementación de redes de radio cognitiva.

4.1 Métricas de Ocupación del Espectro

Como ya se ha venido mencionando en capítulos anteriores, la principal característica que presentan las redes de radio cognitiva (CRN's), es la capacidad de detectar la emisión de señales radioeléctricas correspondientes a usuarios primarios con la finalidad de no causar ningún tipo de interferencias y encontrar huecos espectrales (*White Spaces*), los cuales brinden mejores oportunidades de funcionamiento de estas redes para la transmisión de datos.

Esto se puede lograr gracias a que cada CPE cognitivo realiza un monitoreo constante al espectro radioeléctrico de una manera individual haciendo uso de las diferentes técnicas de censado del espectro, y comparte las observaciones del mismo con el resto de CPE's. Las técnicas que pueden ser utilizadas para la evaluación del espectro radioeléctrico son: detección de energía, detección por filtro adaptado y detección cicloestacionaria.

Para llevar a cabo la campaña de mediciones en las diferentes parroquias urbanas de la ciudad de Loja se utilizó como métrica de análisis el método de detección de energía, ya que de esta manera se podrá comparar la potencia de las señales medidas, las mismas que han sido producidas por los distintos servicios de telecomunicaciones que se brindan en la banda comprendida entre los 54 MHz a 686 MHz, con un cierto umbral de decisión

y determinar que la señal está presente si el nivel de energía está por encima de dicho umbral de decisión.

De acuerdo en lo establecido en los sistemas cognitivos, las BS's abandonan un canal si detectan señales sobre los siguientes umbrales:

- Televisión Digital (TDT): -116 dBm.
- Televisión Analógica: -94 dBm.

Actualmente en nuestra región no existen emisiones de televisión digital terrestre, por lo tanto, se establece como único umbral de comparación el valor de -94 dBm.

4.2 Resultados de la Evaluación Espectral

A continuación se realizará un análisis detallado de los resultados obtenidos durante la campaña de medidas en función de las métricas que se han establecido anteriormente.

Luego del proceso de monitoreo y medida de cada una de las sub-bandas, en las cuales ha sido dividido el rango de frecuencias de interés del espectro radioeléctrico (54 MHz – 686 MHz) llevadas a cabo en las seis parroquias urbanas de la ciudad de Loja. Mediante el equipo principal de medida, el cual consiste en un analizador de espectros, podremos visualizar en el display del mismo las diferentes componentes espectrales de las señales que se encuentran presentes dentro del rango de frecuencias de interés, proporcionando principalmente la información de la amplitud, energía o potencia para cada componente frecuencial.


4.2.1 Espectrograma de las Parroquias Urbanas de la Ciudad de Loja.

En los gráficos que se muestran a continuación se puede observar la ocupación espectral durante el tiempo que se tardó en realizar las medidas en cada una de las sub-bandas. Los resultados obtenidos para cada una de las parroquias urbanas de la ciudad de Loja, nos permite apreciar si el espectro monitoreado en el rango de frecuencias establecido se encuentra ocupado, o si por el contrario el espectro se encuentra disponible.

Para poder determinar los niveles de energía o potencia en las diferentes frecuencias, en la pantalla del equipo analizador de espectros, estos son representados por pigmentos de color variable de acuerdo al nivel de energía o potencia medido.

4.2.1.1 Parroquia Carigán

BARRIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Carigán	3°57'33.3" S	79°14'28.8" W	2189 m
Sauces Norte	3°56'09.8" S	79°12'52.3" W	2135 m



❖ Sub-Banda 1: 54 MHz – 88 MHz

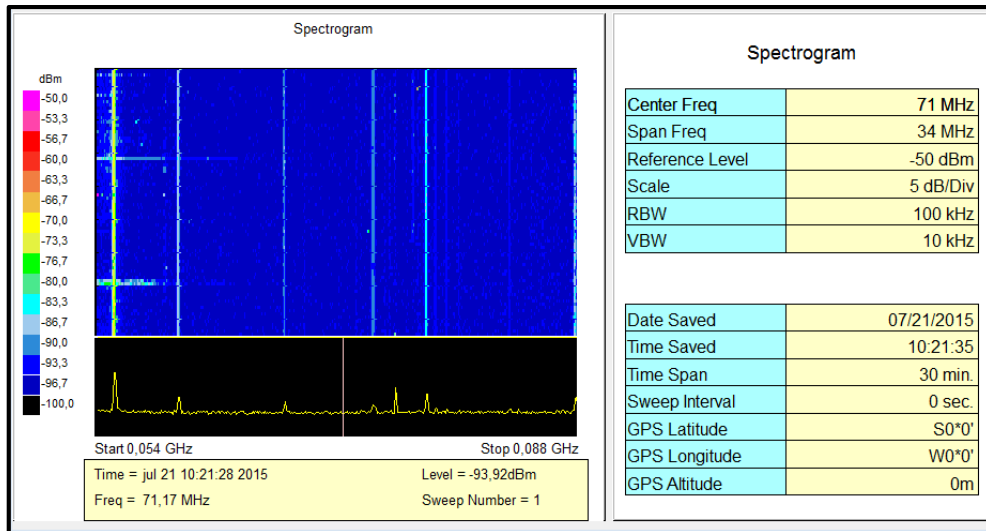


Figura 24: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Carigán.

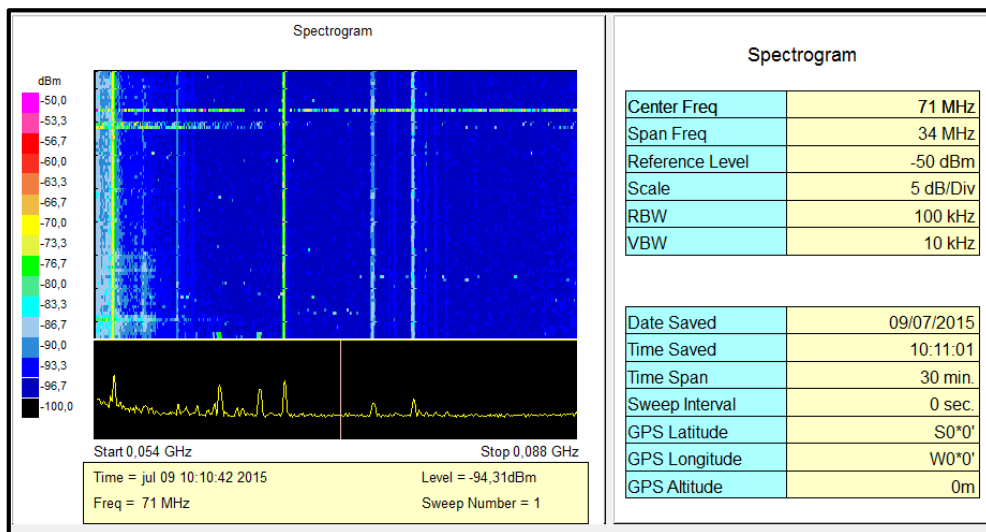


Figura 25: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Sauces Norte.

❖ Sub-Banda 2: 88 MHz – 108 MHz

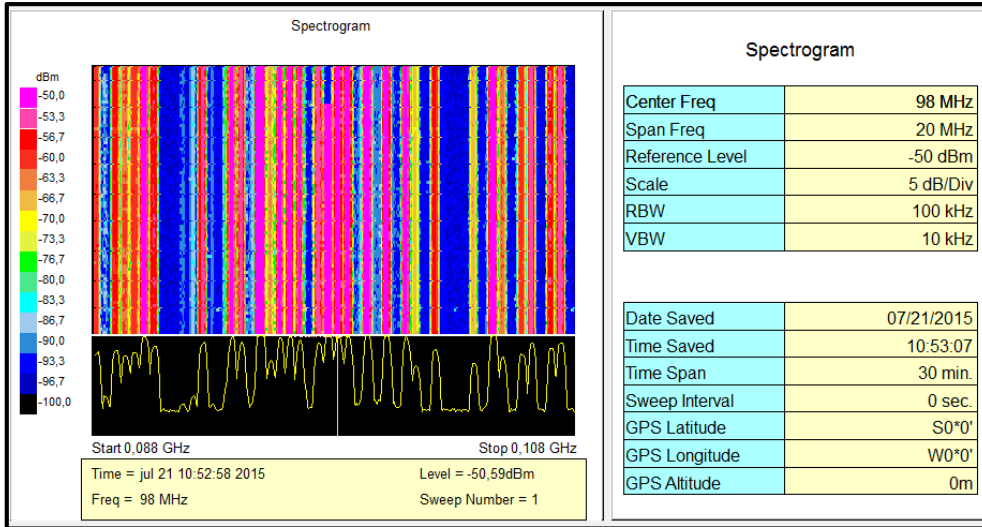


Figura 26: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Carigán.

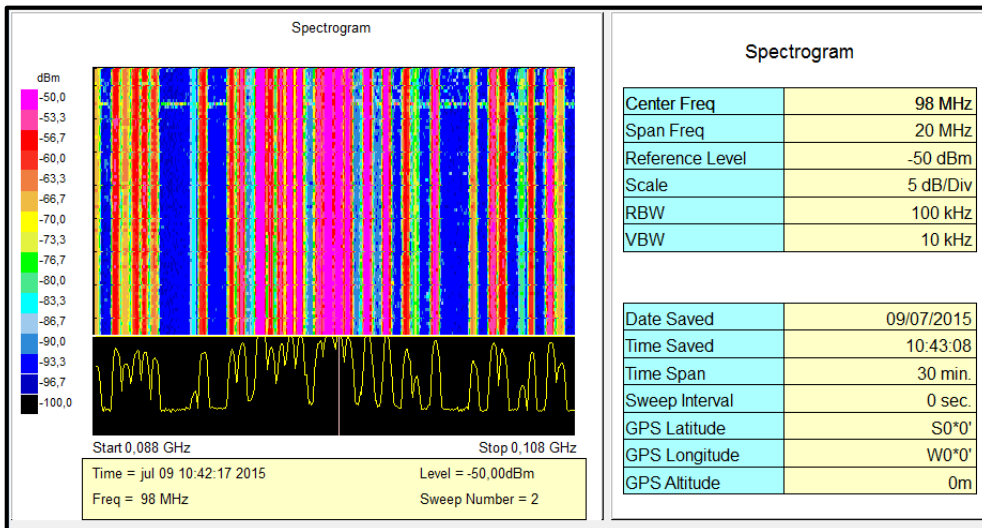


Figura 27: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Saucés Norte.

❖ Sub-Banda 3: 174 MHz – 216 MHz

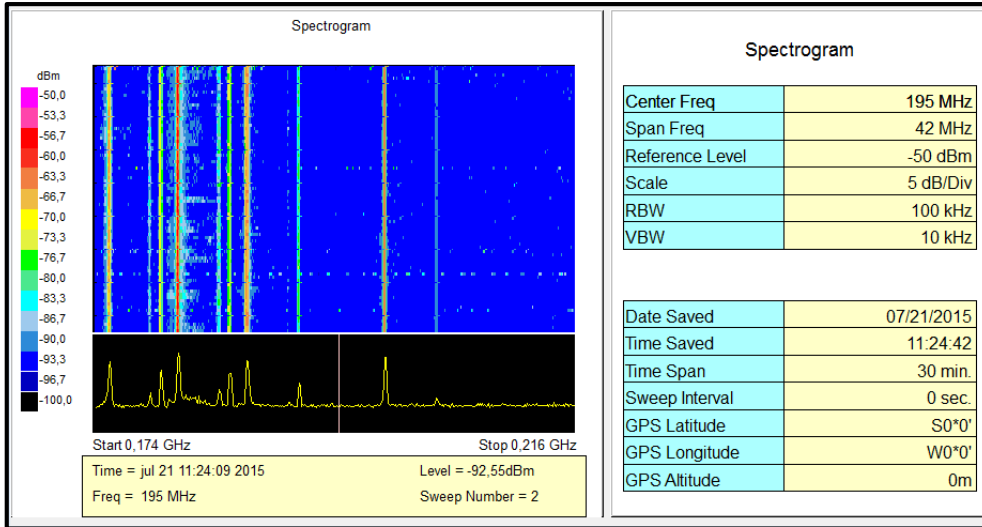


Figura 28: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Carigán.

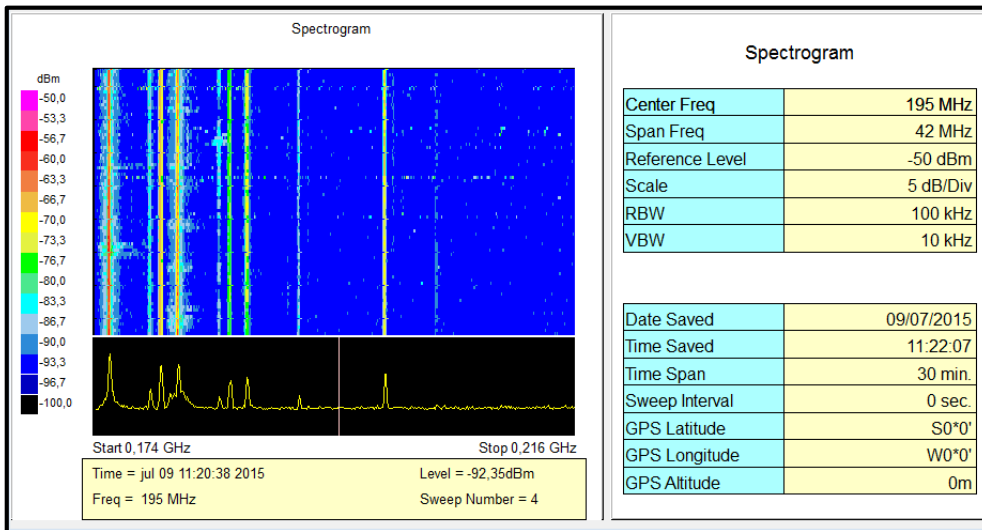


Figura 29: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Saucés Norte.

❖ Sub-Banda 4: 512 MHz – 686 MHz

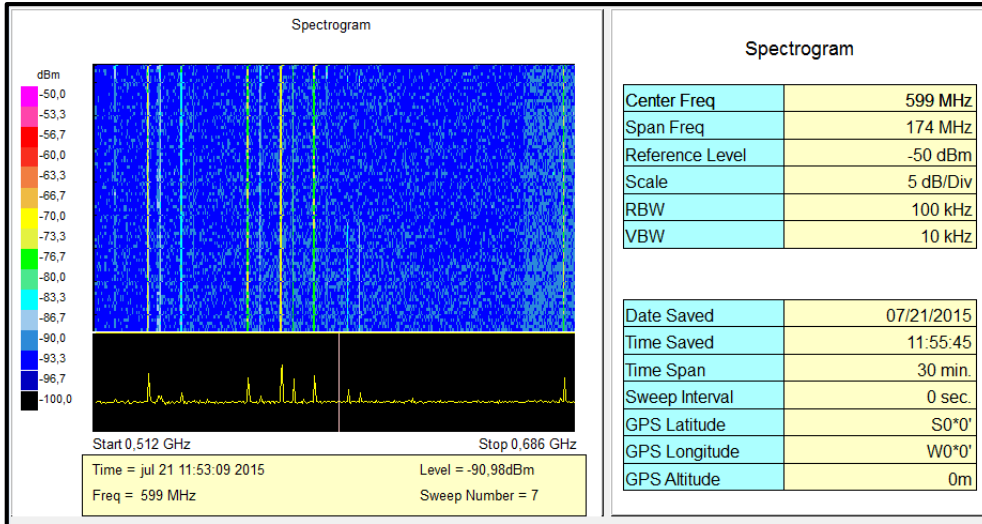


Figura 30: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Carigán.

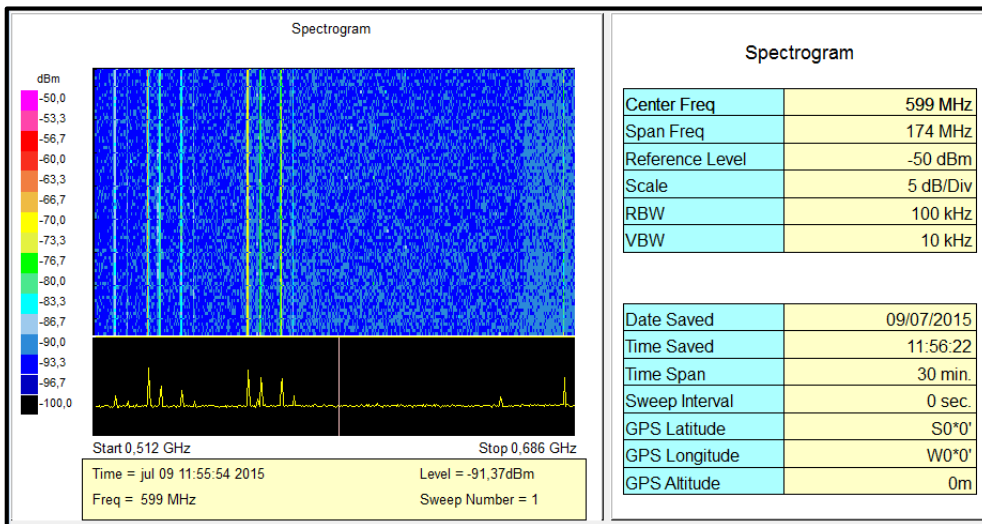



Figura 31: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Saucos Norte.

4.2.1.2 Parroquia El Valle

BARRIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Amable María	3°57'21.2" S	79°13'16.4" W	2054 m
San Juan del Valle	3°58'50.0" S	79°11'43.8" W	2096 m



❖ Sub-Banda 1: 54 MHz – 88 MHz

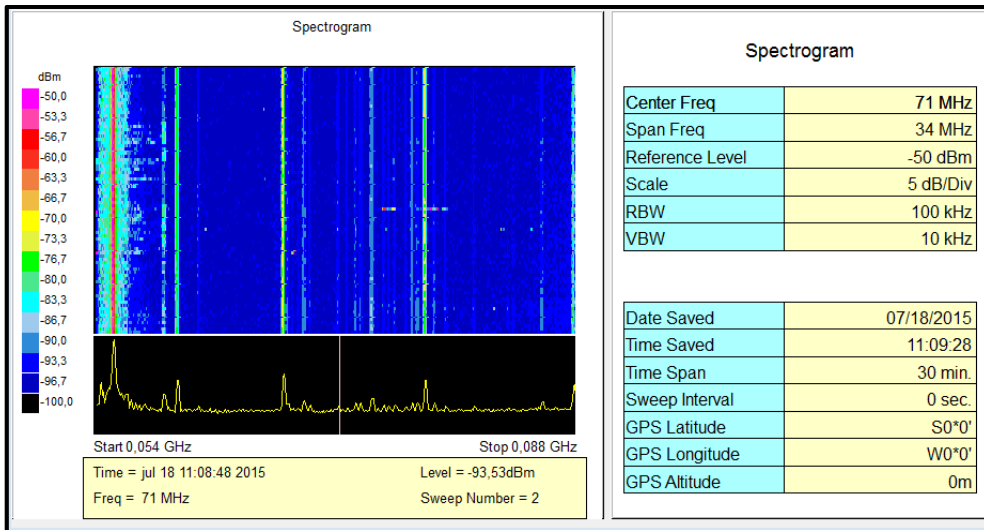


Figura 32: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Amable María.

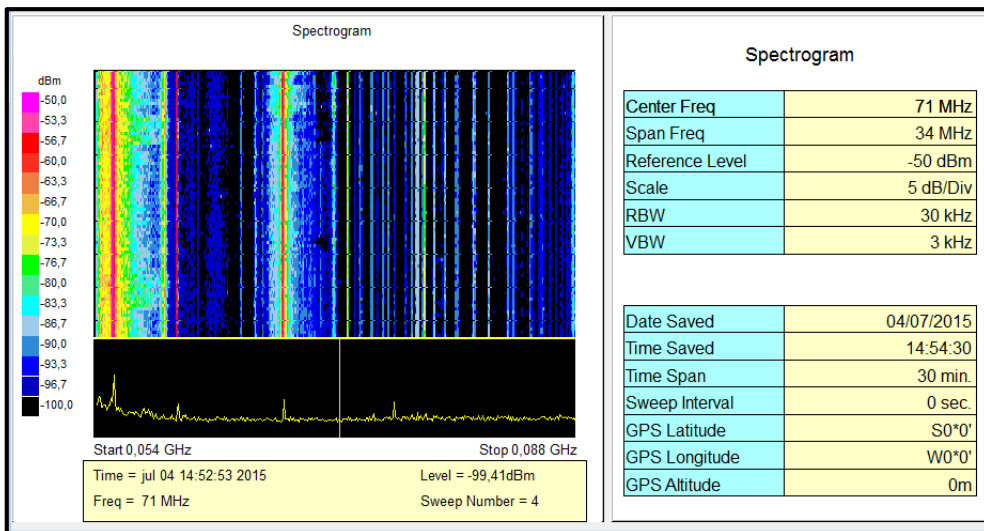


Figura 33: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – San Juan del Valle.

❖ Sub-Banda 2: 88 MHz – 108 MHz

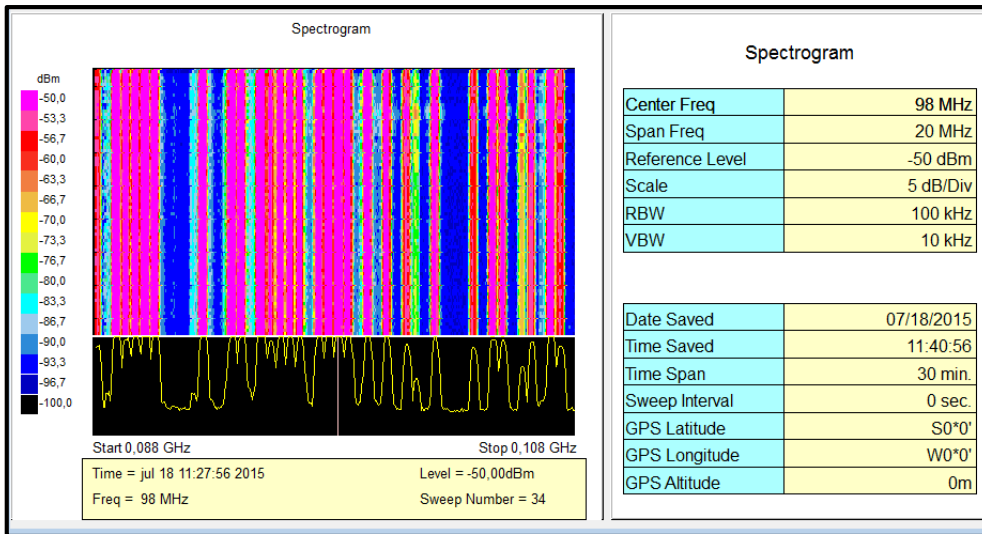


Figura 34: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Amable María.

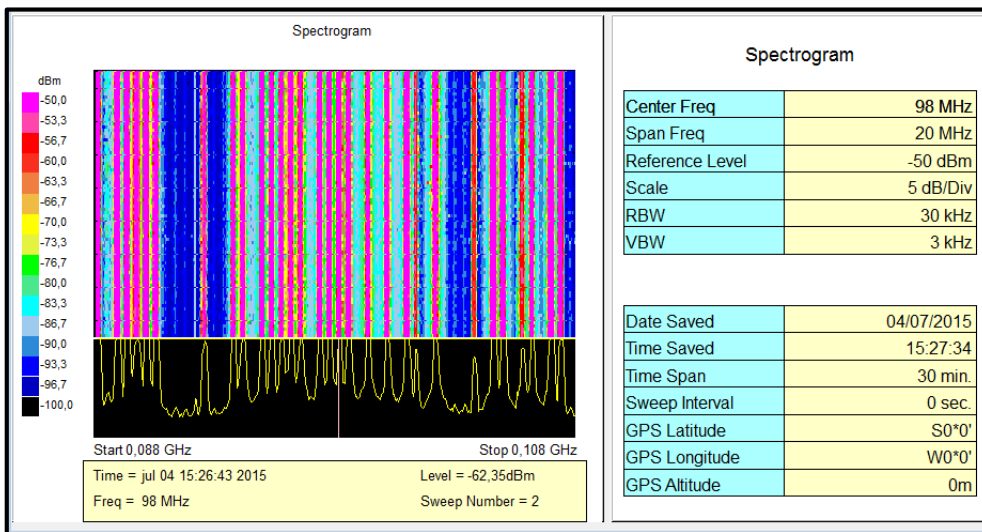


Figura 35: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – San Juan del Valle.

❖ Sub-Banda 3: 174 MHz – 216 MHz

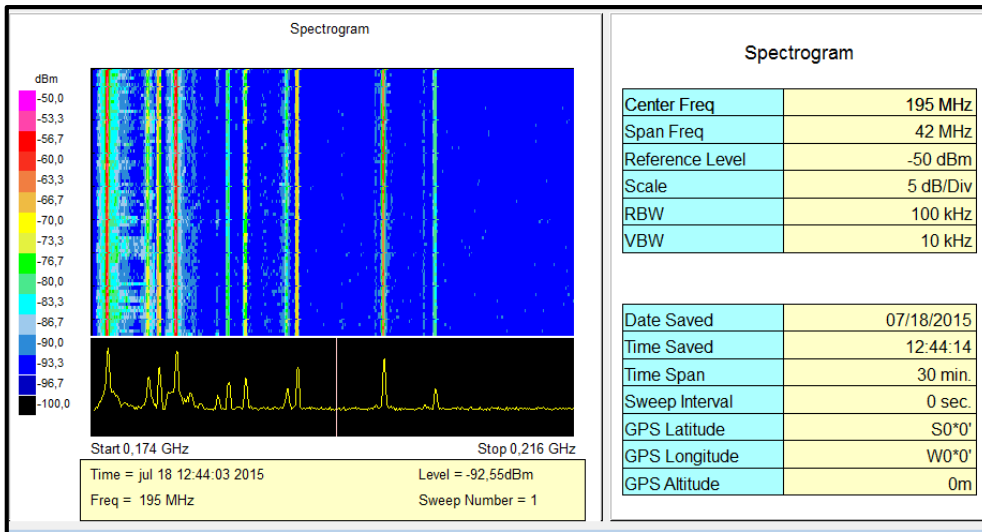


Figura 36: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Amable María.

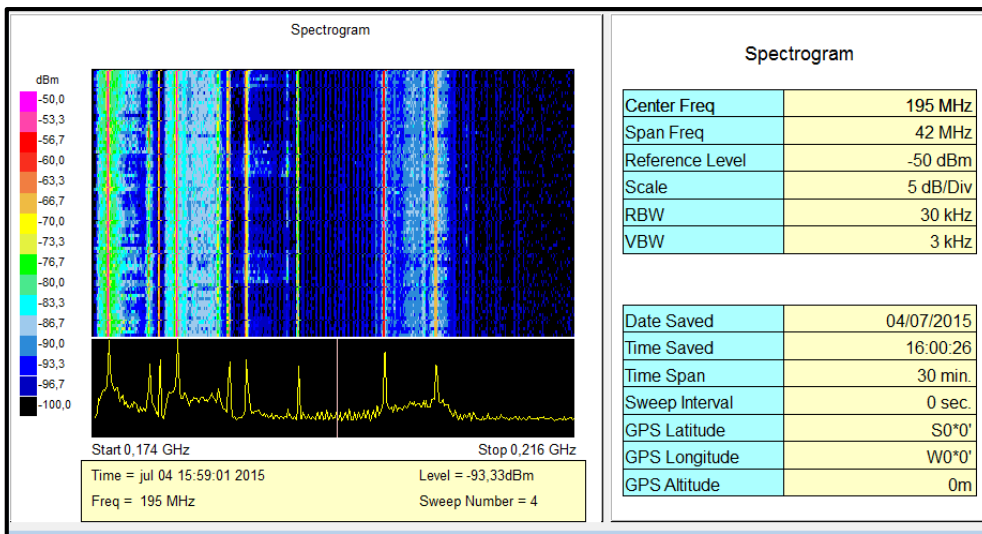


Figura 37: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – San Juan del Valle.

❖ Sub-Banda 4: 512 MHz – 686MHz

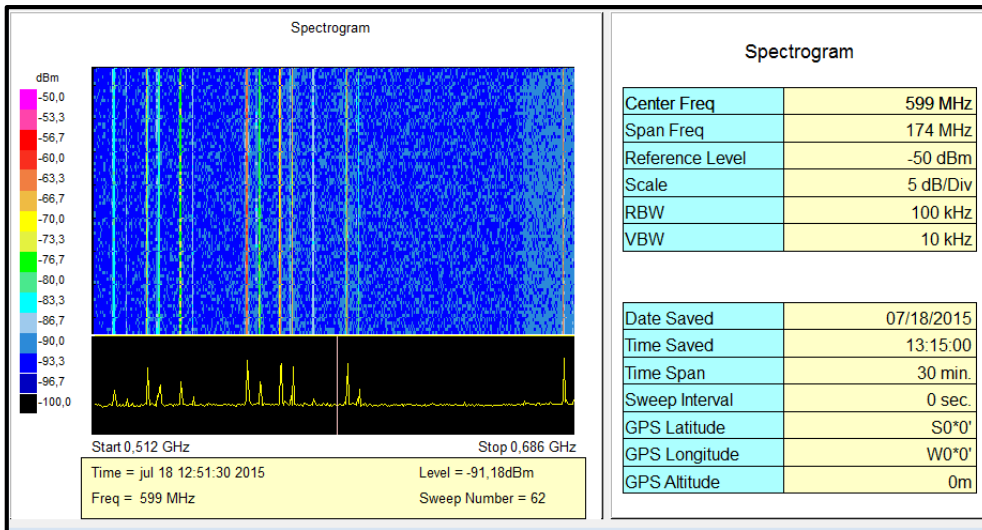


Figura 38: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Amable María.

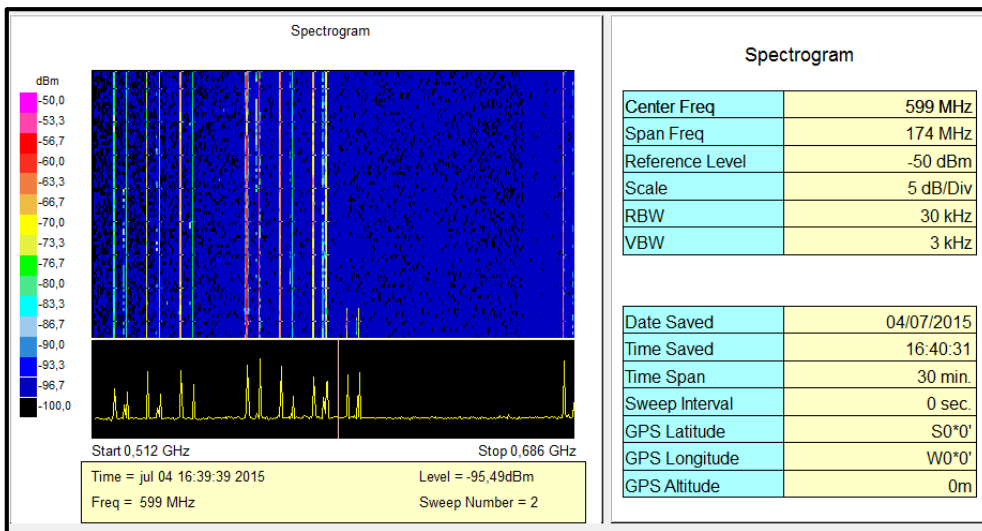



Figura 39: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – San Juan del Valle.

4.2.1.3 Parroquia Sucre

BARRIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Obrapia	4°00'03.9" S	79°14'02.5" W	2224 m
El Pedestal	4°00'08.1" S	79°12'39.6" W	2116 m
Turunuma	3°58'10.0" S	79°12'45.2" W	2060 m



❖ Sub-Banda 1: 54 MHz – 88 MHz

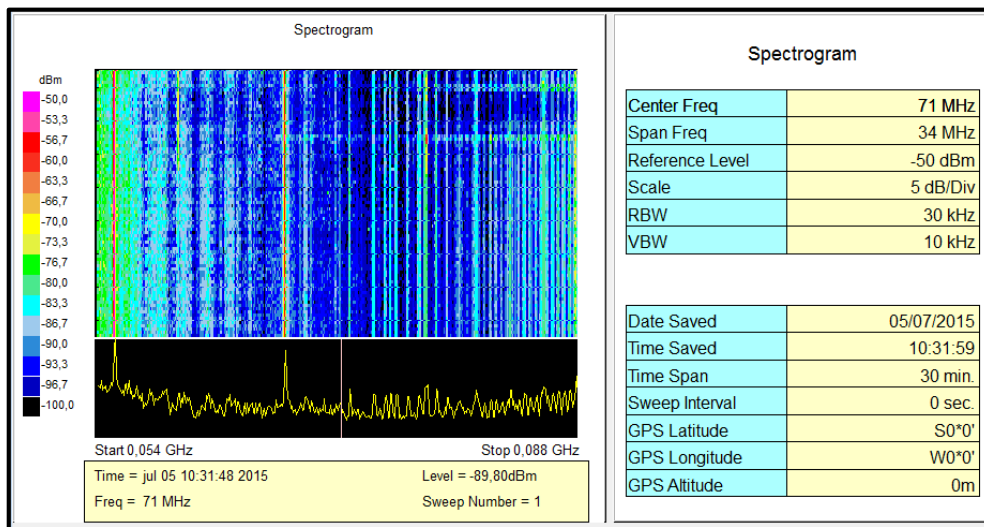


Figura 40: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Obrapia.

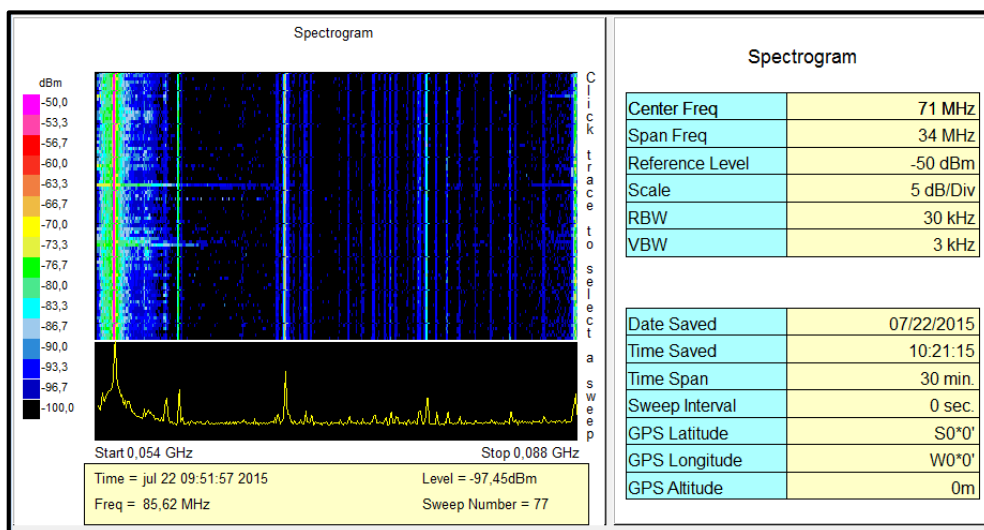


Figura 41: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – El Pedestal.

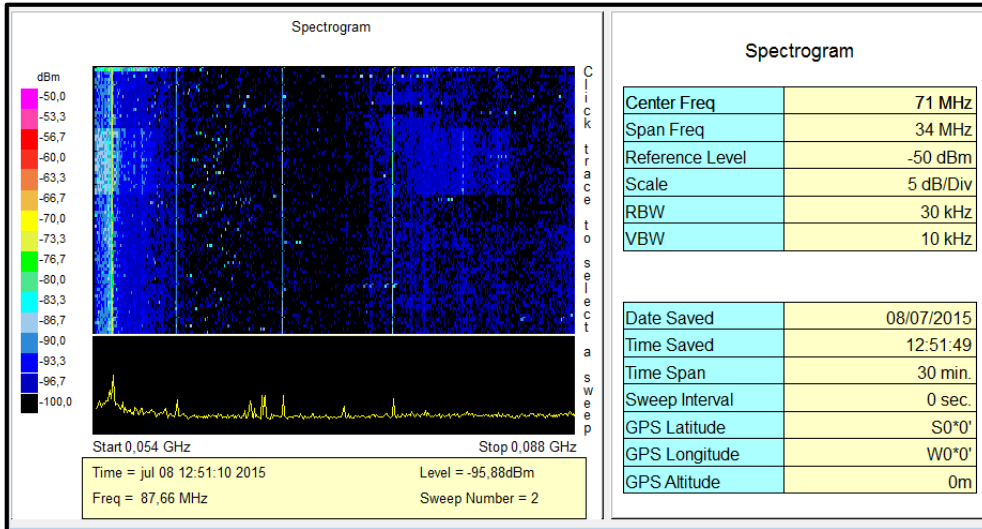


Figura 42: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Turunuma.

❖ **Sub-Banda 2: 88 MHz – 108 MHz**

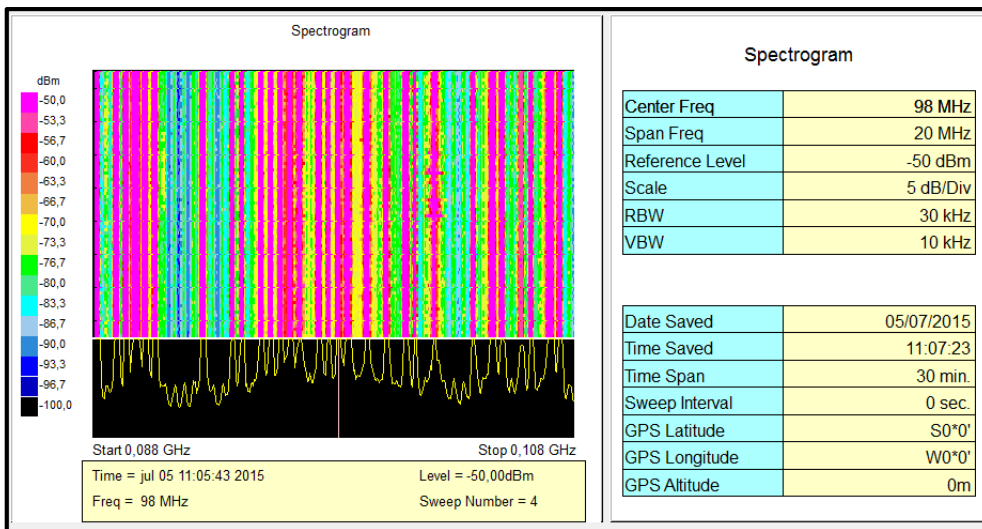


Figura 43: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Obrapia.

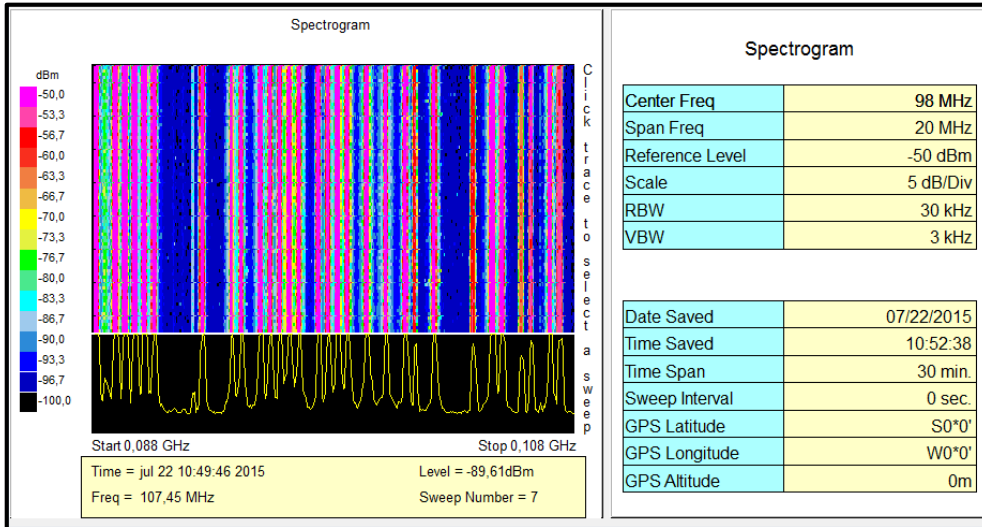


Figura 44: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – El Pedestal.

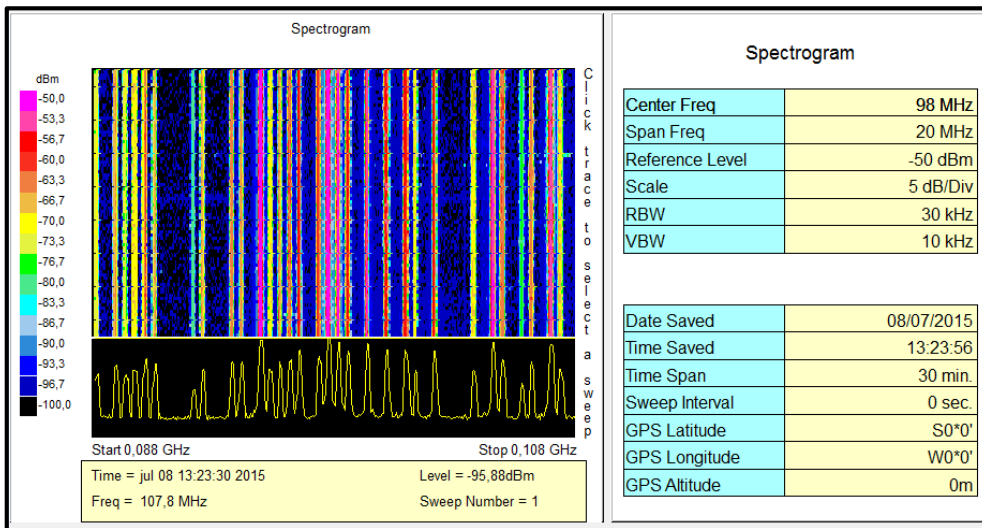


Figura 45: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Turunuma.

❖ Sub-Banda 3: 174 MHz – 216 MHz

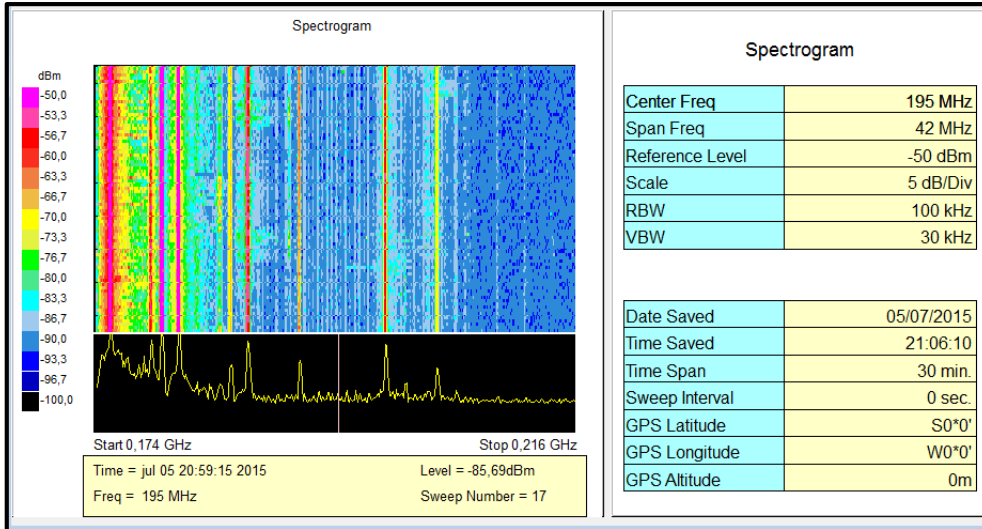


Figura 46: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Obrapia.

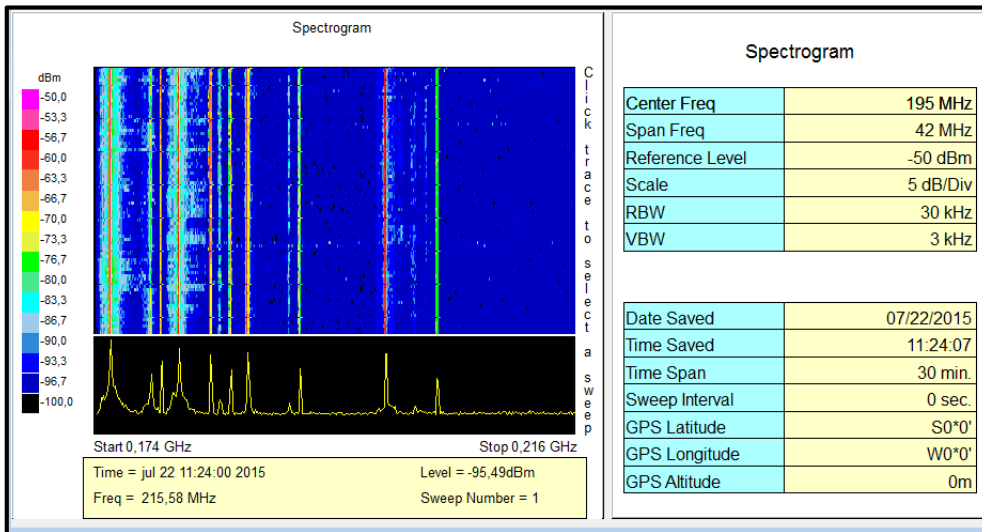


Figura 47: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – El Pedestal.

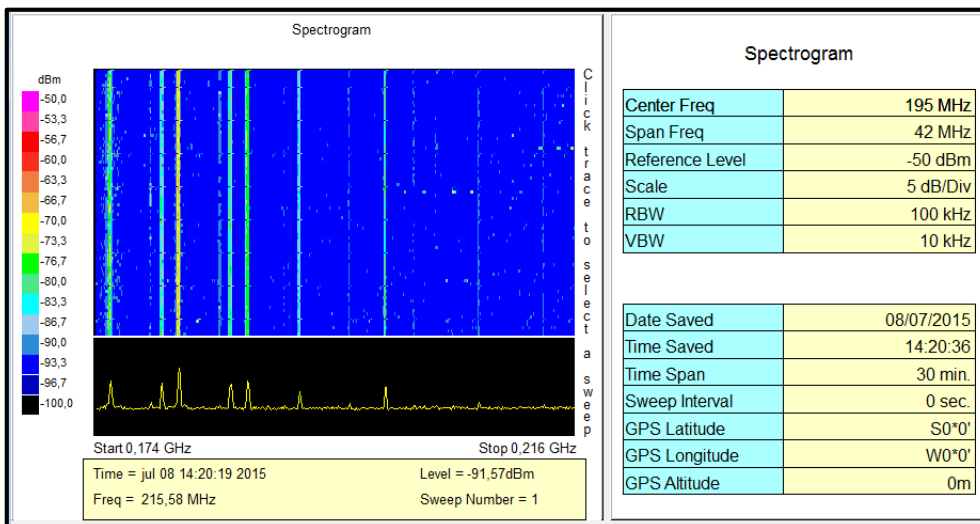


Figura 48: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Turunuma.

❖ **Sub-Banda 4: 512 MHz – 686MHz**

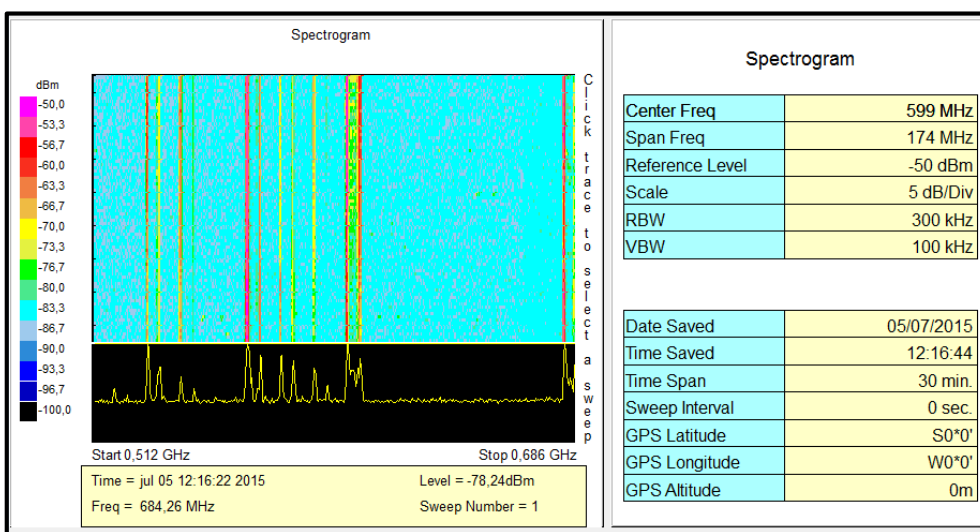


Figura 49: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Obrapia.

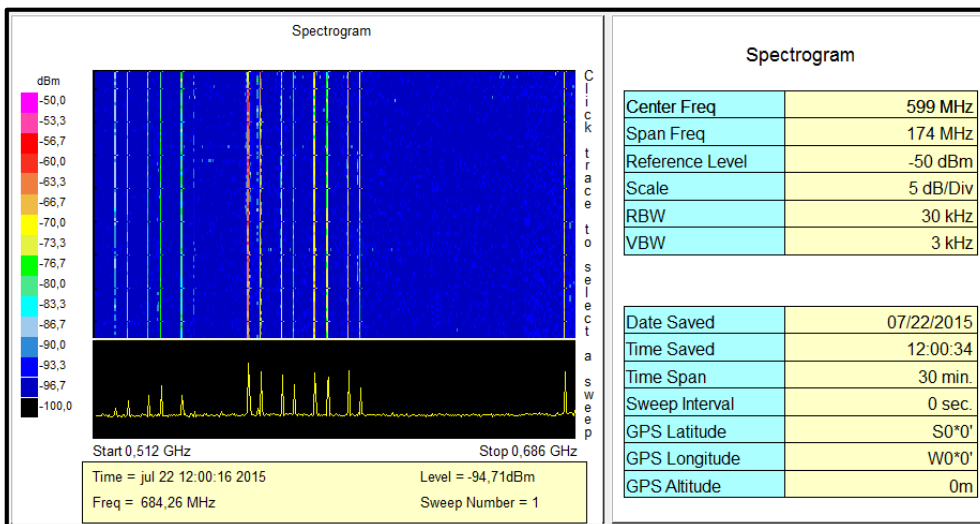


Figura 50: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – El Pedestal.

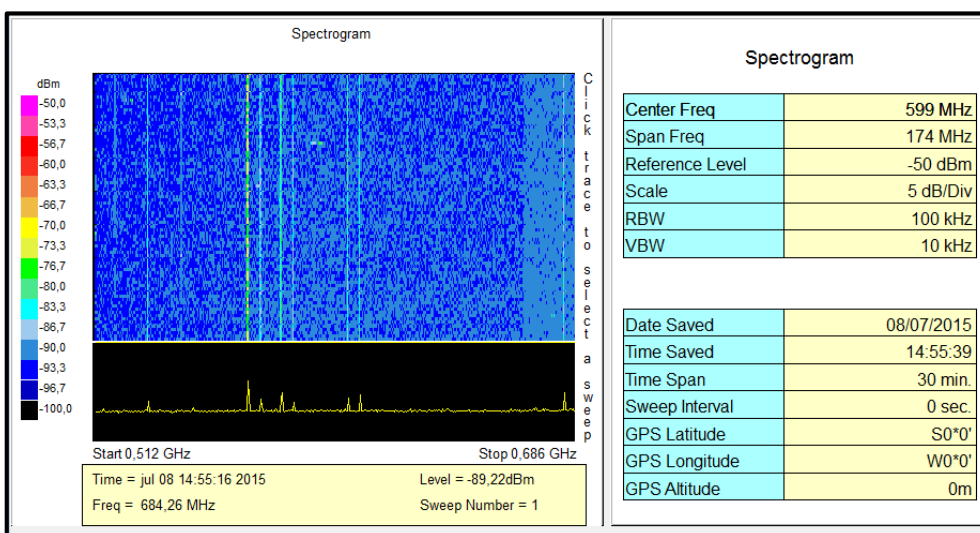


Figura 51: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Turunuma.

4.2.1.5 Parroquia El Sagrario

BARRIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
Barrio Central	3°59'47.62" S	79°12'6.18" W	2054 m
Zamora Huayco	4°00'24.2" S	79°11'13.2" W	2206 m



❖ Sub-Banda 1: 54 MHz – 88 MHz

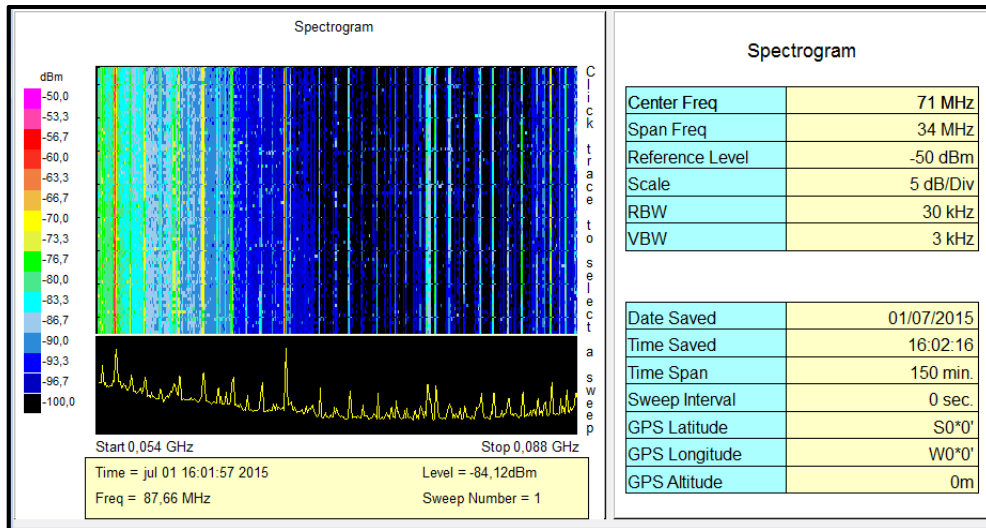


Figura 52: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Barrio Central.

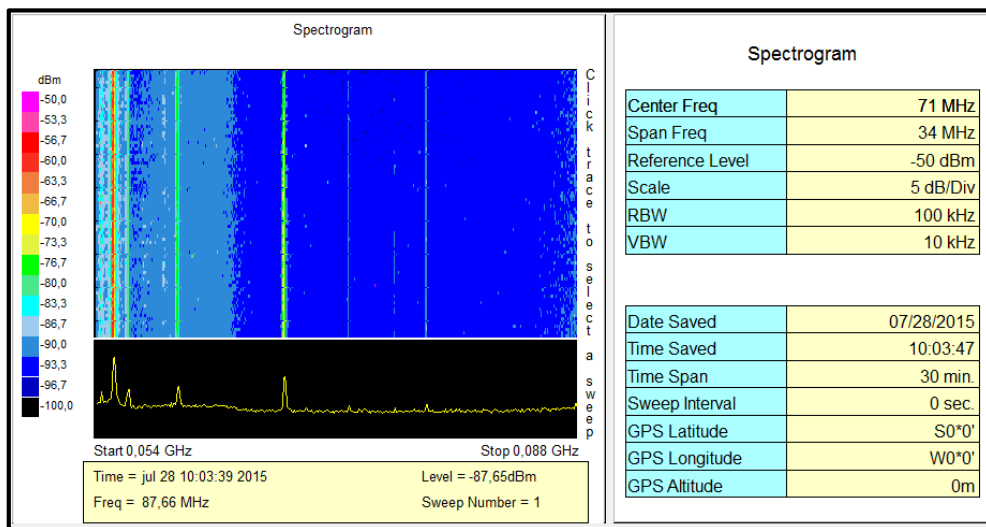


Figura 53: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Zamora Huayco.

❖ Sub-Banda 2: 88 MHz – 108 MHz

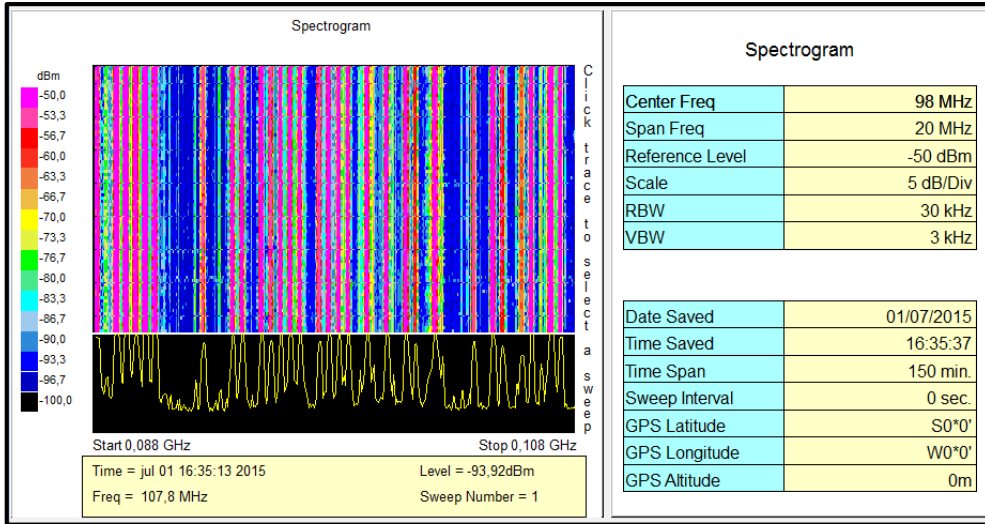


Figura 54: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Barrio Central.

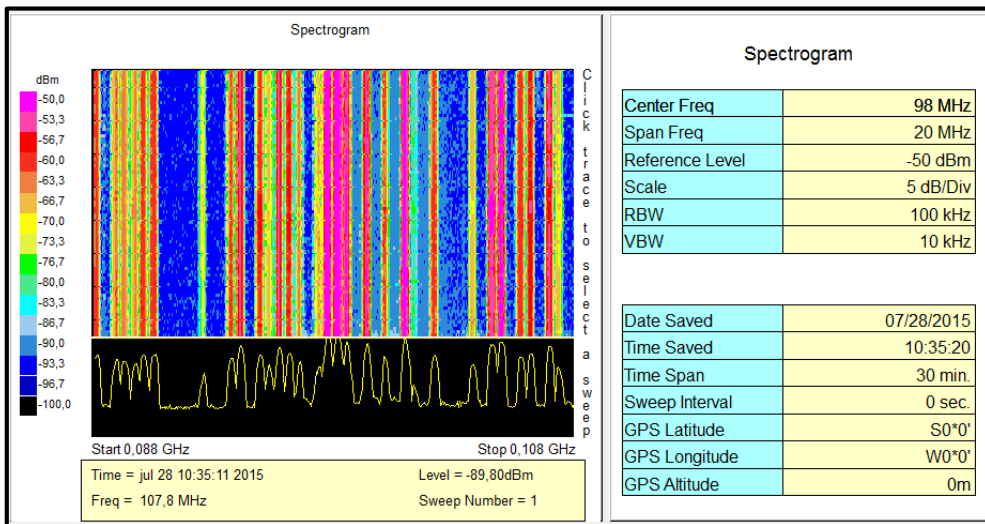


Figura 55: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Zamora Huayco.

❖ Sub-Banda 3: 174 MHz – 216 MHz

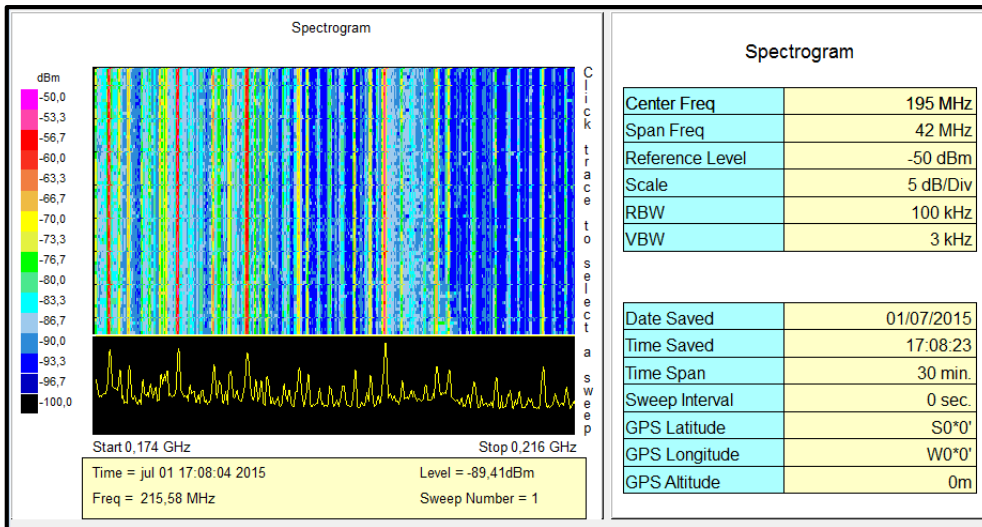


Figura 56: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Barrio Central.

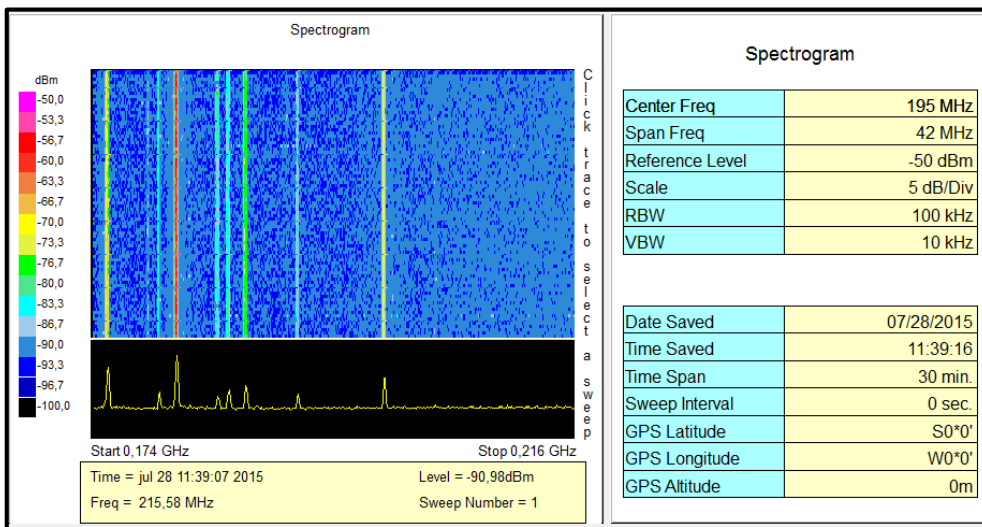


Figura 57: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Zamora Huayco.

❖ Sub-Banda 4: 512 MHz – 686MHz

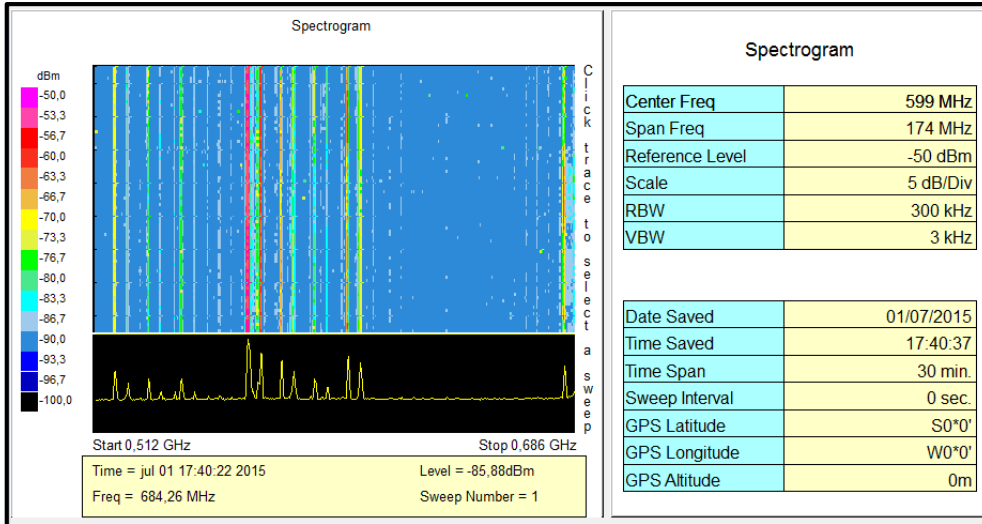


Figura 58: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Barrio Central.

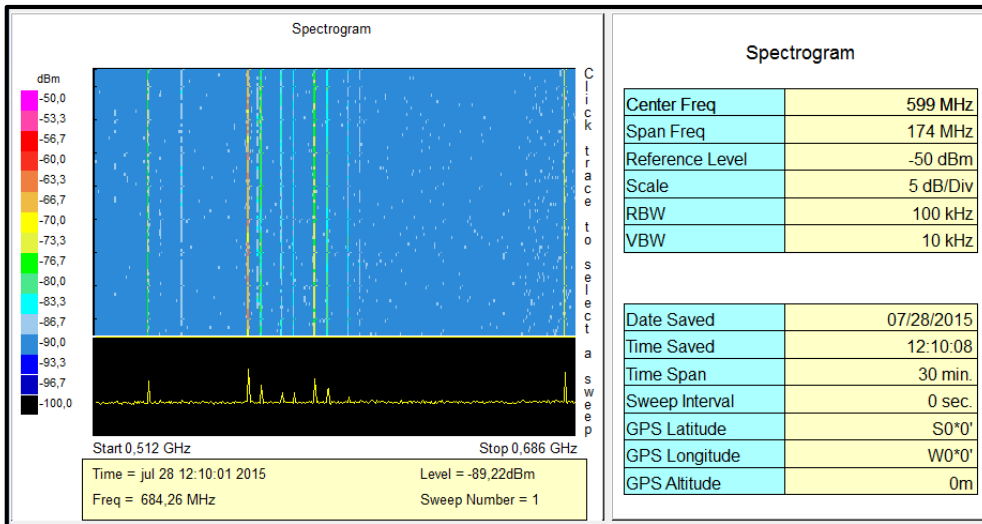



Figura 59: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Zamora Huayco.

4.2.1.6 Parroquia Punzara

BARRIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
La Argelia	4°01'47.5" S	79°11'58.6" W	2131 m
Daniel Alvarez	4°00'58.5" S	79°12'27.3" W	2151 m



❖ Sub-Banda 1: 54 MHz – 88 MHz

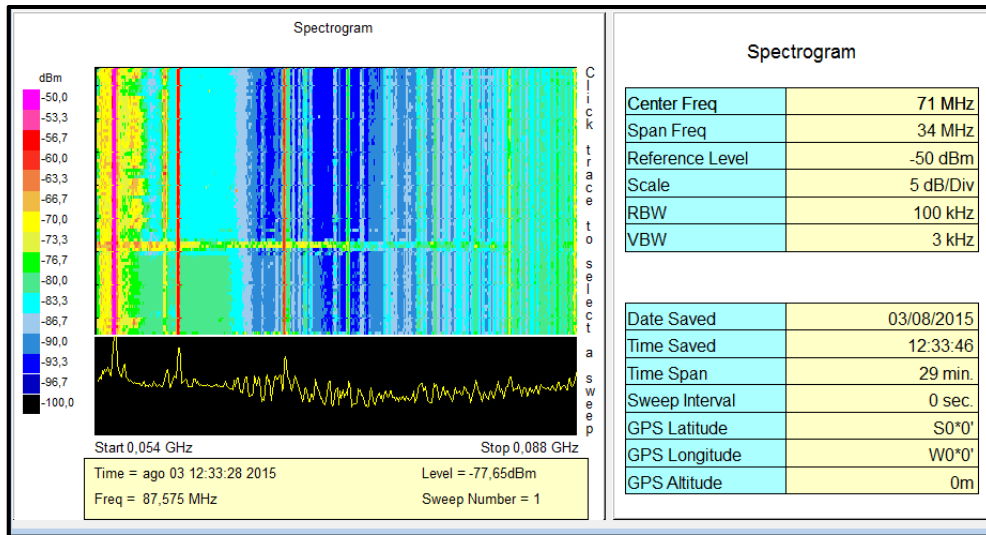


Figura 60: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – La Argelia.

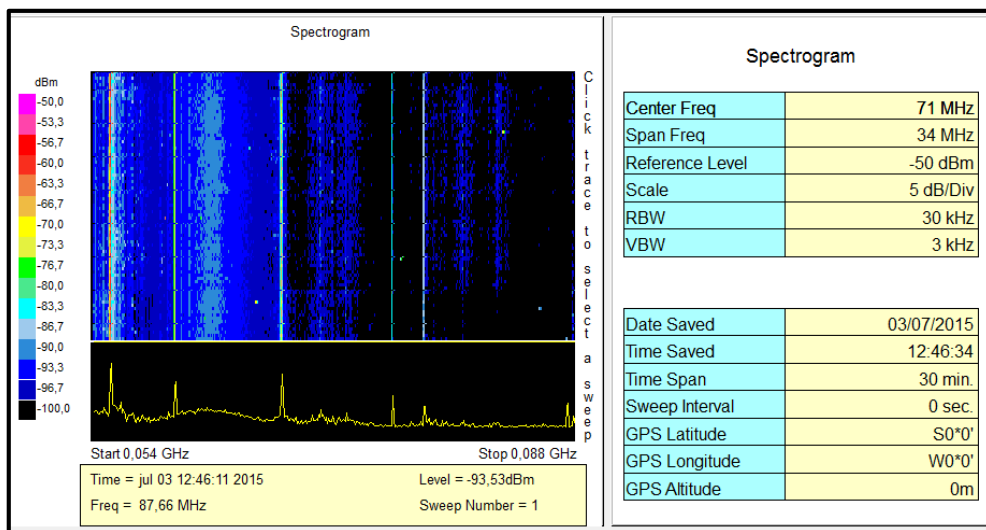


Figura 61: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – Daniel Alvarez.

❖ Sub-Banda 2: 88 MHz – 108 MHz

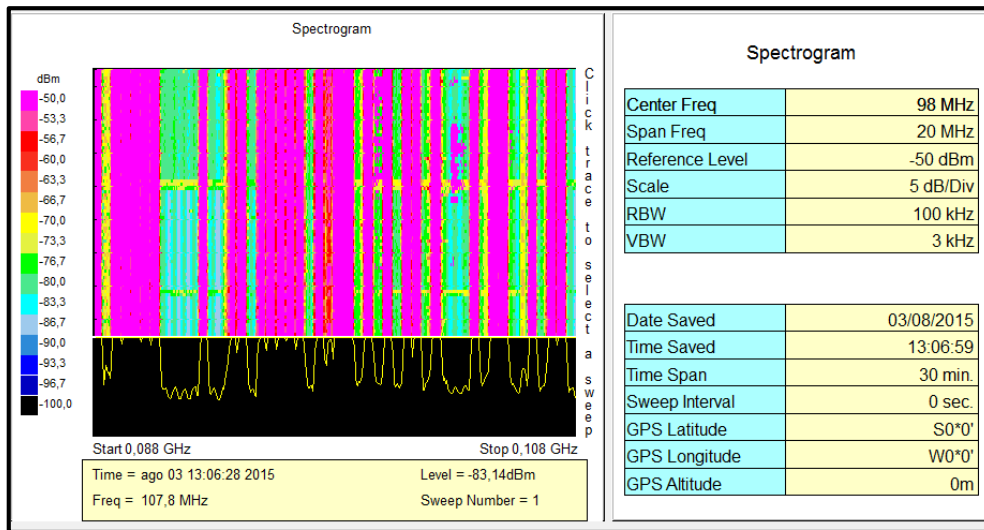


Figura 62: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – La Argelia.

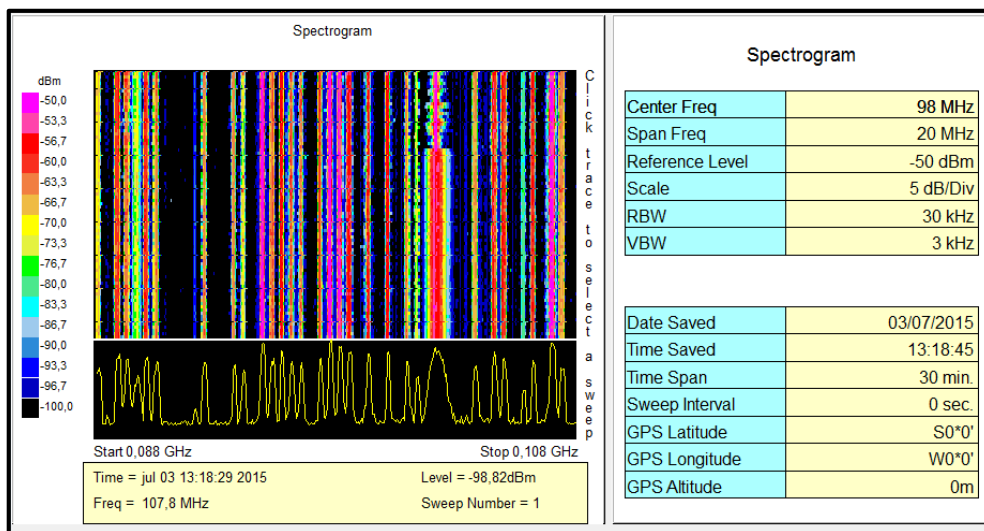


Figura 63: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – Daniel Alvarez.

❖ Sub-Banda 3: 174 MHz – 216 MHz

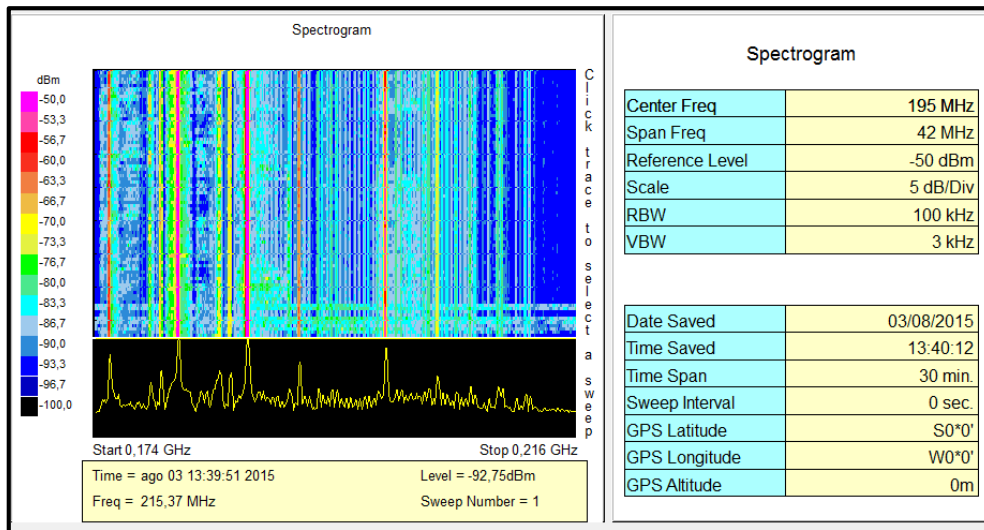


Figura 64: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – La Argelia.

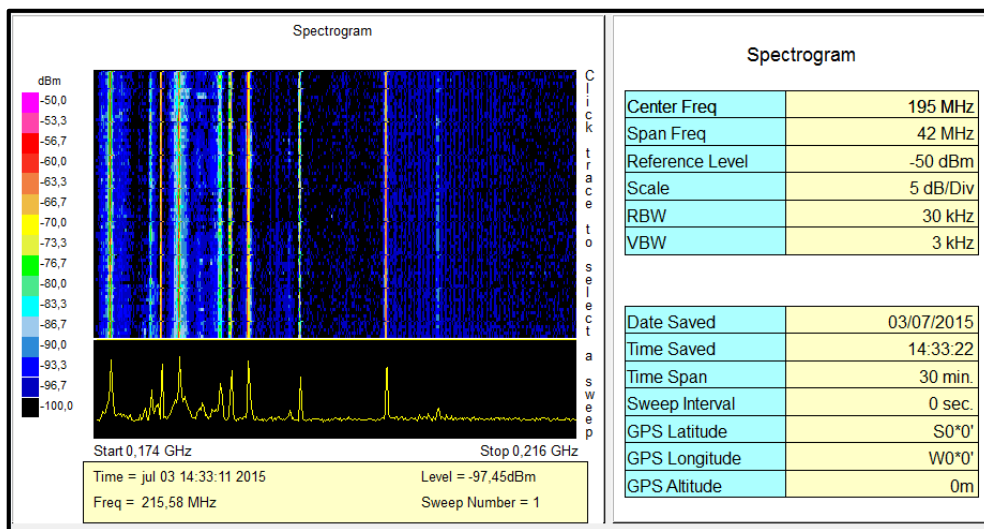


Figura 65: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – Daniel Alvarez.

❖ Sub-Banda 4: 512 MHz – 686 MHz

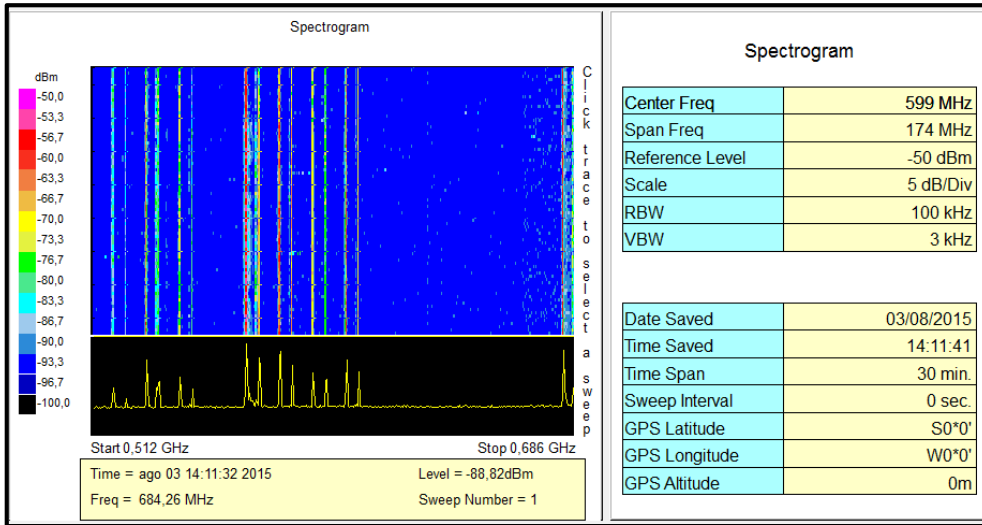


Figura 66: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – La Argelia.

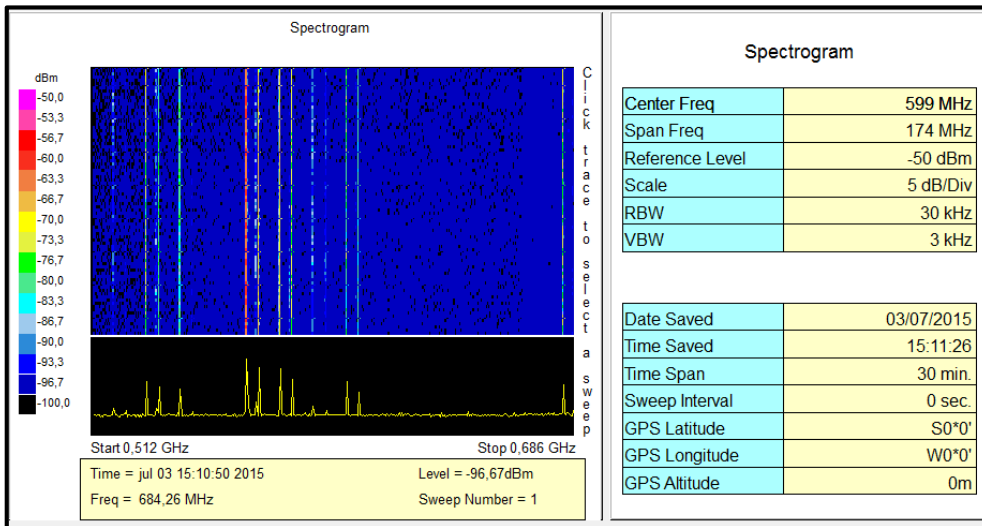



Figura 67: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – Daniel Alvarez.

4.2.1.7 Parroquia San Sebastián

BARRIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
San Sebastián	4°00'34.3" S	79°12'03.5" W	2150 m



❖ Sub-Banda 1: 54 MHz – 88 MHz

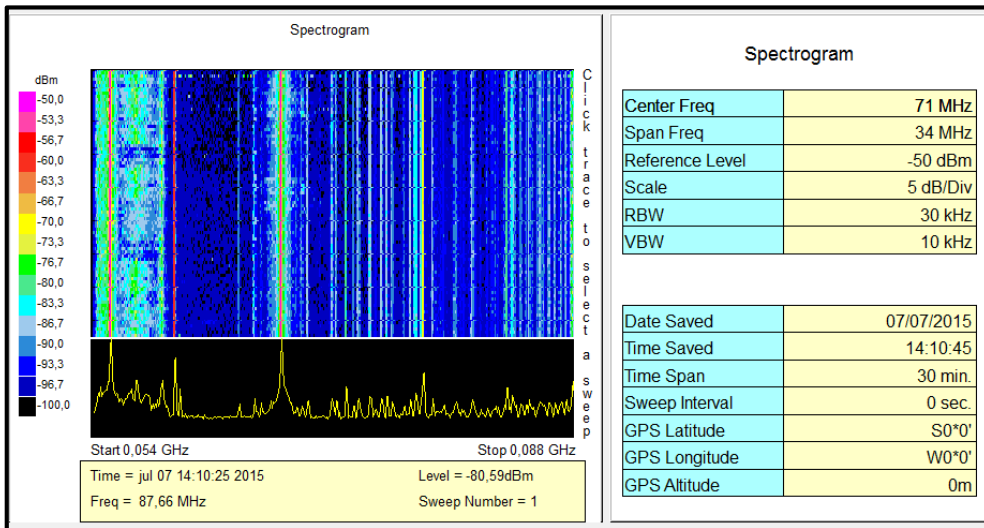


Figura 68: Espectrograma: Rango de frecuencias (54MHz a 88MHz) – San Sebastián.

❖ Sub-Banda 2: 88 MHz – 108 MHz

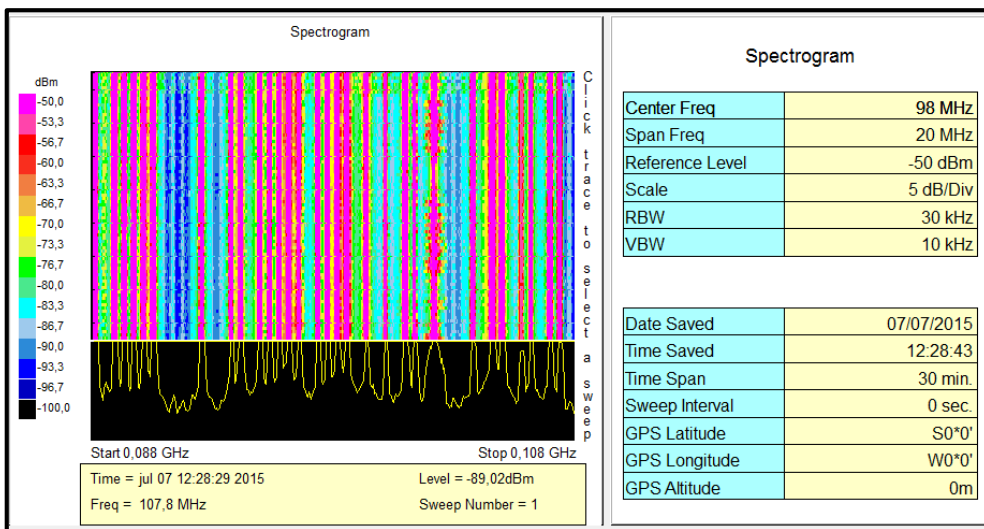


Figura 69: Espectrograma: Rango de frecuencias (88MHz a 108MHz) – San Sebastián.

❖ **Sub-Banda 3: 174 MHz – 216 MHz**

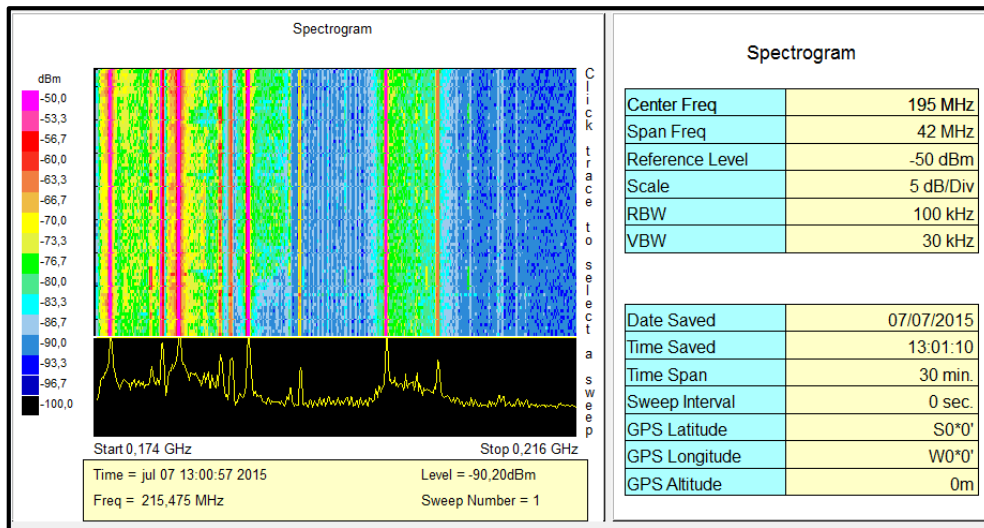


Figura 70: Espectrograma: Rango de frecuencias (174MHz a 216MHz) – San Sebastián.

❖ **Sub-Banda 4: 512 MHz – 686 MHz**

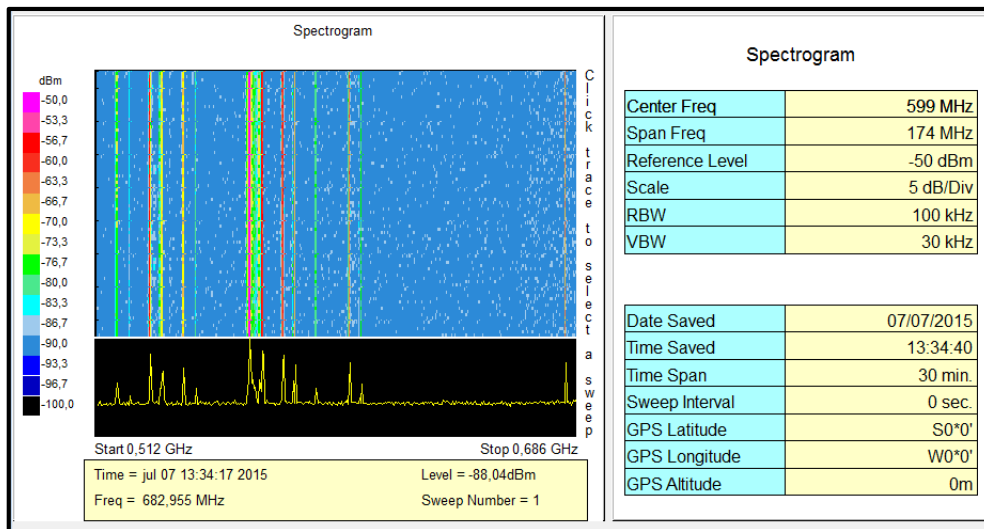


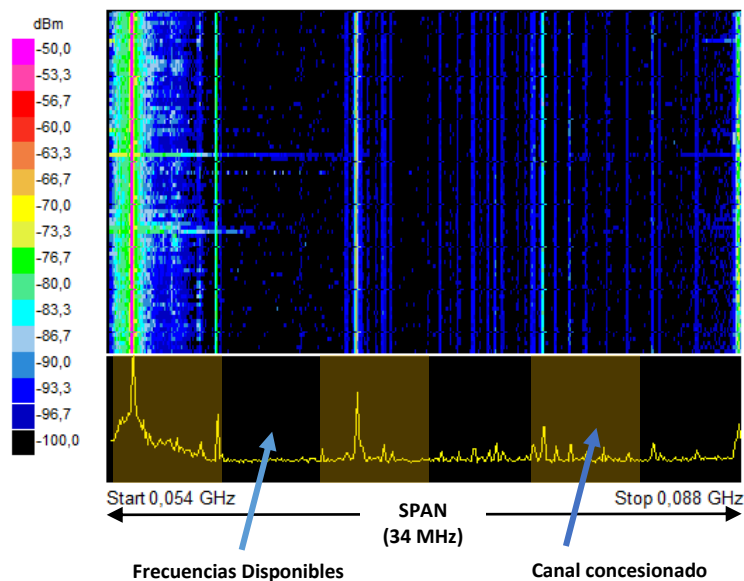
Figura 71: Espectrograma: Rango de frecuencias (512MHz a 686MHz) – San Sebastián.

4.4 Análisis de la Evaluación Espectral

El objetivo fundamental de la evaluación espectral en la ciudad de Loja, realizado en el presente trabajo, consiste en determinar los porcentajes de utilización actual del espectro radioeléctrico dentro del rango de frecuencias utilizado esencialmente para la transmisión de TV analógica y radio FM (54 MHz – 686 MHz), de tal manera que se pueda establecer futuros métodos de redistribución del espectro y una posible reestructuración del marco legal e identificar de esta manera las bandas más apropiadas para el futuro despliegue de las redes de radio cognitiva.

Una vez recolectadas las medidas del espectro radioeléctrico en las bandas de interés, posteriormente se realiza el procesamiento de todos los datos obtenidos durante la campaña de medida con la finalidad de conocer el porcentaje de ocupación espectral, y con ello determinar el valor de densidad espectral promedio que luego será comparado con el nivel de umbral establecido para que las redes de radio cognitivo puedan funcionar correctamente, de esta forma finalmente se logrará identificar cual es el valor aproximado del nivel de subutilización del espectro radioeléctrico dentro de la ciudad de Loja.

Para obtener el porcentaje de ocupación espectral que existe en cada una de las sub bandas analizadas. En primer lugar debemos tener en cuenta que el total del ancho de banda que se encuentra ocupado en cada sub banda, corresponde a la sumatoria de todos los rangos de frecuencia que están siendo utilizados por los sistemas de televisión o radiodifusión y que mantienen una concesión dentro de dicha sub banda en la ciudad de Loja.



Por ejemplo, si tenemos en cuenta que conforme al Plan Nacional de Frecuencias a nivel nacional, dentro de la sub banda de frecuencias comprendida entre los 54 MHz a 88 MHz se encuentran concesionados tres canales de TV analógica para la ciudad de Loja, su porcentaje de ocupación espectral se lo obtiene de la siguiente relación:

$$\% \text{ Espectro Utilizado por Sub Banda} = \frac{\text{Ancho de banda utilizado}}{\text{Ancho de banda total Sub Banda (SPAN)}} \times 100$$

Es decir, si cada canal de TV tiene un ancho de banda de 6 MHz esto equivale a tener un valor de 18 MHz utilizado del total de ancho de banda evaluado (SPAN), lo que representa el 52.92 % de espectro disponible.

A continuación se presentan los valores porcentuales que se han obtenido de la evaluación del espectro radioeléctrico para cada una de las sub-bandas analizadas. Además, en base al método de detección de energía y el umbral de decisión establecido se determinará el número de canales ocupados, así como el total de *White Spaces* de diferentes anchos de banda en las seis parroquias urbanas de la ciudad de Loja.

4.4.1 Análisis Sub-Banda 1: VHF (54 MHz – 88 MHz)

Tabla 12: Resultados de la ocupación espectral de la Sub-Banda 1.

SUB-BANDA 1: VHF (54 MHz – 88 MHz)							
Parroquia	Barrio	N° Canales Concesión/ Ocupados	BW Utilizado (MHz)	SPAN (MHz)	BW Disponible (MHz)	Espectro Concesionado/ Utilizado	Espectro Disponible
Carigán	Carigán	3 / 2	12	34	22	52.94 % / 35.29 %	64.71 %
	Sauces Norte	3 / 2	12	34	22	52.94 % / 35.29 %	64.71 %
El Valle	Amable María	3 / 3	18	34	16	52.94 % / 52.94 %	47.06 %
	San Juan del Valle	3 / 3	18	34	16	52.94 % / 52.94 %	47.06 %
Sucre	Obrapía	3 / 2	12	34	22	52.94 % / 35.29 %	64.71 %
	El Pedestal	3 / 3	18	34	16	52.94 % / 52.94 %	47.06 %
	Turunuma	3 / 2	12	34	22	52.94 % / 35.29 %	64.71 %
El Sagrario	Barrio Central	3 / 3	18	34	16	52.94 % / 52.94 %	47.06 %
	Zamora Huayco	3 / 2	12	34	22	52.94 % / 35.29 %	64.71 %
Punzara	La Argelia	3 / 2	12	34	22	52.94 % / 35.29 %	64.71 %
	Daniel Alvarez	3 / 2	12	34	22	52.94 % / 35.29 %	64.71 %
San Sebastián	San Sebastián	3 / 3	18	34	16	52.94 % / 52.94 %	47.06 %

En la tabla 12 podemos observar los resultados obtenidos para el rango de frecuencias comprendido entre los 54 MHz a 88 MHz. Dentro de este rango existe una gran expectativa y posibilidades alentadoras del posible uso de los sistemas de radio cognitiva para cada una de las parroquias urbanas que conforman la ciudad de Loja. Si bien es cierto que este rango es una porción del espectro radioeléctrico que en teoría no presenta una elevada concesión de canales de televisión VHF para la ciudad de Loja, la cantidad de espectro disponible en este rango de frecuencias es evidente en la mayoría de las parroquias.

Por ejemplo, en la parroquia de Carigán, la cual es una de las parroquias más alejadas de las antenas de transmisión y por lo tanto la señal radioeléctrica que recepta es débil, el número de canales de televisión para este sector es de 2 de los 3 canales que están concesionados en la ciudad de Loja. Considerando que según la Regulación Nacional cada canal de televisión dispone de 6 MHz de ancho de banda, el total de ancho de banda concesionado que se encuentra utilizado en la sub banda para este sector sería de 12 MHz lo que representa un 35.29 % de espectro ocupado o que se encuentra en uso. De esta manera, en esta parroquia aproximadamente 22 MHz que representa el 64.71 % del ancho de banda total de la sub banda se encuentra disponible o simplemente subutilizado.

Por otro lado, pese a que todos los canales de televisión en la sub-banda de 54 MHz – 88 MHz concesionados para la ciudad de Loja se encuentran ocupados en las parroquias de El Valle, El Sagrario y San Sebastián, según los datos obtenidos por el equipo analizador de espectros, para esta zonas el total de ancho de banda concesionado que se encuentra utilizado sería de 18 MHz que representa el 52.94 % de uso, esto corresponde aproximadamente el 47.06 % del ancho de banda total de la sub banda subutilizado. Esto conlleva a tener un valor significativo de frecuencias disponibles para un posible uso de las redes CRN.

Así mismo, durante el tiempo de observación llevada a cabo en cada una de las parroquias no se detectó la desconexión de ningún canal de televisión considerando que las emisiones de señales radioeléctricas han sido efectuadas de manera continua dándose una presencia total de la misma.

4.4.2 Análisis Sub-Banda 2: FM (88 MHz – 108 MHz)

Tabla 13: Resultados de la ocupación espectral de la Sub-Banda 2.

SUB-BANDA 2: FM (88 MHz – 108 MHz)							
Parroquia	Barrio	Nº Emisoras Concesión/ Ocupadas	BW Utilizado (MHz)	SPAN (MHz)	BW Disponible (MHz)	Espectro Concesionado/ Ocupado	Espectro Disponible
Carigán	Carigán	33 / 29	5.8	20	14.2	33% / 29%	71 %
	Sauces Norte	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
El Valle	Amable María	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
	San Juan del Valle	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
Sucre	Obrapia	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
	El Pedestal	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
	Turunuma	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
El Sagrario	Barrio Central	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
	Zamora Huayco	33 / 29	5.8	20	14.2	33% / 29%	71 %
Punzara	La Argelia	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
	Daniel Alvarez	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %
San Sebastián	San Sebastián	33 / 30	6	20	14	33% / 30%	70 %

Como podemos apreciar en la tabla 13, para el rango de frecuencias comprendido entre los 88 MHz a 108 MHz, el mismo que conforme el Plan Nacional de Frecuencias este se encuentra designado para las emisiones de radio FM en toda la región, de acuerdo con los resultados obtenidos de la evaluación espectral prácticamente en todas las parroquias de la ciudad de Loja existe una correcta recepción de la señal radioeléctrica donde en promedio aproximadamente 30 de las 33 emisoras FM concesionadas en la ciudad de Loja el nivel de energía o la calidad de los servicios en buena.

Teniendo en cuenta que cada emisora de radio FM dispone de 200 KHz de ancho de banda para su difusión, y pese a que esta sub-banda del espectro radioeléctrico en teoría presenta una concesión moderada de emisoras de radio, el total de ancho de banda concesionado en uso para este rango de frecuencias sería de 6 MHz lo que representa un 30 % de uso, es decir, en la ciudad de Loja aproximadamente el 70 % del ancho de banda total de la sub-banda se encuentra subutilizado. Estos resultados pueden ser alentadores para una posible implementación de las redes CRN dentro de esta sub-banda de frecuencias.

4.4.3 Análisis Sub-Banda 3: VHF (174 MHz – 216 MHz)

Tabla 14: Resultados de la ocupación espectral de la Sub-Banda 3.

SUB-BANDA 3: VHF (174 MHz – 216 MHz)							
Parroquia	Barrio	N° Canales Concesión/ Ocupados	BW Utilizado (MHz)	SPAN (MHz)	BW Disponible (MHz)	Espectro Concesionado/ Utilizado	Espectro Disponible
Carigán	Carigán	4 / 3	18	42	24	57.15% / 42.85%	57.15 %
	Sauces Norte	4 / 3	18	42	24	57.15% / 42.85%	57.15 %
El Valle	Amable María	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
	San Juan del Valle	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
Sucre	Obrapía	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
	El Pedestal	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
	Turunuma	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
El Sagrario	Barrio Central	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
	Zamora Huayco	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
Punzara	La Argelia	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
	Daniel Alvarez	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %
San Sebastián	San Sebastián	4 / 4	24	42	18	57.15% / 57.15%	42.85 %

Dentro de este rango de frecuencias existe un total de cuatro canales de televisión VHF que mantienen una concesión en la ciudad de Loja, la misma que por obvias razones se encuentra privilegiado ante las radiaciones electromagnéticas en estas frecuencias.

En la tabla 14 podemos observar que los resultados obtenidos de la evaluación espectral llevados a cabo en la ciudad de Loja, muestran que existe una correcta recepción de la señal radioeléctrica de todas las emisoras de televisión que irradian en esta porción del espectro a excepción de la parroquia de Carigán la misma que debido a su ubicación geográfica solamente se puede percibir altos niveles de energía en tres de los cuatro canales concesionados, esto se debe a que las torres de transmisión de televisión conforman un factor predominante en la deficiente penetración de las señales de televisión.

Para el resto de parroquias, por ejemplo, la disponibilidad del espectro para estas zonas de una extensión de aproximadamente el 42.85 % del ancho de banda total de la sub-banda se encuentra subutilizada, por tanto la posibilidad de una implementación de redes de radio cognitivas también es latente, ya que de acuerdo a las especificaciones técnicas

de los sistemas de radio cognitiva en donde, el usuario monitorea el espectro de manera individual haciendo uso de técnicas de censado de los niveles de energía monitoreados, y conforme al umbral de decisión preestablecido se determina que la señal está presente si el nivel de energía se encuentra por encima de dicho umbral. Para algunos canales de televisión estos niveles de energía son percibidos como valores extremadamente bajos o mínimos, acciones posiblemente derivadas de la ubicación geográfica de las diferentes parroquias con respecto a las torres de transmisión de televisión.

4.4.4 Análisis Sub-Banda 4: UHF (512 MHz – 686 MHz)

Tabla 15: Resultados de la ocupación espectral de la Sub-Banda 4.

SUB-BANDA 4: UHF (512 MHz – 686 MHz)							
Parroquia	Barrio	N° Canales Concesión/Ocupados	BW Utilizado (MHz)	SPAN Sub-Banda (MHz)	BW Disponible (MHz)	Espectro Concesionado/ Utilizado	Espectro Disponible
Carigán	Carigán	8 / 6	16	174	138	27.59% / 20.69%	79.31 %
	Sauces Norte	8 / 5	30	174	144	27.59% / 17.25%	82.76 %
El Valle	Amable María	8 / 7	42	174	132	27.59% / 24.14%	75.86 %
	San Juan del Valle	8 / 7	42	174	132	27.59% / 24.14%	75.86 %
Sucre	Obrapia	8 / 7	42	174	132	27.59% / 24.14%	75.86 %
	El Pedestal	8 / 8	48	174	126	27.59% / 27.59%	72.41 %
	Turunuma	8 / 5	30	174	144	27.59% / 17.25%	82.76 %
El Sagrario	Barrio Central	8 / 8	48	174	126	27.59% / 27.59%	72.41 %
	Zamora Huayco	8 / 5	30	174	144	27.59% / 20.69%	79.31 %
Punzara	La Argelia	8 / 8	48	174	126	27.59% / 27.59%	72.41 %
	Daniel Alvarez	8 / 6	36	174	138	27.59% / 20.69%	79.31 %
San Sebastián	San Sebastián	8 / 7	42	174	132	27.59% / 24.14%	75.86 %

De conformidad con el Plan Nacional de Frecuencias (PNF), este rango de frecuencias se encuentra designado para el uso exclusivo de emisiones de televisión abierta UHF a excepción del rango de frecuencias comprendido entre los valores de 608 MHz hasta 614 MHz, el cuál ha sido dedicado para aplicaciones de radioastronomía.

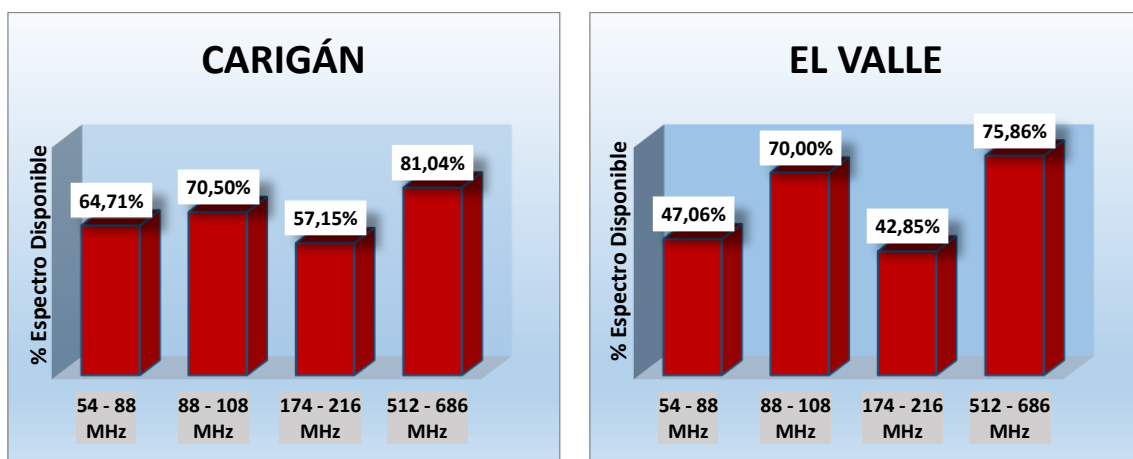
En la tabla 15 se puede observar que los porcentajes de ocupación espectral son bajos en casi la totalidad de las parroquias. De acuerdo a los resultados obtenido de la evaluación espectral realizada en las parroquias urbanas de Carigán, El Valle, Sucre, El

Sagrario, Punzara y San Sebastián, podemos darnos cuenta que pese a tener una buena recepción en la mayoría de los canales de televisión abierta UHF concesionadas para la ciudad de Loja, aún existe en promedio un ancho de banda de aproximadamente 132 MHz que se encuentra subutilizado lo cual equivale a tener un 75.86 %, del ancho de banda total de la sub-banda, que se encuentra disponible brindando amplias oportunidades para una futura implementación de sistemas de telecomunicaciones basadas en radios cognitivas.

Además, se deberá tener presente que pese a las posibles oportunidades de la implementación de las redes CRN dentro de esta sub banda, los problemas de comunicación causados por interferencias de un canal adyacente deberán ser considerados durante un proceso de implementación de estas tecnologías ya que pueden verse perjudicadas al momento de su funcionamiento.

4.5 Factibilidad Técnica para la implementación de CRN's en la ciudad de Loja

En el presente proyecto se ha evaluado y analizado el estado de la ocupación espectral, a partir de las medidas realizadas en las seis parroquias urbanas que conforman la ciudad de Loja, con el objetivo de determinar la factibilidad de utilizar nuevas tecnologías que utilicen de una manera más eficiente el espectro disponible dentro de la ciudad como por ejemplo las Radios Cognitivas. A continuación se muestran los resultados de porcentaje promedio obtenidos de la evaluación espectral de cada una de las sub bandas de estudio.



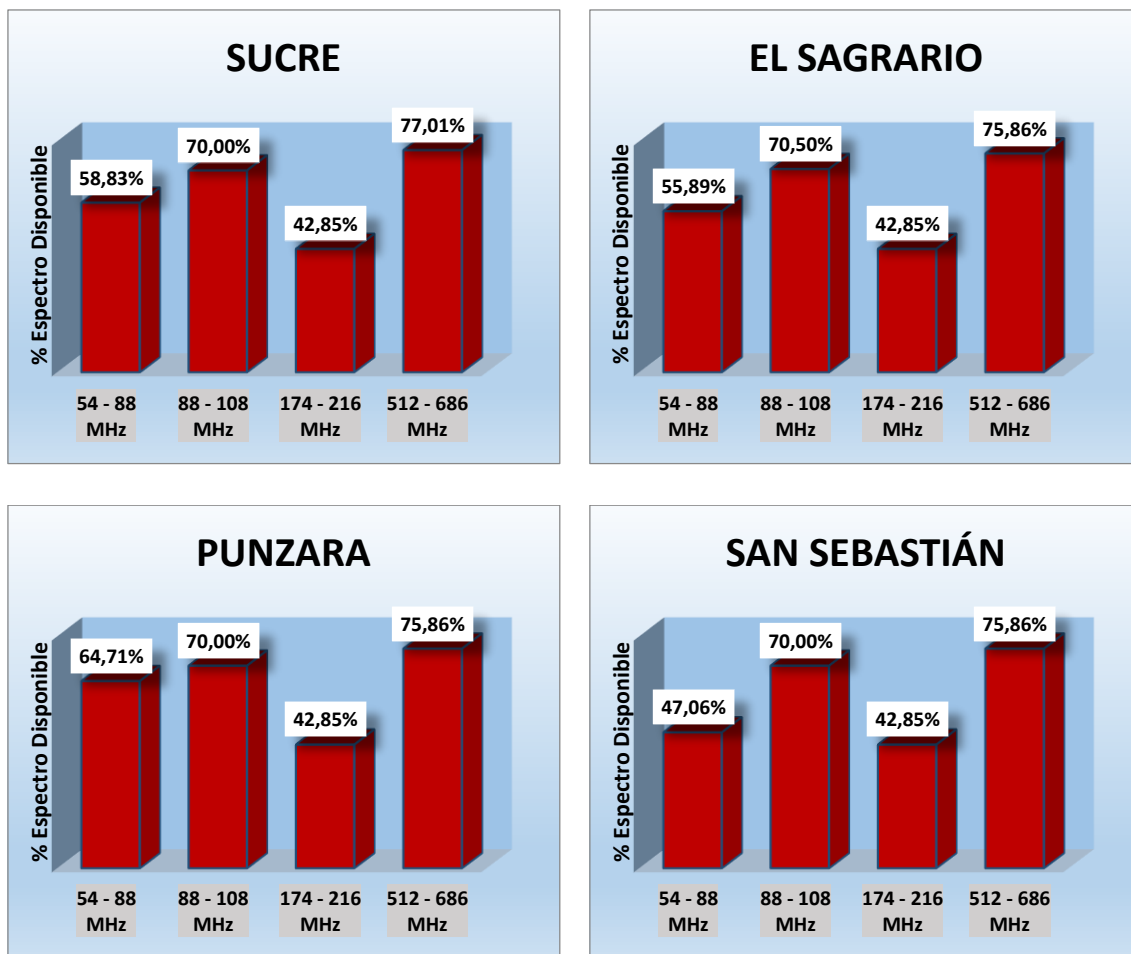


Figura 72: Porcentaje de espectro disponible en cada sub banda de estudio para cada parroquia de la ciudad de Loja.

Los datos presentados en las figuras anteriores representan la cantidad en MHz y su porcentaje en base al ancho de banda disponible en cada parroquia. En general, estos datos dan una idea más clara de cuáles son las sub bandas de frecuencias más saturadas y en qué zonas de la ciudad de Loja se encuentran.

A simple vista se puede apreciar que existe una disponibilidad de frecuencias en todas las sub bandas ya que el menor porcentaje de disponibilidad que se muestra en las gráficas anteriores es del 42,85% para el rango de frecuencias VHF (174 MHz – 216 MHz), lo cual representa un valor considerable para el posible despliegue de sistemas cognitivos. Sin embargo, pese a que en la mayoría de sub bandas evaluadas gran parte de las frecuencias concesionadas en ciudad de Loja se encuentran ocupadas, en los resultados obtenidos de la evaluación espectral todavía se observa una gran presencia de espectro subutilizado, en sí esto se debe principalmente a la mala distribución de frecuencias asignadas a los distintos servicios de telecomunicaciones.

En la tabla 16 se muestran los datos promediados correspondientes a los valores de frecuencia que se encuentran utilizados dentro de la ciudad de Loja, así como el ancho de banda total que se encuentra subutilizado o disponible dentro del rango de frecuencias comprendido entre los 54 MHz a 686 MHz.

Tabla 16: Disponibilidad de espectro en la ciudad de Loja.

Valores Promedio para la Ciudad de Loja		
	Ancho de Banda Ocupado Aprox.	Ancho de Banda Disponible Aprox.
Sub-Banda VHF (54-88MHz)	14,5 MHz	19,5 MHz
Sub-Banda FM (88-108MHz)	6 MHz	14 MHz
Sub-Banda VHF (174-216MHz)	23 MHz	19 MHz
Sub-Banda UHF (512-686MHz)	39,5 MHz	134,5 MHz
TOTAL	83 MHz	187 MHz

De acuerdo a los valores promedio obtenidos a partir de la campaña de medidas llevadas a cabo en la ciudad de Loja, se puede considerar que el total de los espacios frecuenciales del rango evaluado que pueden ser tentativamente utilizados corresponde a un ancho de banda de aproximadamente **187 MHz**, lo cual corresponde a un 69.3 % de espectro disponible del total de ancho de banda monitoreado. Sin embargo, las oportunidades de espectro más convenientes para hacer uso de tecnologías de acceso dinámico se encuentran claramente en la sub-banda UHF, la cual presenta una mayor disponibilidad espectral con aproximadamente un total de 134.5 MHz de ancho de banda disponible para una posible implementación de estas redes cognitivas.

Entre las posibles aplicaciones que podemos mencionar para reutilizar las frecuencias disponibles dentro de esta sub banda, y teniendo en cuenta que dentro de la banda UHF también operan los diferentes organismos como son la Cruz Roja, Bomberos y Defensa Civil, estas frecuencias pueden llegar a ser apropiadas para la utilización de redes de radio cognitiva exclusivamente para situaciones de emergencia, de manera que de darse el caso de que las frecuencias de las que disponen estos organismos no sean suficientes, es posible acceder dinámicamente a otras frecuencias desocupadas dentro de esta misma banda. De tal modo que se apunta hacia la interoperabilidad con los actuales sistemas de radio de los principales organismos de rescate dentro de la ciudad de Loja.

La implementación de Redes de Radio Cognitiva (CRN's), tecnología emergente que presenta características innovadoras en su manera de transmisión, técnicamente puede ser factible su utilización, despliegue y aprovechamiento en la ciudad de Loja, mejorando de esta manera la eficiencia de las comunicaciones vía radio.

4.6 Análisis de los resultados en función del estándar IEEE 802.22 WRAN

Como se mencionó en el primer capítulo, el estándar IEEE 802.22 es una de las pocas normas que establece un uso particular a las redes de radio cognitiva (CRN's). En esta norma se describe la capa física (PHY) y de acceso al medio (MAC) de una red inalámbrica de área regional, la cual es utilizada en los canales que se encuentran disponibles o desocupados de televisión analógica dentro de las bandas VHF/UHF.

De acuerdo al estándar IEEE 802.22 WRAN, para poder considerar que un canal se encuentra desocupado, la norma establece que todos los dispositivos deberán ser capaces de detectar:

- La señales de TV analógicas de al menos -94 dBm de energía o potencia.
- La señales TV digitales (TDT) de al menos -116 dBm de energía o potencia.

En el presente trabajo únicamente se consideró un umbral de -94 dBm, ya que actualmente no existen emisiones de TV digital a nivel regional. A partir de este umbral de decision se logró determinar cuándo un canal está ocupado o por el contrario se encuentra disponible. Los resultados obtenidos de la evaluación espectral en las diferentes sub bandas monitoreadas dentro de la ciudad Loja, muestran que aproximadamente un 70% de la porción del espectro evaluado se encuentra disponible. Estos valores representan técnicamente una posibilidad alentadora para el despliegue de sistemas de radio basados en el estándar IEEE 802.22 WRAN.

El objetivo de la implantación de redes de área regional (WRAN) sobre el espectro asignado por licencia al servicio de TV analógica, se debe principalmente a las óptimas características de propagación a estas frecuencias, en las cuales se proyectan alcances de hasta 100 km y con una velocidad de transmisión de datos de entre 18 Mbps y 24 Mbps. Además, teniendo en cuenta que el uso principal de este estándar está en la prestación de servicios de banda ancha en lugares de baja densidad de población, las parroquias de la ciudad de Loja resultarían muy atractivas para la implementación de esta tecnología.

g.- DISCUSIÓN

Si bien es cierto, son varias las áreas de investigación que se encuentran relacionadas a las redes de radio cognitiva, sin embargo en el presente trabajo se pretende determinar la ocupación actual del espectro radioeléctrico en las bandas VHF/UHF dentro de la ciudad de Loja con la finalidad de poder conocer la cantidad de frecuencias disponibles y su ubicación dentro del espectro, lo cual nos permita determinar la posibilidad de una futura implementación de sistemas cognitivos aprovechando estos huecos en frecuencia o también denominados como White Spaces.

En los resultados obtenidos de la evaluación espectral realizada en las seis parroquias urbanas de la ciudad de Loja, se muestra como se encuentra la situación del espectro radioeléctrico en la banda de televisión VHF/UHF y radio FM. En estos resultados se observa claramente que existe una gran disponibilidad del espectro radioeléctrico dentro de las bandas evaluadas, confirmando de esta manera que técnicamente resulta factible la implementación de sistemas basados en radios cognitivas dentro de la ciudad de Loja, aprovechando de esta manera la cantidad de frecuencias que se encuentran disponibles dentro de la misma, dada principalmente por su uso ineficiente y una mala distribución por parte de las políticas de asignación de frecuencias a los diferentes servicios de telecomunicaciones prestados en las sub bandas evaluadas en el presente trabajo.

Este impulso que se empieza a tener hacia los sistemas basados en la radio cognitiva, ha despertado un interés a nivel mundial por el uso de estas tecnologías, lo que hará cada vez más frecuente la implementación de sistemas inteligentes que estén diseñados principalmente para facilitar la convivencia de sistemas de un mismo rango de frecuencias. Dentro de los primeros sistemas basados en la radio cognitiva que se han venido desarrollando en los últimos años, se podría mencionar el estándar IEEE 802.16h el mismo que está orientado a mejorar la coexistencia de las redes WiMAX con otros sistemas inalámbricos, el objetivo principal de este estándar el de dotar a las redes WiMAX de la capacidad de poder compartir la banda espectral entre distintas redes, identificar y evitar la interferencia entre sistemas y de esta manera coexistir con usuarios primarios. Por otro lado, también se encuentran las redes inalámbricas de área regional (WRAN), las mismas que están orientadas al uso del espectro disponible en las bandas VHF/UHF debido principalmente a sus condiciones favorables de propagación.

Las frecuencias de uso exclusivo para un determinado sistema de telecomunicaciones se encuentran asignadas de forma consecutiva, por ejemplo existe la banda para el servicio de radio FM, televisión, sistemas de radioayudas, telefonía móvil, sistemas aeronáuticos, etc. Cada uno de estos sistemas presenta una característica que se diferencia una de la otra. Por ejemplo, las bandas utilizadas para el servicio telefonía móvil presentan un comportamiento dinámico y en ellas se transmite de forma discontinua. En cambio, en la banda de televisión resulta muy interesante su estudio para la posible implementación de redes de radio cognitiva debido a sus características físicas y su uso estático a nivel local, lo que permite que se facilite la convivencia entre estos sistemas.

En general, la implementación de sistemas basados en la radio cognitiva, como tecnología emergente, plantea interesantes aplicaciones desde el punto de vista técnico. Por ejemplo, teniendo en cuenta que dentro de la banda UHF también operan diferentes organismos como son la Cruz Roja, Bomberos y Defensa Civil, estas frecuencias disponibles pueden llegar a ser apropiadas para la utilización de redes de radio cognitiva exclusivamente para situaciones de emergencia, de tal modo que estos sistemas puedan brindar comunicaciones seguras, sin fallas y accesibles en cualquier momento y lugar, con la máxima interoperabilidad y adaptación.

Además, teniendo en cuenta que el presente trabajo llevado a cabo en la ciudad de Loja se centró en la identificación de White Spaces disponibles en la banda VHF/UHF, específicamente dentro de las frecuencias asignadas para la transmisión de TV analógica y radio FM, como una alternativa para un trabajo futuro o una posible continuidad del presente trabajo, se plantea realizar una investigación de la situación espectral en un rango de frecuencia mucho más amplio y posteriormente un estudio técnico para lo que representaría el despliegue de sistemas basados en la radio cognitiva, así como su infraestructura y la ubicación de estos sistemas de transmisión.

h.- CONCLUSIONES

Una vez realizada la identificación de lo White Spaces dentro de la banda de televisión VHF/UHF y radio FM, conforme a los resultados obtenidos se presentan las siguientes conclusiones:

- La proliferación de sistemas inalámbricos que se viene experimentando en los últimos años, y la necesidad de una convivencia en armonía de todos estos sistemas, han llevado a poner en duda el modelo regulatorio de la utilización del espectro radioeléctrico, dejando como consecuencia la escasez de frecuencias disponibles para la implementación de nuevos sistemas inalámbricos.
- Las tecnologías de radio cognitiva surgen como una solución clave para lidiar con el actual problema de la escasez espectral, mediante el acceso dinámico al espectro. La explotación de las oportunidades de reutilización del espectro radioeléctrico constituye la función básica y la característica más distintiva de la radio cognitiva, permitiendo de esta forma que los usuarios cognitivos puedan reutilizar el espectro no utilizado sin interferir con los usuarios legítimos.
- El impulso hacia los sistemas basados en la radio cognitiva, ha despertado un interés a nivel mundial por el uso de estas tecnologías, lo que hará cada vez más frecuente la implementación de sistemas inteligentes que estén diseñados principalmente para facilitar la convivencia de sistemas de un mismo rango de frecuencias.
- Los resultados obtenidos de la evaluación espectral realizados en la banda de frecuencias comprendida entre los 54-686MHz en los diferentes lugares de medida llevados a cabo en ciudad de Loja, demuestran que dentro del espectro que se encuentra asignado a los canales de televisión existen canales disponibles. El valor promedio el ancho de banda de espectro disponible en la ciudad de Loja es de 186 MHz, lo cual representa aproximadamente el 70 % del total de la banda de frecuencias que ha sido evaluada. Por tanto, con estos datos obtenidos de la campaña de medidas, técnicamente se puede concluir que

resulta factible la implementación de redes de radio cognitiva dentro de la ciudad de Loja.

- La banda UHF de televisión es una candidata interesante para el empleo de esta tecnología, dado que es una de las bandas evaluadas en la cual existe una importante presencia de white spaces, con un valor promedio de 134.5 MHz de ancho de banda que se encuentra disponible dando cavidad al despliegue de un sistema basado en el estándar IEEE 802.22, como es la implantación de Redes Inalámbricas de Área Regional (WRAN) brindando velocidades de comunicación de hasta 1.5 Mbps en downlink y de hasta 384 Kbps en uplink principalmente es áreas rurales y remotas.
- La implementación de la radio cognitiva, como tecnología emergente, plantea interesantes aplicaciones desde el punto de vista técnico. Por ejemplo, teniendo en cuenta que dentro de la banda UHF también operan diferentes organismos como son la Cruz Roja, Bomberos y Defensa Civil, estas frecuencias disponibles pueden llegar a ser apropiadas para la utilización de redes de radio cognitiva exclusivamente para situaciones de emergencia, de tal modo que estos sistemas puedan brindar comunicaciones seguras, sin fallas y accesibles en cualquier momento y lugar, con la máxima interoperabilidad y adaptación.

i.- RECOMENDACIONES

Durante la realización del presente proyecto se han establecido algunas recomendaciones para llevar a cabo estudios similares:

- Para llevar a cabo el presente trabajo, es necesario conocer cómo se encuentran distribuidas las frecuencias que prestan los diferentes servicios dentro de la región donde se realiza la evaluación espectral. Así como el número de canales de televisión VHF/UHF y emisoras de radio FM, que se encuentran concesionados dentro de la ciudad.
- En cuanto a la configuración de los parámetros del equipo principal de medición, es decir, el analizador de espectros, hay que estar seguros de conocer el funcionamiento correcto de dicho equipo, descargar o consultar todos los datos del mismo, ya que estas configuraciones son importantes a la hora de realizar las mediciones del espectro.
- Con lo que respecta al tiempo de monitoreo del espectro, es recomendable establecer un horario que nos permita receptar la mayor cantidad posible de señales radioeléctricas emitidas por las diferentes emisoras, con la finalidad de identificar los huecos espectrales o White Spaces incluso en los momentos más críticos del espectro.
- Para estudios similares es importante tener en cuenta que para obtener una mayor exactitud en los datos obtenidos se deberán realizar mediciones en cada uno de los puntos con las muestras suficientes de acuerdo a su ubicación geográfica, así como las necesidades frente a los sistemas de telecomunicaciones en cada poblado.
- El presente estudio se centró en la identificación de White Spaces disponibles en la banda VHF/UHF, específicamente dentro de las frecuencias asignadas para la transmisión de TV y radio FM. Por tanto, como una alternativa para un trabajo futuro se recomienda realizar una investigación de la situación espectral en un rango de frecuencia mucho más amplio y posteriormente un estudio técnico para el despliegue de sistemas basados en la radio cognitiva, así como su infraestructura y la ubicación de estos sistemas de transmisión.

j.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Grupo de Investigación de Comunicaciones Móviles, Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la UPC, junio 2014. [En línea]. Available: <http://www.grcm.tsc.upc.edu/?q=es>. [Último acceso: 12 febrero 2015].
- [2] FCC, «Spectrum Policy Task Force Report,» Noviembre 2003. [En línea]. Available: https://apps.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/DOC-228542A1.pdf. [Último acceso: 23 Marzo 2015].
- [3] J. H. Aguilar y A. Navarro, «Radio cognitiva – Estado del arte,» *Revista Sistemas y Telemática*, vol. IX, nº 16, pp. 31-53, 2011.
- [4] D. A. S. Briones, «Análisis de factibilidad para la utilización de Cognitive Radio en las radiocomunicaciones necesarias para casos de emergencia en el Ecuador,» Diciembre 2010. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2602/1/CD-3284.pdf>. [Último acceso: 12 Febrero 2015].
- [5] B. A. Fette, *Cognitive Radio Technology*, Burlington, USA: Editorial Academic Press, 2009.
- [6] S. M. Corbacho, «Análisis y caracterización de la ocupación espectral en entornos urbanos exteriores e interiores en el contexto de redes Cognitive Radio de acceso dinámico al espectro,» 23 julio 2009. [En línea]. Available: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/7614/Susana%20Molina%20Corbacho.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 20 febrero 2015].
- [7] M. H. Manilla, «Identificación de White Spaces en la banda de televisión para la futura implementación de redes de Radio Cognitiva,» Julio 2011. [En línea]. Available: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12749/Proyecto_Final_de_Carrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 24 Febrero 2015].
- [8] J. C. L. G., «Diseño e implementación de una metodología para representar White Spaces con una herramienta de Planificación de radiofrecuencia,» Marzo 2012. [En línea]. Available: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14820/Memoria.pdf;jsessionid=76CFE3D9875EC55C5E8703324DF3E2FE?sequence=1>. [Último acceso: 23 Febrero 2015].
- [9] W.-Y. L. M. C. V. Ian F. Akyildiz, «NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks,» 2 Mayo 2006. [En línea]. Available: <http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/surveys/radio.pdf>. [Último acceso: 5 Marzo 2015].
- [10] J. H. A. R. y A. N. Cadavid, «Radio Cognitiva- Estado del arte,» *Revista Sistemas y Telemática*, vol. IX, nº 16, pp. 31-53, 2011.

- [11] E. P. S. Chamba, «Análisis del estándar IEEE 802.22 (WRAN) y su posible implementación en Ecuador,» 24 Mayo 2006. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/287/1/CD-0253.pdf>. [Último acceso: 13 Marzo 2015].
- [12] K. C. y. D. B. Carlos Cordeiro, «IEEE 802.22: An Introduction to the First Wireless Standard based on Cognitive Radios,» *Journal of Communications*, vol. I, nº 1, pp. 38-47, 2006.
- [13] P. Jelínek, «El estándar IEEE-802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN),» [En línea]. Available: http://iba.dit.upm.es/w/images/7/7f/EI_estandar_IEEE-802.22.pdf. [Último acceso: 13 Marzo 2015].
- [14] A. L. Yáñez, *Gestión del espectro radioeléctrico en Ecuador*, Quito: Corporación Editora Nacional, 2013.
- [15] J. L. Ordoñez, «Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico,» 2010 Mayo. [En línea]. Available: http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf. [Último acceso: 15 Marzo 2015].
- [16] ARCOTEL, «Plan Nacional de Frecuencias,» 2012. [En línea]. Available: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf. [Último acceso: 13 Marzo 2015].
- [17] S. E. GARZÓN y C. P. CHANGOLUISA, «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CANAL DE TELEVISIÓN,» 2011 Marzo. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4513/1/T-ESPE-032712.pdf>. [Último acceso: 12 Abril 2015].
- [18] U. I. d. T. (UTI), «Reglamento de Radiocomunicaciones,» 2012. [En línea]. Available: http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/02/S02020000244501PDFS.pdf. [Último acceso: 12 Abril 2015].
- [19] ARCOTEL, «Resolución Norma Técnica de TV Analógica,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Proyecto-resoluci%C3%B3n-norma-tecnica-tv-analoga-final.pdf>. [Último acceso: 2 Mayo 2015].
- [20] ANRITSU, «Cell Master MT8212B User Guide,» [En línea]. Available: <http://downloadfile.anritsu.com/Files/en-US/Manuals/Users-Guide/10580-00089.pdf?f4739ea0f83b43ad1015d39278bcf8beb3bbbe80e7bb2da84aead9ecf3870566c49e457b37b883556bd22787b19918fd4bb3d047229826641d157c7e1f9b7fe273eab7bbab368246efde18e9eb671fa07bd8d5a8344b6b0>. [Último acceso: 15 Mayo 2015].
- [21] L. K. y. A. Anpalagan, *Emerging cognitive radio technology: Principles, challenges*, Toronto: Elsevier, 2009.

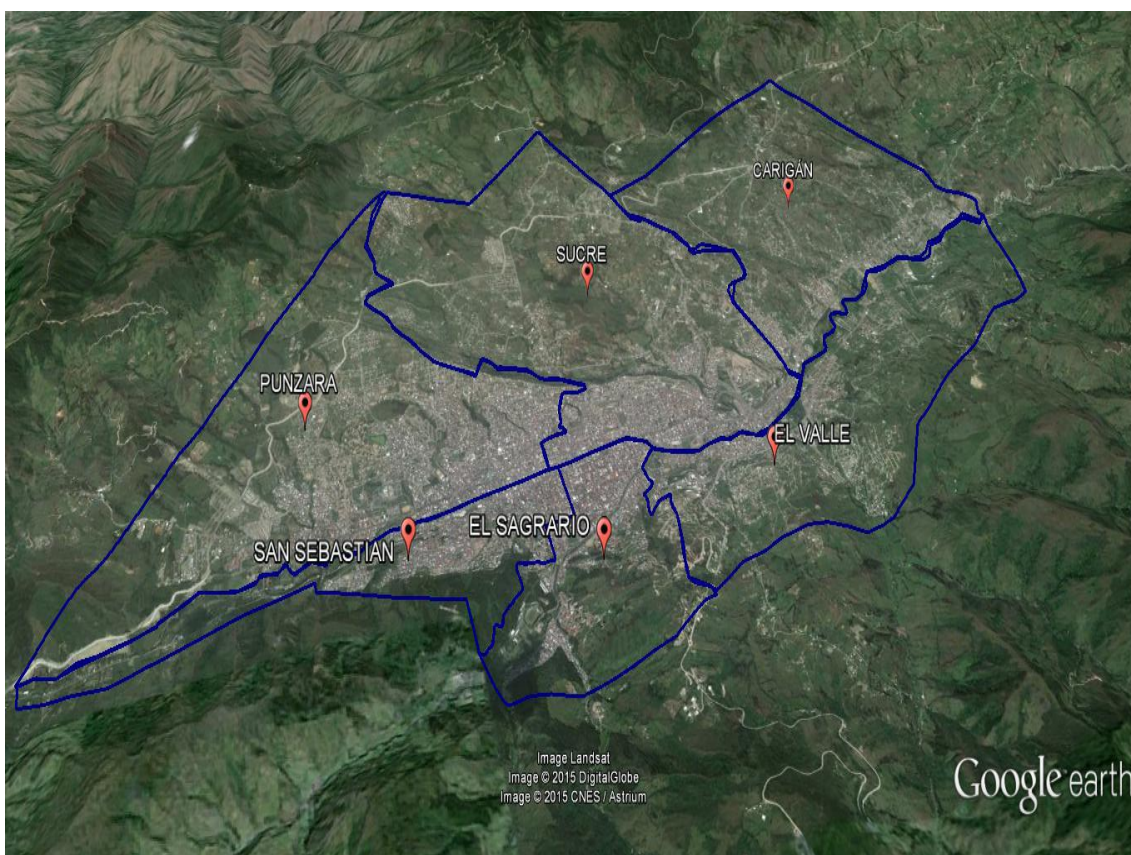
- [22] A. d. R. d. Telecomunicaciones, «Norma Técnica Para el Servicio de TV Analógica y Plan de Distribución de Canales,» [En línea]. Available: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Norma-Tecnica-de-Television-Analogica.pdf>. [Último acceso: 13 Abril 2015].

k.- ANEXOS

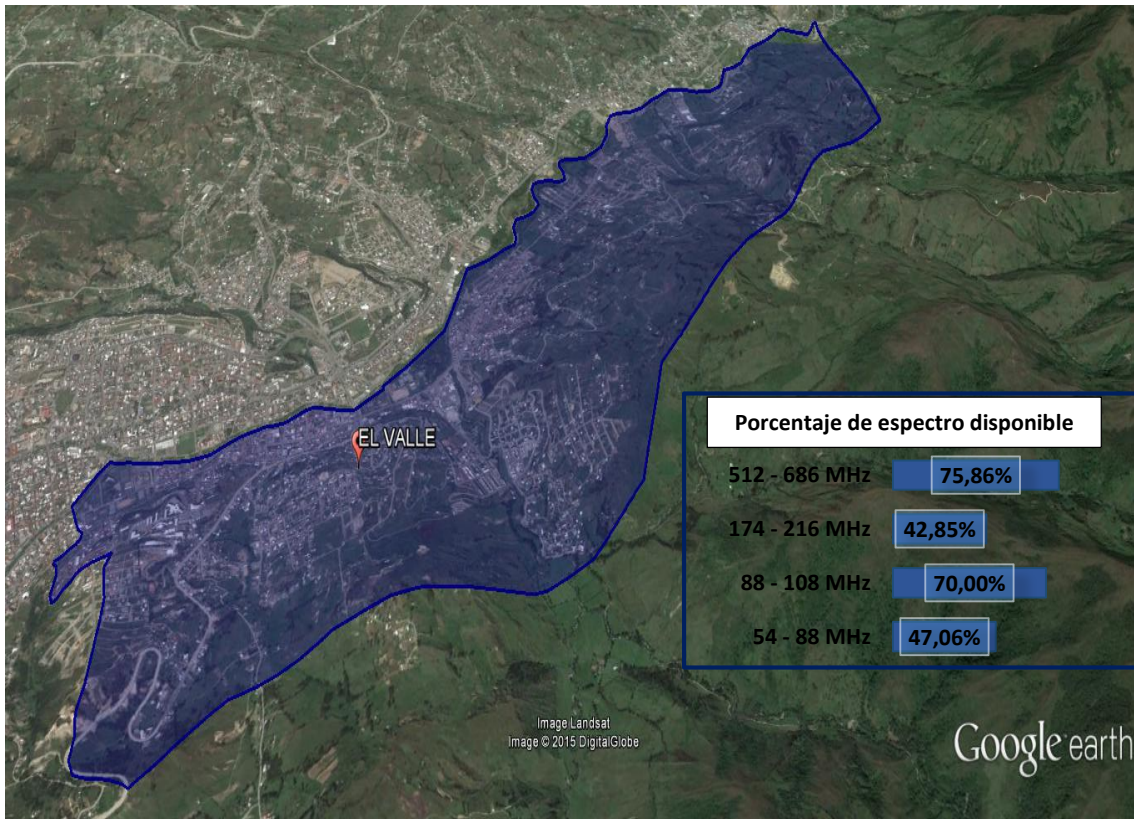
ANEXO A

MAPAS DE DISPONIBILIDAD ESPECTRAL.

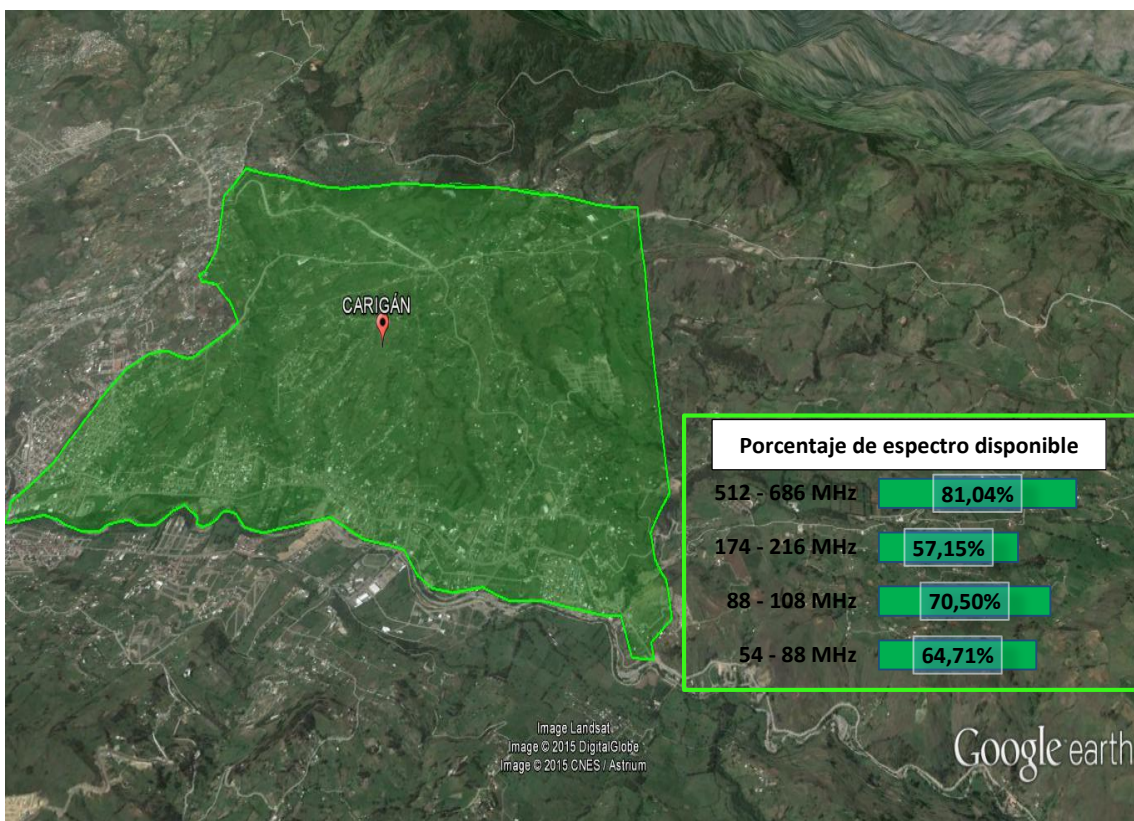
En las siguiente gráficas se presenta, en función de los resultados obtenidos de la campaña de mediciones, un mapa de visualización del estado espectral perteneciente al rango de estudio de 54 MHz a 686 MHz dentro de las parroquias urbanas que conformana la ciudad de Loja.



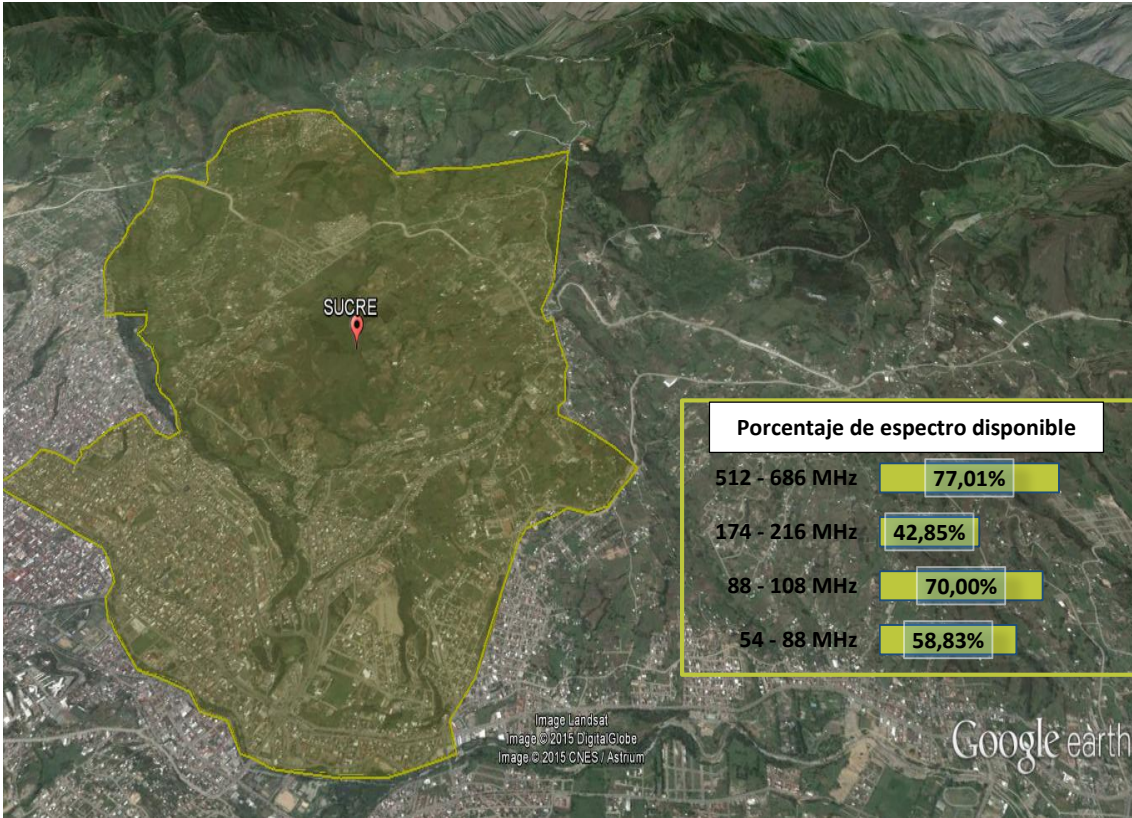
MAPA DE LA CIUDAD DE LOJA



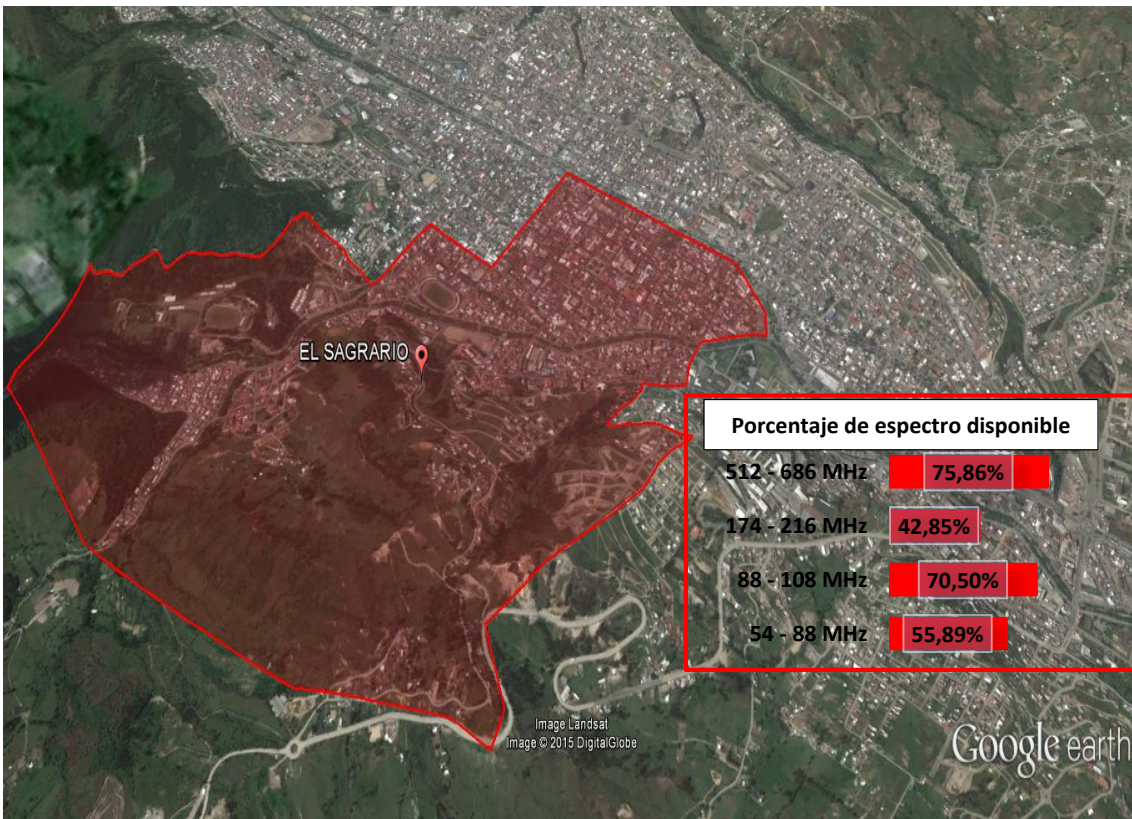
Parroquia: EL VALLE



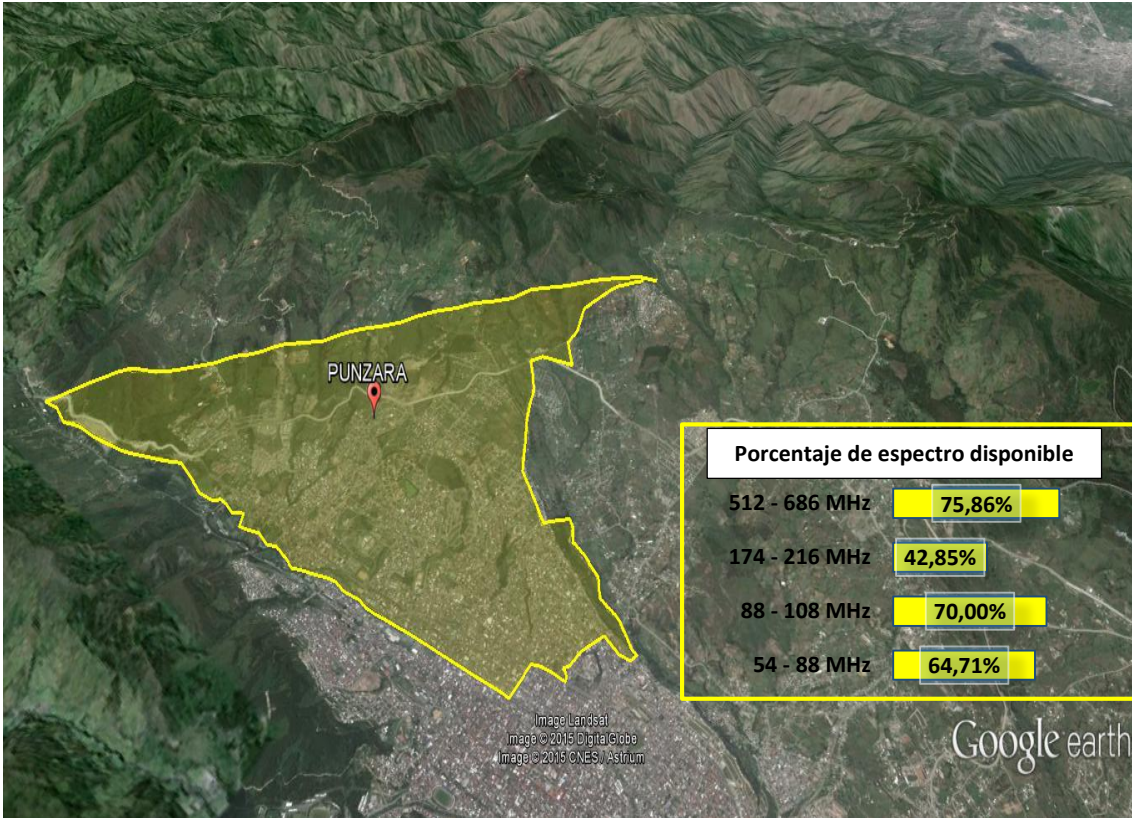
Parroquia: CARIGÁN



Parroquia: SUCRE



Parroquia: EL SAGRARIO



Parroquia: PUNZARA



Parroquia: SAN SEBASTIÁN

ANEXO B

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.

ANALIZADOR DE ESPECTROS ANRITSU MT8212B

HANDHELD MEASURING INSTRUMENTS
Anritsu

CELL MASTER
MT8212B
25 MHz to 4.0 GHz





Specifications¹

Cable and Antenna Analyzer

Frequency	Range	25 MHz to 4.0 GHz
	Accuracy	± 75 ppm @ +25°C
	Resolution	100 kHz
Output Power	< 0 dBm (-10 dBm nominal)	
Immunity to Interfering Signals	on-channel ²	+17 dBm
	on-frequency ³	-5 dBm
Measurement speed	≤ 3.5 msec / data point (CW ON)	
Number of data points	130, 259, 517	
Return Loss	Range	0.00 to 60.00 dB
	Resolution	0.01 dB
VSWR	Range	1.00 to 65.00
	Resolution	0.01
Cable Loss	Range	0.00 to 30.00 dB
	Resolution	0.01 dB
Measurement Accuracy	> 42 dB corrected directivity after calibration	
Distance-To-Fault	Vertical Range	Return Loss: 0.00 to 60.00 dB VSWR: 1.00 to 65.00
	Horizontal Range	Range: 0 to (# of data pts - 1) x Resolution to a maximum of 1197m (3929 ft), # of data pts = 130, 259, 517
	Horizontal Resolution (Rectangular windowing)	Resolution (meter) = $(1.5 \times 10^8) \times (Vp)DF$ Where Vp is the cable's relative propagation velocity and where DF is the stop frequency minus the start frequency (in Hz)

Spectrum Analyzer

Frequency	Range	100 kHz to 3.0 GHz
	Reference (Internal Timebase)	Aging: ± 1 ppm/yr Accuracy: ± 2 ppm
	Span	10 Hz to 2.99 GHz in 1, 2, 5 step selections in auto mode, plus zero span
	Sweep Time	≤ 1.1 sec full span; ≤ 50 μ sec to 20 sec zero span
	Resolution Bandwidth (-3 dB)	100 Hz to 1 MHz in 1-3 sequence $\pm 5\%$ Accuracy
	Video Bandwidth (-3 dB)	3 Hz to 1 MHz in 1-3 sequence $\pm 5\%$ Accuracy
	SSB Phase Noise (1 GHz) @ 30 kHz Offset	≤ -75 dBc/Hz
	Spurious Responses Input Related	≤ -45 dBc
Amplitude	Spurious Residual Responses	≤ -90 dBm, ≥ 10 MHz (10 kHz RBW, pre-amp on)
	Total Level Accuracy	± 1 dB typical (± 1.5 dB max), > 10 MHz to 3 GHz ± 2 dB typical < 10 MHz for input signal levels ≥ -80 dBm, excluding input VSWR mismatch
	Measurement Range	+20 dBm to -135 dBm
	Input Attenuator Range	0 to 51 dB, selected manually or automatically coupled to the reference level. Resolution in 1 dB steps.
	Displayed Average Noise Level	≤ -135 dBm, > 10 MHz (preamp on) ≤ -115 dBm (preamp off) for input terminated, 0 dB attenuation, RMS detection, 100 Hz RBW
	Dynamic Range	> 85 dB typical
	Display Range	1 to 15 dB/division, in 1 dB steps, 10 divisions displayed
	Scale Units	dBm, dBV, dBmV, dB μ V, V, W
RF Input VSWR	(with 20 dB atten.) 1.5:1 typical, (10 MHz to 2.4 GHz)	

Power Meter

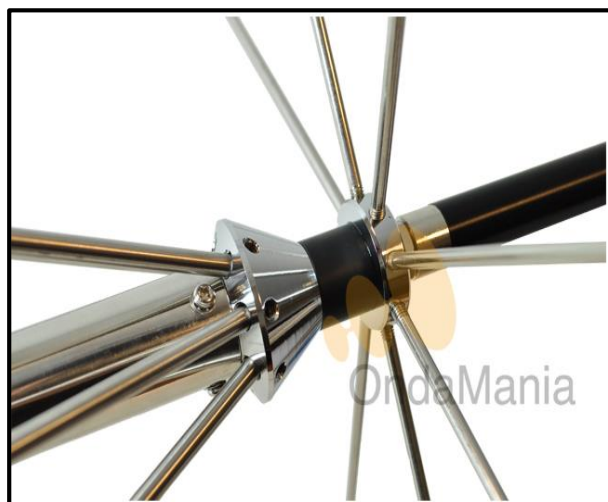
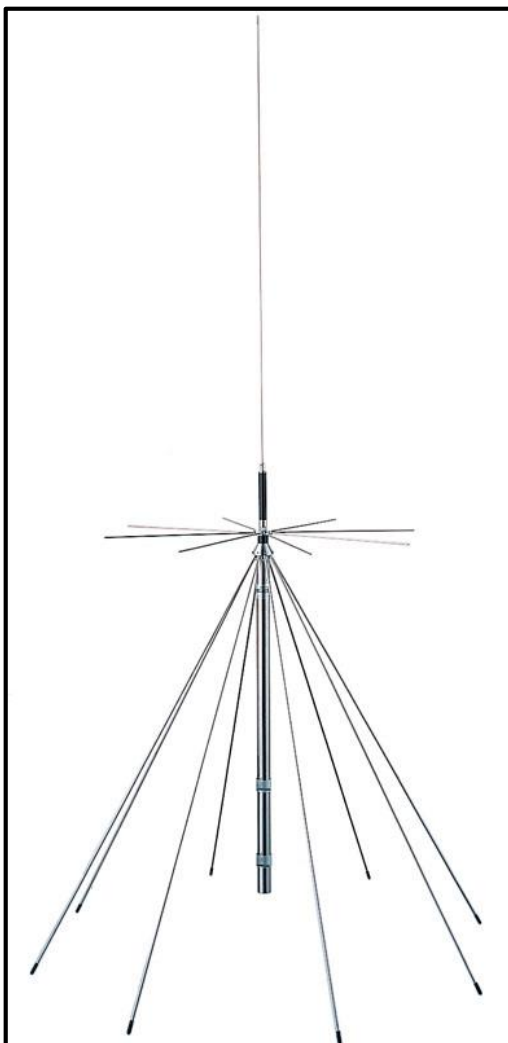

Frequency Range	4.5 MHz to 3.0 GHz
Display Range	-80 dBm to +80 dBm
Measurement Range	-80 dBm to +20 dBm (+80 dBm with external attenuator)
Offset Range	0 to +60 dB
Accuracy	± 1 dB typical (± 1.5 dB max), ≥ 10 MHz to 3 GHz (excludes input VSWR)
VSWR	1.5:1 typical ($P_{in} > -30$ dBm, > 10 MHz to 2.4 GHz)
Maximum Power	20 dBm (0.1W) without external attenuator

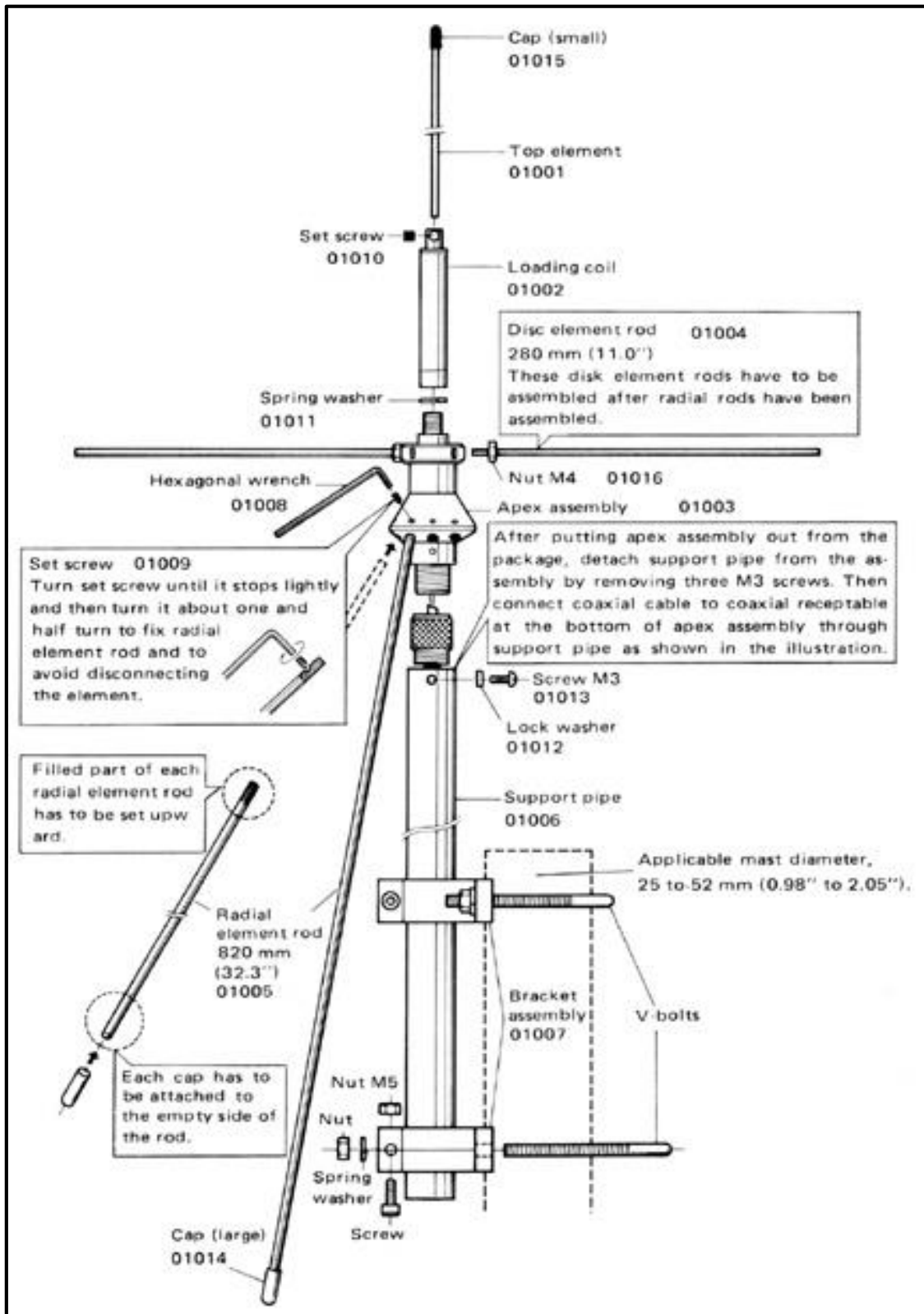
General

Language Support	English, Spanish, French, German, Chinese, Japanese	
Internal Trace Memory	Up to 200 traces	
Setup Configuration ⁴	25	
Display	TFT Color display, viewable in sunlight	
Input and Output Ports	RF Out Maximum Input without Damage	Type N, female, 50 Ω +20 dBm, ± 50 VDC
	RF In Maximum Input without Damage	Type N, female, 50 Ω +43 dBm (Peak), ± 50 VDC
	Ext. Trig In	BNC, female (5V TTL)
	Ext. Freq Ref In (2 to 20 MHz)	Shared BNC, female, 50 Ω , (-15 dBm to +10 dBm)
	T1/E1 (Receive & Transmit)	Bantam Jacks
	Serial Interface	RS-232 9 pin D-sub, three wire serial
	GPS antenna connector	Reverse BNC female
	CDMA Timing Input	BNC female (5V TTL)
Electromagnetic Compatibility	Meets European Community requirements for CE marking	
Safety	Conforms to EN 61010-1 for Class 1 portable equipment	
Temperature	Operating	-10°C to 50°C, humidity 85% or less
	Non-operating	-51°C to +71°C (recommend battery be stored separately between 0°C to +40°C for any prolonged non-operating storage period)
Power Supply	External DC Input	+12 to +15 VDC, 1500 mA
	Internal	NIMH battery: 10.8 volts, 1800 mA maximum
Dimensions	Size	25.4 cm x 17.8 cm x 6.1 cm (10.0 in x 7.0 in x 2.4 in)
	Weight	< 2.28 kg (< 5 lbs) includes battery

ANTENA DISCONO *DX-D130*

Antena Discono	
TX Frecuencia	TX 50 - 144 - 430 - 900 - 1200 Mhz
RX Frecuencia	RX 25 - 1300 Mhz
Potencia Max.	350W
Altura m.	1,70
Conector	N





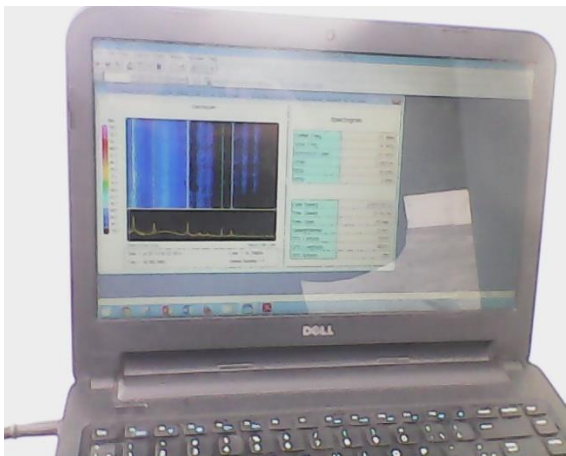
ANEXO C

INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN Y MONITOREO DEL ESPECTRO.

A continuación se muestran algunas fotografías realizadas durante la instalación de los equipos necesarios para la campaña de medidas, así como en el momento en el que se realizaba la evaluación espectral.







CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Lic. Luis Martínez.

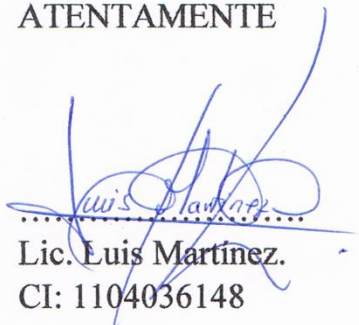
PROFESOR DE INGLÉS

CERTIFICO:

Por el presente tengo a bien certificar que, la traducción del idioma inglés del resumen de la tesis, ejecutada por el señor **EDISON DARÍO TROYA CHANTA** egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, la misma que versa como: **“IDENTIFICACIÓN DE WHITE SPACES EN LA BANDA VHF/UHF PARA LA FUTURA IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE RADIO COGNITIVA EN LA CIUDAD LOJA”**, fue realizada bajo mi supervisión y se encuentra correctamente traducida bajo la estructura del lenguaje inglés.

Es todo cuanto puedo decir en honor a la verdad. El interesado puede hacer uso de este certificado como mejor convenga a sus intereses.

ATENTAMENTE



Lic. Luis Martínez.
CI: 1104036148