

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE
EXPOSICIÓN DE ONDAS ELECTROMAGNÉTICA
UTILIZANDO EQUIPOS SDR DE BAJO COSTO (RADIO
DEFINIDA POR SOFTWARE) EN FRECUENCIAS
COMPRENDIDAS DE: (53 MHZ-1.1 GHZ) Y (1.25GHZ-
2.2 GHZ)”

EXAMEN DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

MAYRA LISETH MACÍAS CAPA

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, mis padres, Rosa Capa y José Macías, mi esposo Harry Gómez.

Gracias por su dedicación amor y ejemplo, por siempre estar apoyándome.

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mí amado esposo Harry, y a mis padres.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



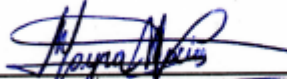
MSc. Alfredo Núñez
PROFESOR EVALUADOR

PhD. María Antonieta Álvarez.

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



MARIAS CASAMAYRA LISETH

RESUMEN

Este documento describe los detalles y resultados del análisis de una serie de mediciones del espectro radioeléctrico que se realizaron en Ecuador, Durán (Primavera 2) en el rango de (53 MHz-1.1 GHz) y (1.25GHz-2.2 GHz), que se realizaron entre el mes de agosto y septiembre de 2020. Las mediciones fueron realizadas con SDR de bajo costo y contrastada con un equipo comercial. El estudio muestra los diferentes servicios que en ella se brinda.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| AGRADECIMIENTOS | I |
| DEDICATORIA | II |
| TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN | III |
| DECLARACIÓN EXPRESA | IV |
| RESUMEN | |
| ÍNDICE GENERAL | VI |
| ÍNDICE DE FIGURAS | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS | X |
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. | 1 |
| 1.1. Descripción del Problema. | 1 |
| 1.2. Descripción de la Propuesta. | 1 |
| 1.3. Objetivos. | 2 |
| 1.3.1. Objetivo General. | 2 |
| 1.3.1. Objetivos Específicos. | 2 |
| 1.4. Resultados Esperados. | 2 |
| 1.5. Marco teórico. | 2 |
| 1.5.1. Espectro electromagnético. | 2 |
| 1.5.2. Telefonía celular. | 3 |
| 1.5.3. Bandas de frecuencias de telefonía móvil | 4 |
| 1.5.4. Radiodifusión Sonoras. | 5 |
| 1.5.5. Televisión. | 6 |

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 2 | 7 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO. | 7 |
| 2.1. Ubicación. | 7 |
| 2.2. Descripción del proceso de medición. | 7 |
| 2.3. Identificación de los rangos del espectro a medir. | 10 |
| 2.3.1. Banda de radio de las estaciones locales. | 10 |
| 2.3.2. Bandas de TV local. | 12 |
| 2.3.3. Telefonía celular. | 14 |
| CAPÍTULO 3..... | 17 |
| 3. Análisis de resultados. | 17 |
| 3.1. Captura de datos mediante SDR utilizando el programa de sdrsharp .17 | |
| 3.1.1. Radiodifusión sonora FM en sdrsharp. | 17 |
| 3.1.2. Televisión con Sdrsharp. | 20 |
| 3.2. Captura de datos mediante SDR utilizando el programa Matlab. | 21 |
| 3.2.1. Gráficas de Radiodifusión Sonora FM en Matlab. | 22 |
| 3.2.2. Gráficas de Televisión usando Matlab. | 24 |
| 3.2.3. Telefonía Móvil usando Matlab. | 33 |
| 3.3. Barrido de frecuencias en el intervalo de operación del SDR. | 36 |
| 3.4. Contraste de resultados obtenidos del SDR con equipo analizador de espectro EMF 390. | 38 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 41 |
| 4.1. Conclusiones | 41 |
| 4.2. Recomendaciones | 41 |
| BIBLIOGRAFÍA | 42 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Ancho de Banda concesionado (MHz) | 3 |
| Figura 1.2 Canalización y asignación de bandas de frecuencia en S.M.A | 5 |
| Figura 2.1 Ubicación del lugar de medición. | 7 |
| Figura 2.2 NooElec Model: rtl2832u + E4000. | 8 |
| Figura 2.3 Antena omnidireccional. | 8 |
| Figura 2.4 Laptop. | 9 |
| Figura 2.5 EMF 390..... | 9 |
| Figura 2.6 Número de estaciones concesionadas de Radiodifusión Sonora FM. | 10 |
| Figura 3.1 Canal 2 | 25 |
| Figura 3.2 Canal 4 | 26 |
| Figura 3.3 Canal 5 | 26 |
| Figura 3.4 Canal 7 | 27 |
| Figura 3.5 Canal 8 | 28 |
| Figura 3.6 Canal 10 | 28 |
| Figura 3.7 Canal 12 | 29 |
| Figura 3.8 Canal 28 | 30 |
| Figura 3.9 Canal 30 | 30 |
| Figura 3.10 Canal 32 | 31 |
| Figura 3.11 Canal 38 | 32 |
| Figura 3.12 Canal 42 | 32 |
| Figura 3.13 Banda 700 MHz | 33 |
| Figura 3.14 Banda 850 | 34 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.15 Banda 1900..... | 35 |
| Figura 3.16 Banda AWS | 36 |
| Figura 3.17 Gráfica de 53 MHz-1.1 GHz | 37 |
| Figura 3.18 Gráfica de 1.2 GHz-2.17GHz | 37 |
| Figura 3.19 Rango 50 MHz- 65 MHz | 38 |
| Figura 3.20 Rango 65 MHz- 76 MHz | 39 |
| Figura 3.21 Rango 76 MHz-108 MHz. | 39 |
| Figura 3.22 Rango 240 MHz-1040MHz. | 40 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Estaciones de radiodifusión sonora FM..... | 12 |
| Tabla 2 Canalización de las bandas de radiodifusión de TV abierta..... | 14 |
| Tabla 3 Rango de frecuencias 2G..... | 14 |
| Tabla 4 Rango de frecuencia 3G..... | 15 |
| Tabla 5 Frecuencias 4G | 16 |
| Tabla 6 Radiodifusión sonora FM en sdrsharp | 19 |
| Tabla 7 Televisión con Sdrsharp | 21 |
| Tabla 8 Gráfica de radiodifusión sonora en Matlab | 24 |

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. Descripción del Problema.

El conocimiento de las tecnologías utilizadas en las telecomunicaciones se vuelve un tema de mayor interés cada día, debido a la importancia que tienen en el diario vivir de la sociedad, lastimosamente el acceso a equipos que puedan percibir el despliegue de estas redes invisibles se vuelve complicado a nivel de las personas promedio que deben recurrir a entes de control o universidades para utilizar equipos de medición. Esto provoca que exista preocupación por personas de la comunidad quienes presentan un temor infundado debido al desconocimiento hacia los avances tecnológicos, además de ser una limitante para el desarrollo del conocimiento en el ámbito estudiantil.

La propagación mundial del coronavirus, además del incalculable costo social, ha impactado severamente a la economía global [1], ha ocasionado que algunos centros educativos no cuenten con los recursos necesarios para equipar laboratorios con equipos que permitan realizar mediciones RF, por lo que muchas estudiantes no tienen la oportunidad de observar y analizar señales de una manera práctica para lograr un mejor entendimiento.

El proceso de adaptación que provocó la pandemia de COVID19 que atravesó el mundo entero obligó a que se reforme la educación y el método de enseñanza se dio de una manera virtual [2], sin equipos para corroborar los conocimientos teóricos con los prácticos desde sus hogares.

1.2. Descripción de la Propuesta.

Se implementará un procedimiento de medición de señal RF no ionizantes con equipos de bajo costo mediante Radio Definido por Software que permitirá capturar mediciones de potencia espectral en un intervalo de frecuencias de (53 MHz-1.1 GHz) y (1.25Ghz-2.2 GHz), donde trabaja banda de radio FM de

las estaciones locales, televisión y telefonía móvil de diferentes generaciones, entre otros.

Para el procesamiento de estos datos se hará uso del software Matlab y de sdrsharp utilizando los datos previamente obtenidos por el SDR.

Posterior a esto se procederá a realizar comparaciones de las mediciones obtenidas por SDR con equipo analizador de espectro EMF 390.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Medir y analizar señales RF utilizando equipos SDR de bajo costo(Radio definida por software).

1.3.1. Objetivos Específicos.

- Realizar mediciones a través de un SDR en frecuencias comprendidas entre:
(53 MHz-1.1 GHz) y (1.25GHz-2.2 GHz).
- Contrastar resultados obtenidos del SDR con equipo analizador de espectro EMF-390.

1.4. Resultados Esperados.

Al finalizar el proyecto se espera obtener la implementación de un procedimiento práctico y eficiente de medición de señales RF no ionizantes con equipos de bajo costo que permitan realizar mediciones mediante Radio definido por Software, con el fin de conocer los niveles de potencia en diferentes bandas.

1.5. Marco teórico.

1.5.1. Espectro electromagnético.

El espectro electromagnético se conoce como la distribución energética de un grupo de ondas electromagnéticas.

El estado es el encargado de una adecuada gestión, lo que implica que solo puede ser administrado y explotado por él mediante el tiempo establecido, como lo indica la ley Nacional de Telecomunicaciones. [3]

La entidad encargada en el Ecuador de la regulación, control, administración del espectro radioeléctrico es la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). [4]

En situaciones cotidianas como sintonizar una emisora de radio, un canal de tv o realizar una llamada se está utilizando energía electromagnética.

Dentro del rango de (53 MHz-1.1 GHz) y (1.25GHz-2.2 GHz) se encontró en el plan de frecuencias del Ecuador algunas concesiones como:

Fijo, móvil, radiodifusión, radio astronomía, radionavegación aeronáutica, móvil aeronáutico, operaciones espaciales, meteorología por satélites, investigación espacial, móvil por satélites, radiolocalización, aficionados, aficionados por satélites, móvil marítimo, radioastronomía. [5]

1.5.2. Telefonía celular.

La telefonía móvil ha ido evolucionando muy rápidamente debido a su gran aceptación y requerimiento de los usuarios.

El ancho de banda concesionado por las operadoras: Conecel, Otecel, y Cnt es el que muestra en la *Figura 1.1* [6]

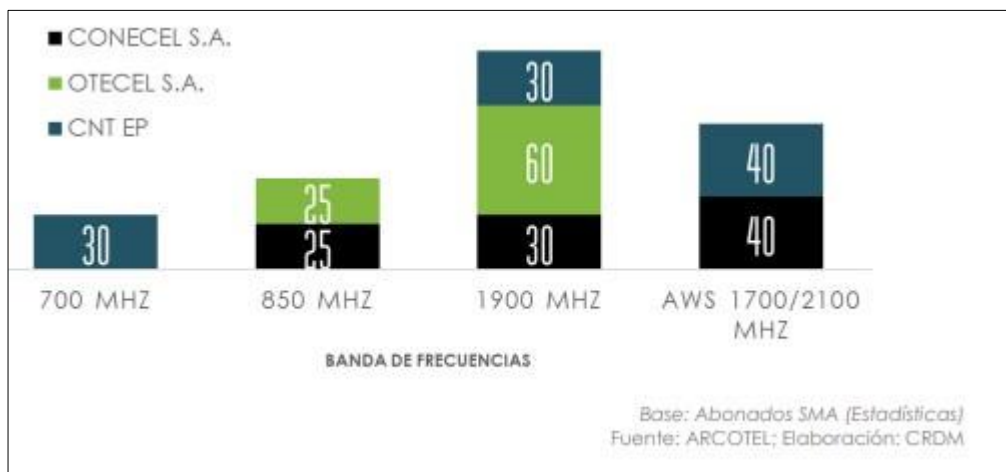


Figura 1.1 Ancho de Banda concesionado (MHz)

Telefonía móvil 2G GSM (850 MHz- 1900MHz).

La segunda generación fue estrenada bajo el nombre de Sistema Global para comunicaciones Móviles o GSM con velocidades de 9.6kbps a 14.4kbps, en 1997 el sistema de radio por paquetes (GPRS) alcanzó velocidades de 171Kbps, en el 2000 con velocidades mejoradas para la evolución de GSM (EDGE) alcanzó velocidades de 474 kbps. [7]

Telefonía móvil 3G UMTS (850 MHz-1900 MHz).

La generación 3G está conformada por las tecnologías: Sistema universal de telecomunicaciones móviles (UMTS); En el 2003 W-CDMA con velocidades de 2 Mbps, en el 2006 el acceso de paquetes a alta velocidad (HSDPA) con velocidades de hasta 14 Mbps, en el 2009 HSDPA alcanzó velocidades de hasta 42 Mbps, con un ancho de banda de 5 MHz.

Telefonía móvil 4G LTE.

La generación 4G, lte responde a las siglas Long Term Evolution, posee un ancho de banda de 30MHZ en 700MHz y 40MHz en 2100MHz, alcanza velocidades teóricas hasta de: 326.4 Mbps.

1.5.3. Bandas de frecuencias de telefonía móvil

En Ecuador las bandas en la que se brinda telefonía celular Otecel, Conecel y Cnt son las que se muestra en la *Figura 1.2* [6]

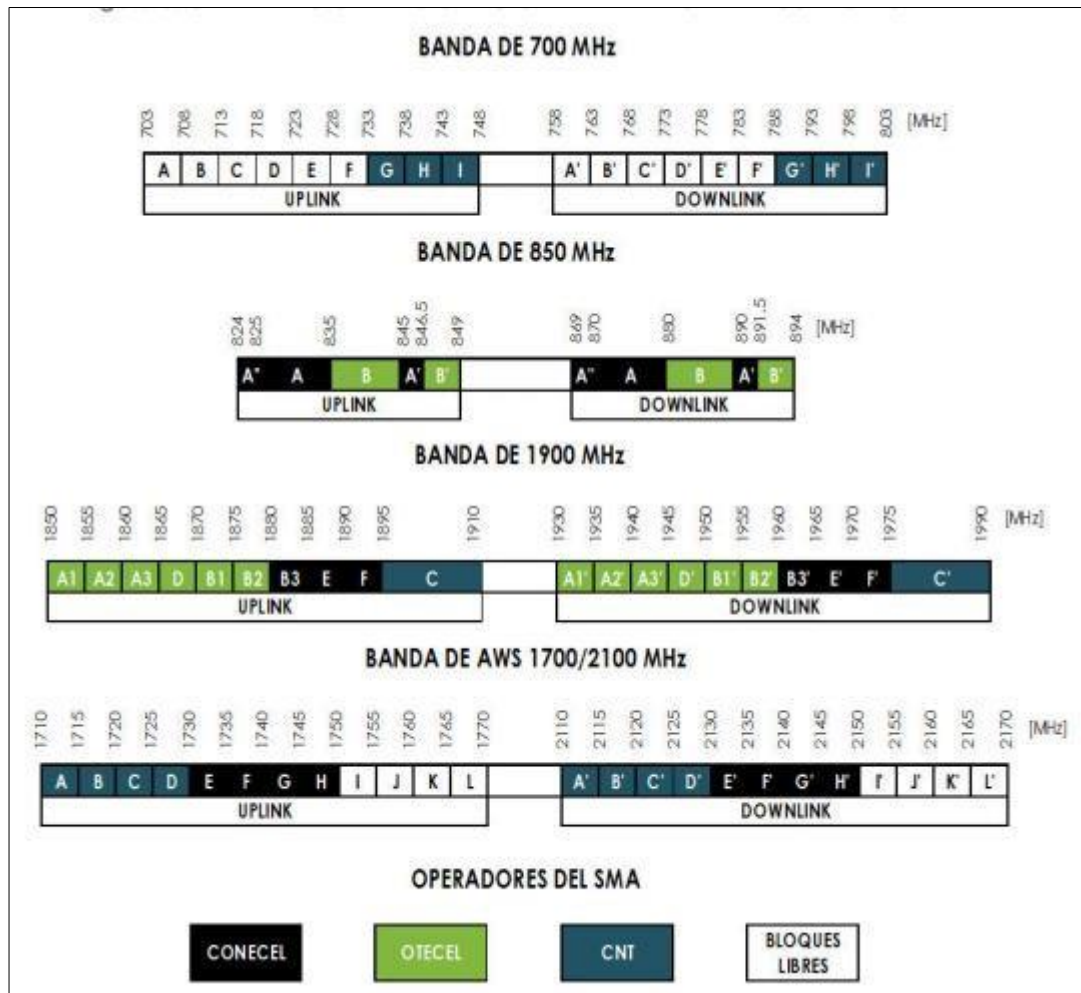


Figura 1.2 Canalización y asignación de bandas de frecuencia en S.M.A

1.5.4. Radiodifusión Sonoras.

La radiodifusión sonora permite la difusión de programación de audio a distancia y son autorizadas y controladas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (Arcotel). [4]

El primer método de transmisión por radio fue la modulación en amplitud AM, se basa en variar la amplitud de onda portadora en función de la onda moduladora, dando como resultado una onda modulada, su canalización es de 20Khz y posee un ancho de banda de 10 KHz. [8]

La modulación en frecuencia FM, combina una señal de audio frecuencia con una de radiofrecuencia en el rango de frecuencia de 88 MHz a 108 MHz. Los ruidos e interferencias no afectan a la transmisión de la información. [8]

1.5.5. Televisión.

En la tv analógica, para formar el video es necesario elementos como: luminancia, crominancia y sincronismo. Para los componentes de audio se usa 20kHz.

La televisión digital en Ecuador usa el mismo ancho de banda que la televisión analógica, pero logra aprovechar mejor el espectro y está siendo implementada mediante el sistema ISDB-T. [9]

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO.

2.1. Ubicación.

Geográficamente el área de estudio en donde se realizarán las mediciones será en la provincia del Guayas, ciudad Durán, se encuentra entre los paralelos $2^{\circ}10'34.45''$ de latitud sur y los meridianos $79^{\circ}50'27.76''$ de longitud oeste de Greenwich.

En la *Figura 2.1* se muestra en un círculo rojo la ubicación en donde se realizarán las mediciones, de color verde se muestra una antena de red móvil que se encuentra a 100 m del punto de medición.

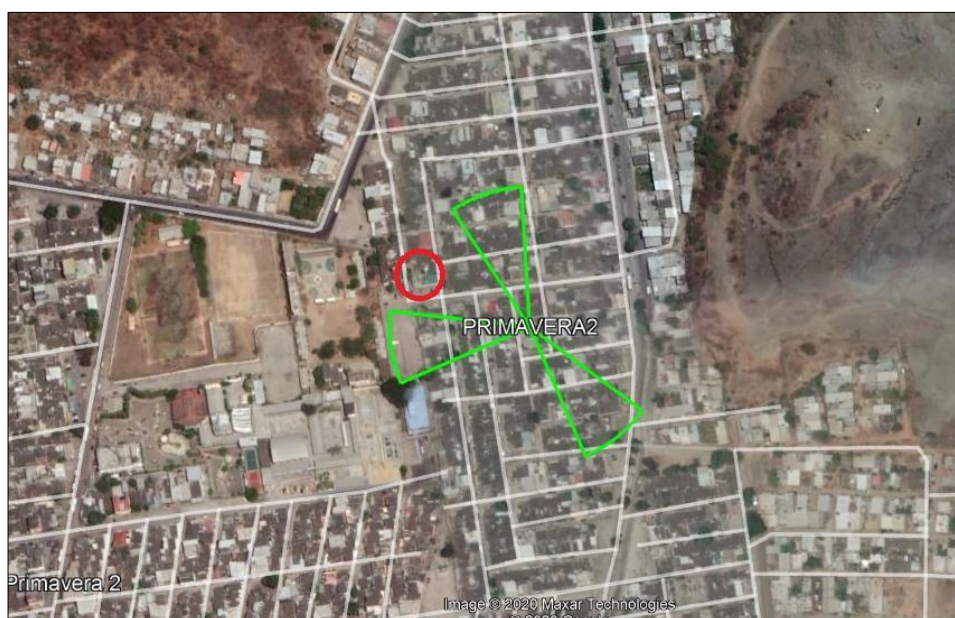


Figura 2.1 Ubicación del lugar de medición.

2.2. Descripción del proceso de medición.

El proceso de medición consiste en realizar capturas del espectro permisible según las limitaciones de los equipos analizadores de espectro a utilizar y así identificar mediante software e investigación de la normativa actual del país que

tipos de señales se encuentran desplegadas dentro de los rangos medidos, entendiendo el comportamiento y los servicios brindados por las señales identificadas.

Los equipos que se utilizarán para las mediciones son los siguientes: EMF 390 y SDR E4000, para posteriormente realizar las respectivas comparaciones.

El SDR E4000, cuyo fabricante es Nooelec, trabaja en los rangos: (53 MHz-1.1 GHZ) Y (1.25GHZ-2.2 GHZ) y costo aproximado es de 34 dólares. *Figura 2.2.*

Las pruebas se realizarán con una antena omnidireccional *Figura 2.3.*



Figura 2.2 Nooelec Model: rt12832u + E4000.



Figura 2.3 Antena omnidireccional.

Se hace uso de: PC, laptop, celular o tablet, que permita conectar el SDR
NooElec Model: rtl2832u + E4000. *Figura 2.4*



Figura 2.4 Laptop.

El EMF 390 *Figura 2.5.* es un equipo comercial cuyo fabricante es GQ Electronics LLC, es portátil, permite medir: campo eléctrico, campo electromagnético de tres ejes y analizador de potencia en el espectro.

Trabaja en los siguientes rangos: 2,4 GHz a 2,5 GHz, 240MHz a 1040 MHz, 76MHz a 108 MHz, 65MHz a 76 MHz y 50 a 65 MHz [10].

Su costo aproximado es de 119 dólares.



Figura 2.5 EMF 390

2.3. Identificación de los rangos del espectro a medir.

Se realiza un análisis de las frecuencias más comunes que existen dentro del rango analizado.

2.3.1. Banda de radio de las estaciones locales.

El número de estaciones concesionadas de radiodifusión sonoras en Ecuador son: 934, de las cuales 63 están en la provincia del Guayas. *Figura 2.6* [11]

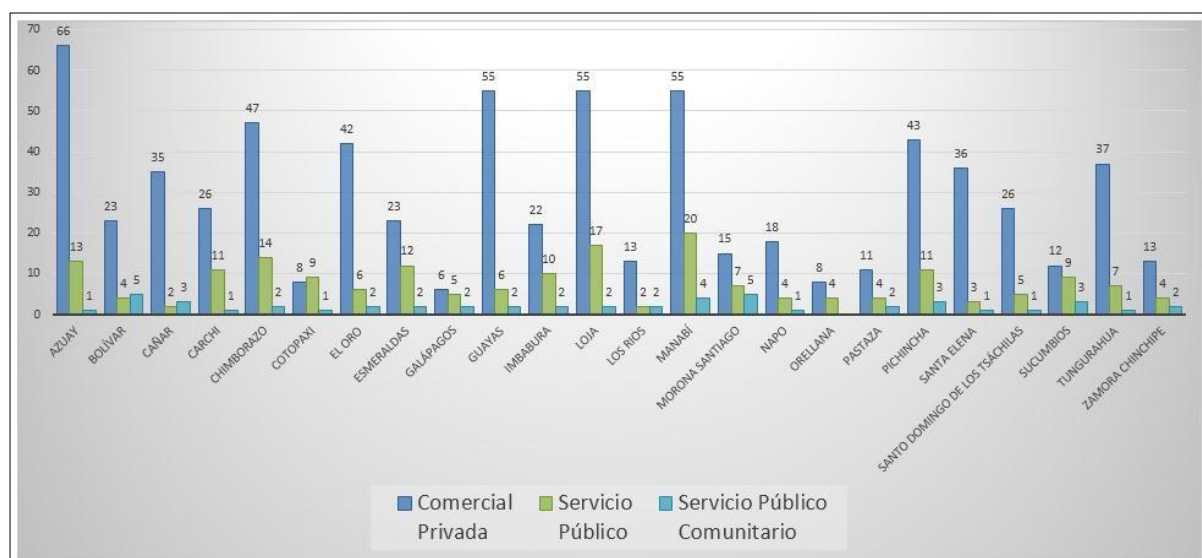


Figura 2.6 Número de estaciones concesionadas de Radiodifusión Sonora FM.

Las frecuencias utilizadas para transmisión de radiodifusión sonora FM están comprendidas en el rango de 88.1 MHz a 107.7 MHz.

La *Tabla 1* muestra el número de estaciones concesionada de Radiodifusión sonora por frecuencia modulada en la provincia del Guayas. [12]

| Nombre Estación | Frecuencia MHz |
|--------------------|----------------|
| MARIA | 88.1 |
| GALAXIA STEREO | 88.5 |
| DI BLU | 88.9 |
| NARANJAL FM STEREO | 89.1 |
| RADIO CITY | 89.3 |
| ONDA TECA | 89.5 |

Continuación.

| Nombre Estación | Frecuencia MHz |
|----------------------------------|-----------------------|
| BURBUJA FM | 89.5 |
| VEGA MEGA | 89.5 |
| PUNTO ROJO FM | 89.7 |
| ROMANCE FM | 90.1 |
| CANELA | 90.5 |
| KISS | 90.9 |
| TROPICALIDA STEREO | 91.3 |
| ANTENA TRES | 91.7 |
| ESTRELLA | 92.1 |
| CALIDAD FM | 92.3 |
| FOREVER MUSIC FM | 92.5 |
| ARMONICA FM STEREO | 92.9 |
| RADIO AMERICA | 93.3 |
| DISNEY | 93.7 |
| ONDA POSITIVA | 94.1 |
| PLATINUM FM | 94.5 |
| LA OTRA FM | 94.9 |
| SATELITAL FM | 95.1 |
| CUPIDO | 95.3 |
| METRO STEREO | 95.7 |
| ONDA CERO FM | 96.1 |
| TROPICANA FM | 96.5 |
| MAS CANDELA | 96.9 |
| NUEVO TIEMPO | 97.3 |
| SONIDO X | 97.5 |
| AMISTAD | 97.5 |
| J.C. RADIO | 98.5 |
| IMPACTO FM | 98.9 |
| SABORMIX FM | 99.3 |
| ELITE | 99.7 |
| LA PRENSA SPORT 100.1 FM | 100.1 |
| RSN FM STEREO | 100.5 |
| LA RADIO DE LA ASAMBLEA NACIONAL | 100.9 |

Continuación.

| Nombre Estación | Frecuencia MHz |
|------------------------------------|----------------|
| RADIO CENTRO | 101.3 |
| TELEQUIL RADIO STEREO | 101.7 |
| WQ-DOS | 102.1 |
| HCJB LA VOZ Y VENTANA DE LOS ANDES | 102.5 |
| RADIO VIGIA FM | 102.9 |
| JOYA STEREO | 103.3 |
| SONORAMA FM | 103.7 |
| ALFA STEREO | 104.1 |
| LA TUYA | 104.5 |
| ONCE Q FM | 104.9 |
| COSTA LA VOZ DE PLAYAS | 105.3 |
| RADIO PUBLICA | 105.3 |
| RADIO PUBLICA | 105.3 |
| FABU STEREO | 105.7 |
| RADIO PUBLICA | 106.1 |
| B.B.N. 106.1 FM | 106.1 |
| FUEGO | 106.5 |
| FRANCISCO STEREO | 106.9 |
| CADENA DIAL | 107.1 |
| ARIES FM | 107.1 |
| RADIO RUMBA | 107.3 |
| VISION FM | 107.7 |

Tabla 1 Estaciones de radiodifusión sonora FM

2.3.2. Bandas de TV local.

En Ecuador las bandas de frecuencias destinadas para televisión son licenciadas, para evitar interferencias y cada canal posee un ancho de banda de 6MHz.

Las bandas asignadas para tv analógicos y para tv digital son: UHF y VHF, trabajan en los siguientes rangos: *Tabla 2* [13]

| BANDA DE FRECUENCIAS | CANAL | RANGO DE FRECUENCIAS (MHz) | Tv Analógica | | Tv Digital |
|--------------------------|---------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| | | | PORTADORA DE VIDEO (MHz) | PORTADORA DE AUDIO (MHz) | FRECUENCIA DE LA PORTADORA CENTRAL DE LA SEÑAL (MHz) |
| VHF I (54-72 MHz) | 2 | 54-60 | 55.25 | 59.75 | - |
| | 3 | 60-66 | 61.25 | 65.75 | - |
| | 4 | 66-72 | 67.25 | 71.75 | - |
| VHF I (76-88 MHz) | 5 | 76-82 | 77.25 | 81.75 | - |
| | 6 | 82-88 | 83.25 | 87.75 | - |
| VHF III (174-216 MHz) | 7 | 174-180 | 175.25 | 179.75 | - |
| | 8 | 180-186 | 181.25 | 185.75 | - |
| | 9 | 186-192 | 187.25 | 191.75 | - |
| | 10 | 192-198 | 193.25 | 197.75 | - |
| | 11 | 198-204 | 199.25 | 203.75 | - |
| | 12 | 204-210 | 205.25 | 209.75 | - |
| UHF IV (470-482 MHz) | 13 | 210-216 | 211.25 | 215.75 | - |
| | 14 | 470-476 | 471.25 | 475.75 | 473 + 1/7 |
| UHF IV (512-608 MHz) | 15 | 476-482 | 477.25 | 481.75 | 479 + 1/7 |
| | 21 | 512-518 | 513.25 | 517.75 | 515 + 1/7 |
| | 22 | 518-524 | 519.25 | 523.75 | 521 + 1/7 |
| | 23 | 524-530 | 525.25 | 529.75 | 527 + 1/7 |
| | 24 | 530-536 | 531.25 | 535.75 | 533 + 1/7 |
| | 25 | 536-542 | 537.25 | 541.75 | 539 + 1/7 |
| | 26 | 542-548 | 543.25 | 547.75 | 545 + 1/7 |
| | 27 | 548-554 | 549.25 | 553.75 | 551 + 1/7 |
| | 28 | 554-560 | 555.25 | 559.75 | 557 + 1/7 |
| | 29 | 560-566 | 561.25 | 565.75 | 563 + 1/7 |
| | 30 | 566-572 | 567.25 | 571.75 | 569 + 1/7 |
| | 31 | 572-578 | 573.25 | 577.75 | 575 + 1/7 |
| | 32 | 578-584 | 579.25 | 583.75 | 581 + 1/7 |
| | 33 | 584-590 | 585.25 | 589.75 | 587 + 1/7 |
| | 34 | 590-596 | 591.25 | 595.75 | 593 + 1/7 |
| 35 | 596-602 | 597.25 | 601.75 | 599 + 1/7 | |
| 36 | 602-608 | 603.25 | 607.75 | 605 + 1/7 | |
| UHF IV (614-644 MHz) | 38 | 614-620 | 615.25 | 619.75 | 617 + 1/7 |
| | 39 | 620-626 | 621.25 | 625.75 | 623 + 1/7 |
| | 40 | 626-632 | 627.25 | 631.75 | 629 + 1/7 |
| | 41 | 632-638 | 633.25 | 637.75 | 635 + 1/7 |
| | 42 | 638-644 | 639.25 | 643.75 | 641 + 1/7 |

Continuación.

| BANDA DE FRECUENCIAS | CANAL | RANGO DE FRECUENCIAS (MHz) | Tv Analógica | | Tv Digital |
|----------------------------|-------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| | | | PORTADORA DE VIDEO (MHz) | PORTADORA DE AUDIO (MHz) | FRECUENCIA DE LA PORTADORA CENTRAL DE LA SEÑAL (MHz) |
| UHF V (644- 698 MHz) | 43 | 644-650 | 645.25 | 649.75 | 647 + 1/7 |
| | 44 | 650-656 | 651.25 | 655.75 | 653 + 1/7 |
| | 45 | 656-662 | 657.25 | 661.75 | 659 + 1/7 |
| | 46 | 662-668 | 663.25 | 667.75 | 665 + 1/7 |
| | 47 | 668-674 | 669.25 | 673.75 | 671 + 1/7 |
| | 48 | 674-680 | 675.25 | 679.75 | 677 + 1/7 |
| | 49 | 680-686 | 681.25 | 685.75 | 683 + 1/7 |
| | 50 | 686-692 | 687.25 | 691.75 | 689 + 1/7 |
| | 51 | 692-698 | 693.25 | 697.75 | 695 + 1/7 |

Tabla 2 Canalización de las bandas de radiodifusión de TV abierta.

2.3.3. Telefonía celular.

Telefonía móvil 2G GSM (850 MHz- 1900MHz).

Según la ARCOTEL, la cobertura 2G hasta mayo del 2018 fue: 99.85% urbano, 87.99% rural, 96.81% nacional. [6]

En Ecuador la separación de canales en 2G es de 200 KHz, la operadora Conecel trabaja en frecuencias de 850 MHz y 1900 MHz ; Otecel en frecuencias de 850 MHz, tal como se muestra en la *Tabla 3*.

| Operadora | Ancho de Banda | Tecnología | Rango de frecuencia UL | Rangos de frecuencias DL |
|-----------|----------------|------------|--|--|
| Conecel | 5 MHz | GSM-850 | 824.2 MHz-829.8 MHz 845 MHz -846.4MHz | 869.2 MHz-874.8 MHz 890.0 MHz-891.4 MHz |
| Conecel | 5MHz | GSM- 1900 | 1885 MHz-1890 MHz | 1960.2 MHz- 1964.8 MHz |
| Otecel | 2.5 MHz | GSM- 850 | 846.6MHz-848.8MHz | 891.6 MHz-893.8 MHz |

Tabla 3 Rango de frecuencias 2G

Telefonía móvil 3G UMTS (850 MHz-1900 MHz)

Según la Arcotel la cobertura 3G hasta mayo del 2018 era: en sector urbano 99.87%, en rural 71.46% y a nivel nacional 92.58%. [6]

En 3G, las operadoras Otecel y Conecel transmiten en frecuencias de 850 MHz y 1900 MHz tal como lo muestra la *Tabla 4*.

| Operadora | Tecnología | Frecuencias UL | Frecuencia DL |
|-----------|------------------|----------------------|----------------------|
| Conecel | UMTS 850 (5MHz) | 829.9 MHz-834.9 MHz | 874.9MHz-879.9 MHz |
| Conecel | UMTS 1900 (5MHz) | 1885 MHz-1890 MHz | 1965 MHz-1970 MHz |
| Conecel | UMTS 1900 (5MHz) | 1890 MHz-1895 MHz | 1970 MHz-1975 MHz |
| Otecel | UMTS 850 (5MHz) | 834.9 MHz-839.9 MHz | 879.9 MHz-884.9 MHz |
| Otecel | UMTS 850 (5MHz) | 839.7MHz-844 MHz | 884.7 MHz-889.7 MHz |
| Otecel | UMTS 1900 (5MHz) | 1865.1MHz-1870.1 MHz | 1945.1 MHz-1950.1MHz |
| Otecel | UMTS 1900 (5MHz) | 1870MHz-1875MHz | 1950 MHz-1955 MHz |
| Otecel | UMTS 1900 (5MHz) | 1875.2MHz-1879MHz | 1955.2MHz-1959.8MHz |
| CNT | UMTS 1900 | 1880 MHz-1890MHz | 1960MHz-1975MHz |

Tabla 4 Rango de frecuencia 3G

Telefonía móvil 4G LTE en bandas AWS.

Según la Arcotel hasta mayo del 2018 el porcentaje de cobertura de 4G en sector urbano era del 77.71%, en sector rural 23.32% y a nivel nacional es de 63.75%. [6]

En Ecuador la tecnología 4G, la operadora Otecel utiliza un ancho de banda de 20 MHz con una frecuencia central de 2140 MHz.

La operadora Otecel en frecuencias de 1900 MHz, con un ancho de banda de 15 MHz, tal como se observa en la *Tabla 5*.

| Operadora | Tecnología | Frecuencia UL | Frecuencia DL |
|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| Concel | LTE AWS (20 MHz) | 1730 MHz- 1750 MHz | 2130 MHz- 2150MHz |
| Otecel | LTE 1900 (15MHz) | 1850 MHz-1865 MHz | 1930 MHz- 1945 MHz |
| CNT | LTE 700 (15MHz) | 733 MHz-748 MHz | 788MHz - 803 MHz |
| CNT | LTE AWS (20MHz) | 1710MHz-1730MHz | 2110MHz - 2130MHz |

Tabla 5 Frecuencias 4G.

CAPÍTULO 3

3. Análisis de resultados.

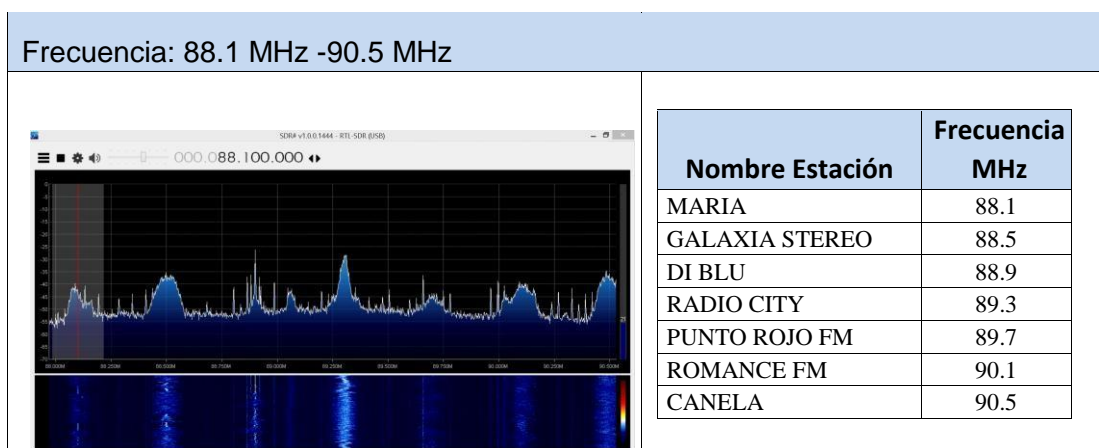
3.1. Captura de datos mediante SDR utilizando el programa de sdrsharp

Se realiza un barrido de frecuencia en el rango de: (53 MHz-1.1 GHz) y (1.25GHz-2.2 GHz) y se procede a identificar las frecuencias que se encuentran operando en los rangos propuestos.

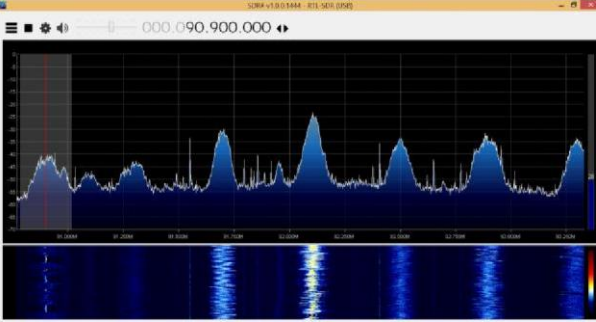
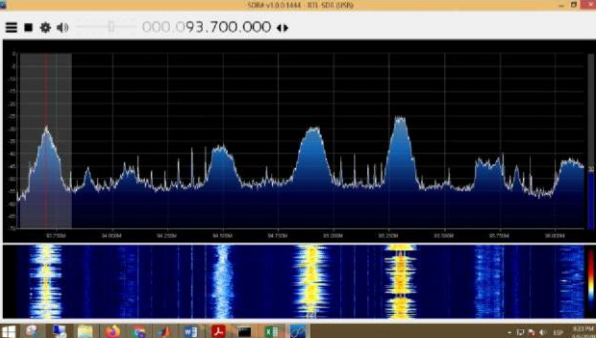
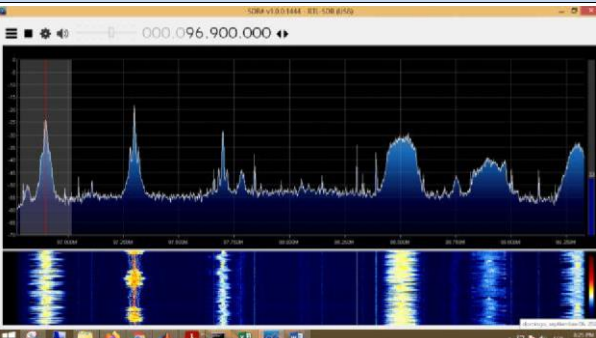
El programa de Sdrsharp, sólo permite observar un ancho de banda de 2.5 MHz.

3.1.1. Radiodifusión sonora FM en sdrsharp.

Se realiza un recorrido desde 88.1 MHz a 107.7 MHz, por tramos y se procede a sintonizar cada uno las frecuencias de radio FM para validar que coincidan con la frecuencia de radio locales según lo indicado en la *Tabla 6*.



Continuación.

| Frecuencia: 90.9MHz-93.3MHz | | |
|---|--------------------|----------------|
|  | Nombre Estación | Frecuencia MHz |
| | KISS | 90.9 |
| | TROPICALIDA STEREO | 91.3 |
| | ANTENA TRES | 91.7 |
| | ESTRELLA | 92.1 |
| | FOREVER MUSIC FM | 92.5 |
| | ARMONICA FM STEREO | 92.9 |
| RADIO AMERICA | 93.3 | |
| Frecuencia: 93.7MHz-96.5 MHz | | |
|  | Nombre Estación | Frecuencia MHz |
| | DISNEY | 93.7 |
| | ONDA POSITIVA | 94.1 |
| | PLATINUM FM | 94.5 |
| | LA OTRA FM | 94.9 |
| | CUPIDO | 95.3 |
| | METRO STEREO | 95.7 |
| | ONDA CERO FM | 96.1 |
| TROPICANA FM | 96.5 | |
| Frecuencia: 96.9MHz-99.3MHz | | |
|  | Nombre Estación | Frecuencia MHz |
| | MAS CANDELA | 96.9 |
| | NUEVO TIEMPO | 97.3 |
| | AMISTAD | 97.7 |
| | J.C. RADIO | 98.5 |
| | IMPACTO FM | 98.9 |
| SABORMIX FM | 99.3 | |

Continuación.

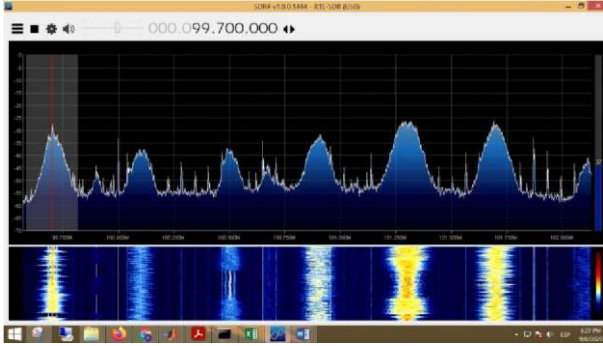
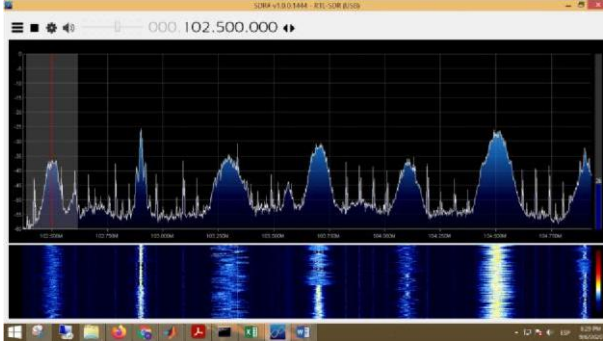
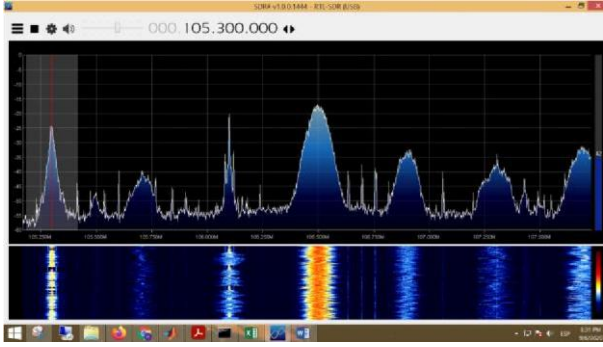
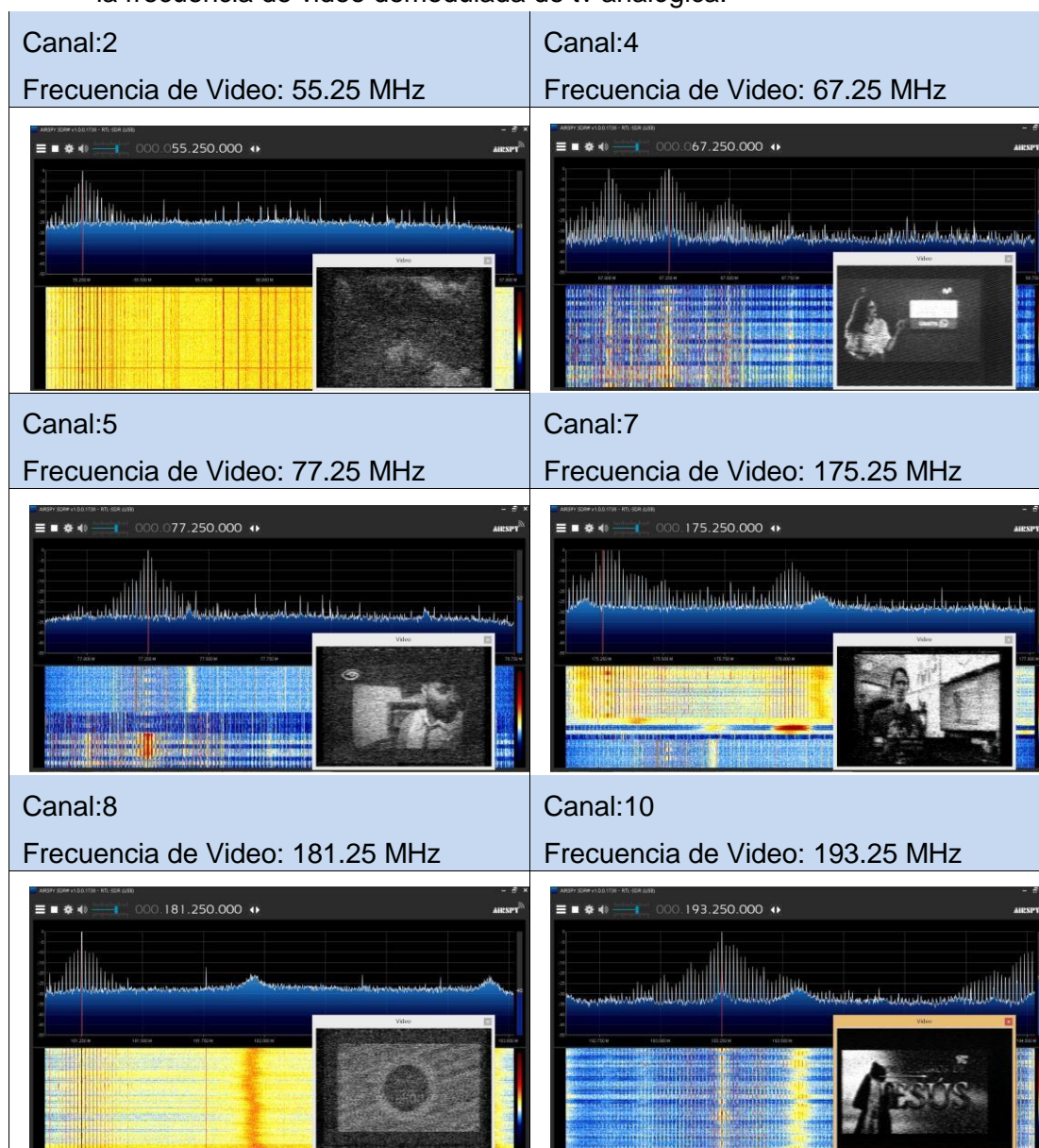
| Frecuencia: 99.7MHz-102.1MHz | | |
|---|------------------------------------|----------------|
|  | Nombre Estación | Frecuencia MHz |
| | ELITE | 99.7 |
| | LA PRENSA SPORT 100.1 FM | 100.1 |
| | RSN FM STEREO | 100.5 |
| | LA RADIO DE LA ASAMBLEA NACIONAL | 100.9 |
| | RADIO CENTRO | 101.3 |
| | TELEQUIL RADIO STEREO | 101.7 |
| | WQ-DOS | 102.1 |
| Frecuencia: 102.5MHz-104.9MHz | | |
|  | Nombre Estación | Frecuencia MHz |
| | HCJB LA VOZ Y VENTANA DE LOS ANDES | 102.5 |
| | RADIO VIGIA FM | 102.9 |
| | JOYA STEREO | 103.3 |
| | SONORAMA FM | 103.7 |
| | ALFA STEREO | 104.1 |
| | LA TUYA | 104.5 |
| | ONCE Q FM | 104.9 |
| Frecuencia:105.3MHz-107.7MHz | | |
|  | Nombre Estación | Frecuencia MHz |
| | RADIO PUBLICA | 105.3 |
| | FABU STEREO | 105.7 |
| | B.B.N. 106.1 FM | 106.1 |
| | FUEGO | 106.5 |
| | FRANCISCO STEREO | 106.9 |
| | RADIO RUMBA | 107.3 |
| | VISION FM | 107.7 |

Tabla 6 Radiodifusión sonora FM en sdrsharp.

3.1.2. Televisión con Sdrsharp.

Se realiza un barrido en el recorrido de 54 MHz a 698 MHz en donde se encuentran las frecuencias asignadas a TV.

El programa Sdrsharp sólo permite analizar un ancho de banda de 2.5MHz y televisión tiene asignado un ancho de banda de 6 MHz, en la *tabla 7* se muestra la frecuencia de video demodulada de tv analógica.



Continuación.

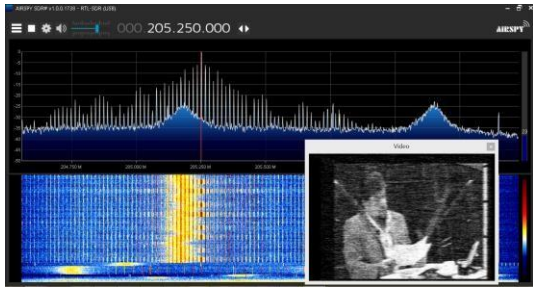
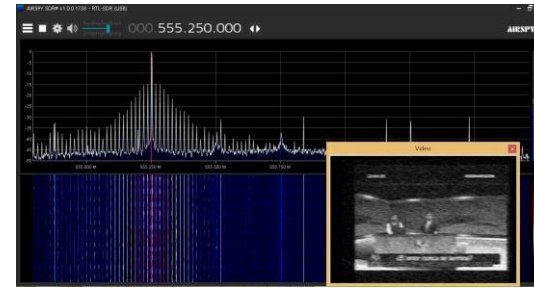
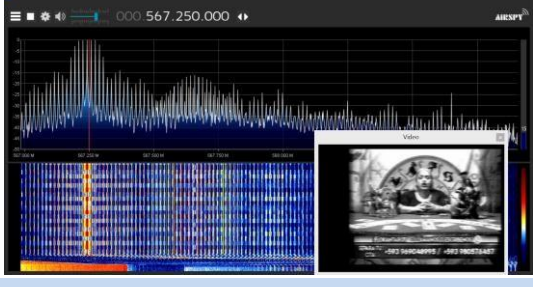
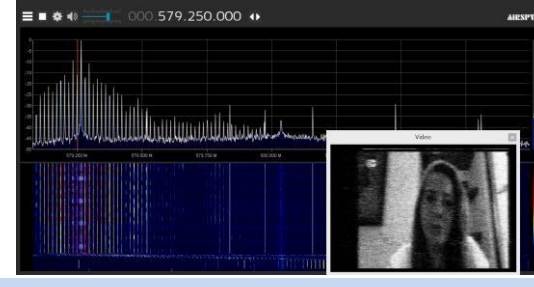
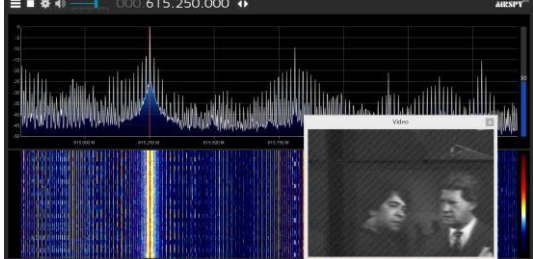
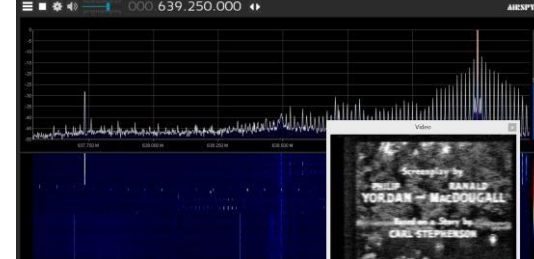
| | |
|---|--|
| <p>Canal:12 Frecuencia de Video: 205.25 MHz</p> | <p>Canal:28 Frecuencia de Video: 555.25 MHz</p> |
|  |  |
| <p>Canal:30 Frecuencia de Video: 567.25 MHz</p> | <p>Canal:32 Frecuencia de Video: 579.25 MHz</p> |
|  |  |
| <p>Canal:38 Frecuencia de Video: 615.25 MHz</p> | <p>Canal:42 Frecuencia de Video: 639.25 MHz</p> |
|  |  |

Tabla 7 Televisión con Sdrsharp.

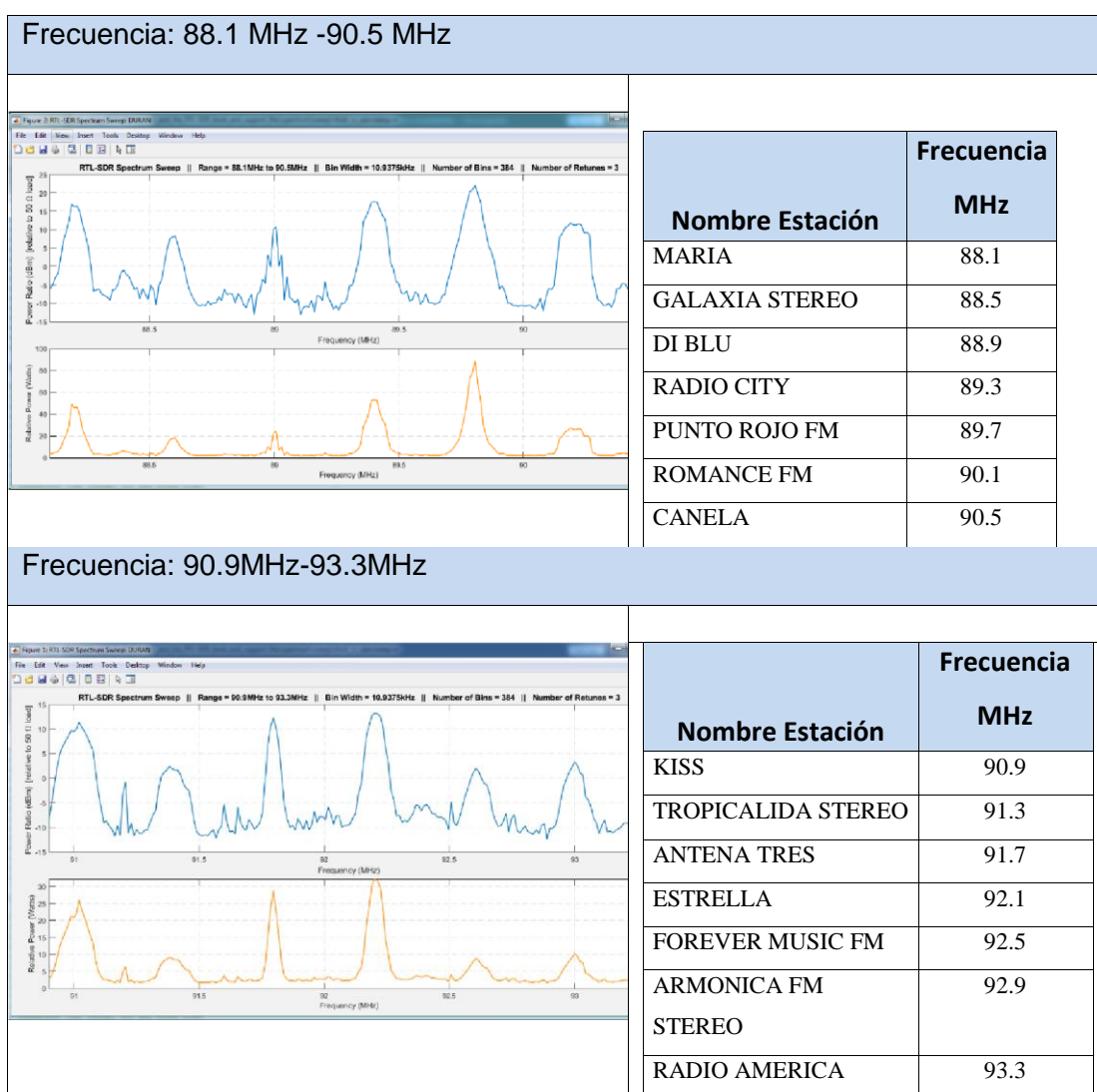
3.2. Captura de datos mediante SDR utilizando el programa Matlab.

Se realiza un recorrido general con el SDR usando el software de Matlab desde los 53 MHz hasta los 1070 MHz, se observa las principales bandas de radio FM y televisión y telefonía celular. Luego se procederá a realizar un barrido 1.25 GHz- 2.2 GHz.

3.2.1. Gráficas de Radiodifusión Sonora FM en Matlab.

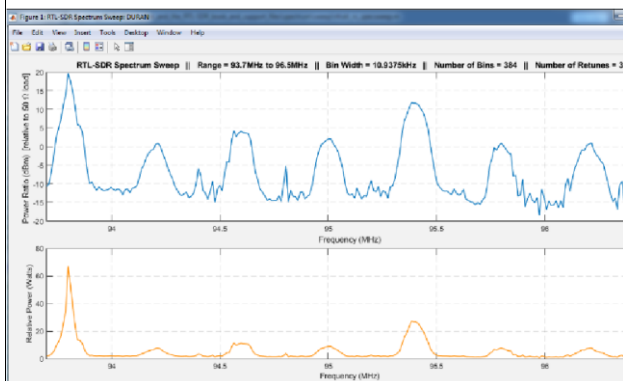
De 88.1 MHz a 107.7 MHz se observó la portadora de varios radios locales.

En la *tabla 8* se observa los gráficos generados en Matlab con ayuda del SDR RTL2832U + Elonics E4000 y las frecuencias de varios radios locales asignados.



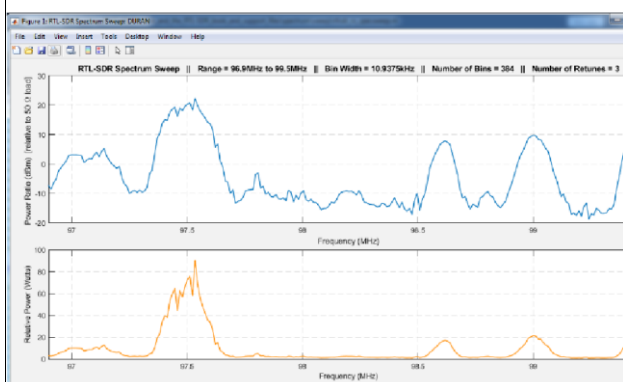
Continuación.

Frecuencia: 93.7MHz-96.5 MHz



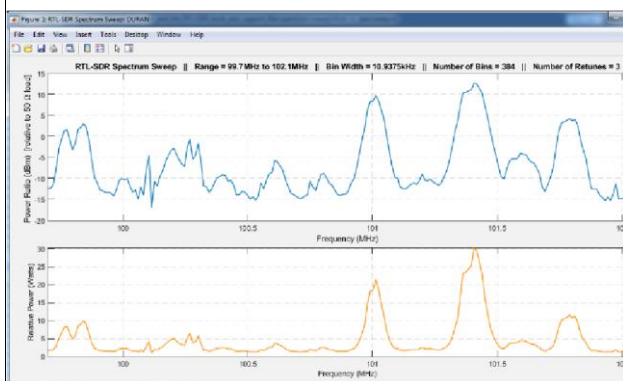
| Nombre Estación | Frecuencia MHz |
|-----------------|----------------|
| DISNEY | 93.7 |
| ONDA POSITIVA | 94.1 |
| PLATINUM FM | 94.5 |
| LA OTRA FM | 94.9 |
| CUPIDO | 95.3 |
| METRO STEREO | 95.7 |
| ONDA CERO FM | 96.1 |
| TROPICANA FM | 96.5 |

Frecuencia: 96.9MHz-99.3MHz



| Nombre Estación | Frecuencia MHz |
|-----------------|----------------|
| MAS CANDELA | 96.9 |
| NUEVO TIEMPO | 97.3 |
| AMISTAD | 97.7 |
| J.C. RADIO | 98.5 |
| IMPACTO FM | 98.9 |
| SABORMIX FM | 99.3 |

Frecuencia: 99.7MHz-102.1MHz



| Nombre Estación | Frecuencia MHz |
|-------------------|----------------|
| ELITE | 99.7 |
| LA PRENSA SPORT | 100.1 |
| RSN FM STEREO | 100.5 |
| LA RADIO ASAMBLEA | 100.9 |
| RADIO CENTRO | 101.3 |
| TELEQUIL RADIO | 101.7 |
| STEREO | |
| WQ-DOS | 102.1 |

Continuación.

| Frecuencia: 102.5MHz-104.9MHz | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|-----------------|----------------|------------------------------------|-------|----------------|-------|-----------------|-------|-------------|-------|------------------|-------|-------------|-------|-----------|-------|
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre Estación</th> <th>Frecuencia MHz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HCJB LA VOZ Y VENTANA DE LOS ANDES</td> <td>102.5</td> </tr> <tr> <td>RADIO VIGIA FM</td> <td>102.9</td> </tr> <tr> <td>JOYA STEREO</td> <td>103.3</td> </tr> <tr> <td>SONORAMA FM</td> <td>103.7</td> </tr> <tr> <td>ALFA STEREO</td> <td>104.1</td> </tr> <tr> <td>LA TUYA</td> <td>104.5</td> </tr> <tr> <td>ONCE Q FM</td> <td>104.9</td> </tr> </tbody> </table> | Nombre Estación | Frecuencia MHz | HCJB LA VOZ Y VENTANA DE LOS ANDES | 102.5 | RADIO VIGIA FM | 102.9 | JOYA STEREO | 103.3 | SONORAMA FM | 103.7 | ALFA STEREO | 104.1 | LA TUYA | 104.5 | ONCE Q FM | 104.9 |
| | Nombre Estación | Frecuencia MHz | | | | | | | | | | | | | | | |
| | HCJB LA VOZ Y VENTANA DE LOS ANDES | 102.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | RADIO VIGIA FM | 102.9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | JOYA STEREO | 103.3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SONORAMA FM | 103.7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ALFA STEREO | 104.1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | LA TUYA | 104.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ONCE Q FM | 104.9 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frecuencia: 105.3MHz-107.7MHz | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nombre Estación</th> <th>Frecuencia MHz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RADIO PUBLICA</td> <td>105.3</td> </tr> <tr> <td>FABU STEREO</td> <td>105.7</td> </tr> <tr> <td>B.B.N. 106.1 FM</td> <td>106.1</td> </tr> <tr> <td>FUEGO</td> <td>106.5</td> </tr> <tr> <td>FRANCISCO STEREO</td> <td>106.9</td> </tr> <tr> <td>RADIO RUMBA</td> <td>107.3</td> </tr> <tr> <td>VISION FM</td> <td>107.7</td> </tr> </tbody> </table> | Nombre Estación | Frecuencia MHz | RADIO PUBLICA | 105.3 | FABU STEREO | 105.7 | B.B.N. 106.1 FM | 106.1 | FUEGO | 106.5 | FRANCISCO STEREO | 106.9 | RADIO RUMBA | 107.3 | VISION FM | 107.7 |
| | Nombre Estación | Frecuencia MHz | | | | | | | | | | | | | | | |
| | RADIO PUBLICA | 105.3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FABU STEREO | 105.7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B.B.N. 106.1 FM | 106.1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FUEGO | 106.5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | FRANCISCO STEREO | 106.9 | | | | | | | | | | | | | | | |
| RADIO RUMBA | 107.3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VISION FM | 107.7 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 8 Gráfica de radiodifusión sonora en Matlab

3.2.2. Gráficas de Televisión usando Matlab.

Se realiza un recorrido en las bandas donde trabaja radiodifusión de TV abierta, cuyo ancho de banda es de 6MHz, y se observa la banda de frecuencia de video y de audio en los siguientes canales:

VHF: 2,4,5,7,8,10,12

UHF: 28,30,32,38,42

En el rango de 54MHz a 60 MHz, en donde transmite el canal 2- VHF, se observa la portadora de video en 55,25MHz y la de audio en la frecuencia de 59.75 MHz. Ver Figura 3.1

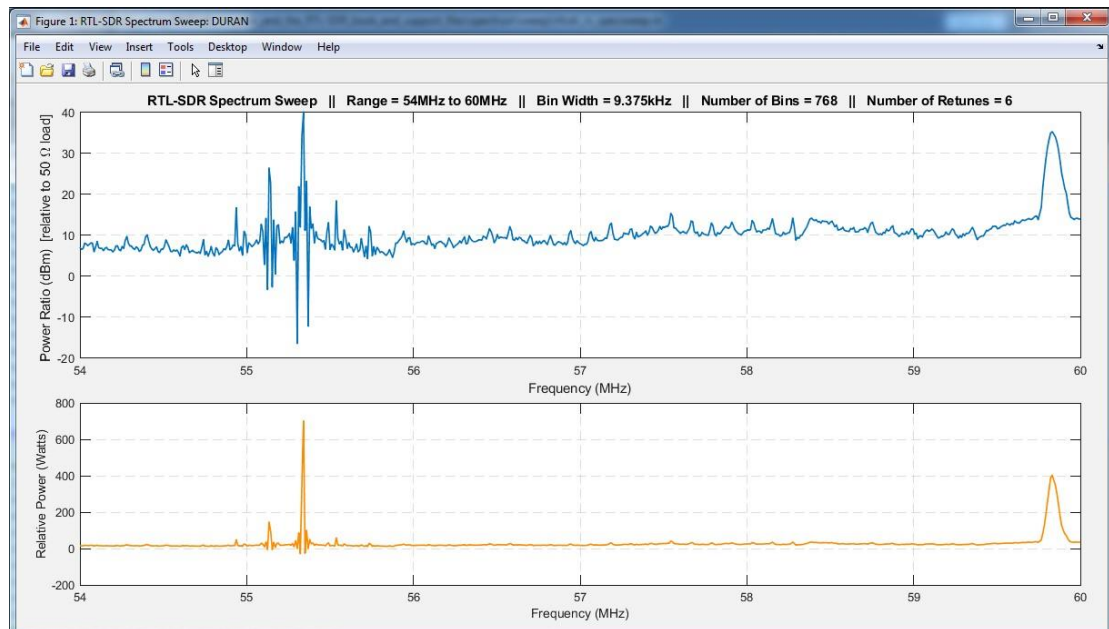


Figura 3.1 Canal 2

En el rango de 66MHz a 72 MHz, en donde transmite el canal 4- VHF, se observa la portadora de video en 67,25MHz y la de audio en la frecuencia de 71.75 MHz. Ver Figura 3.2

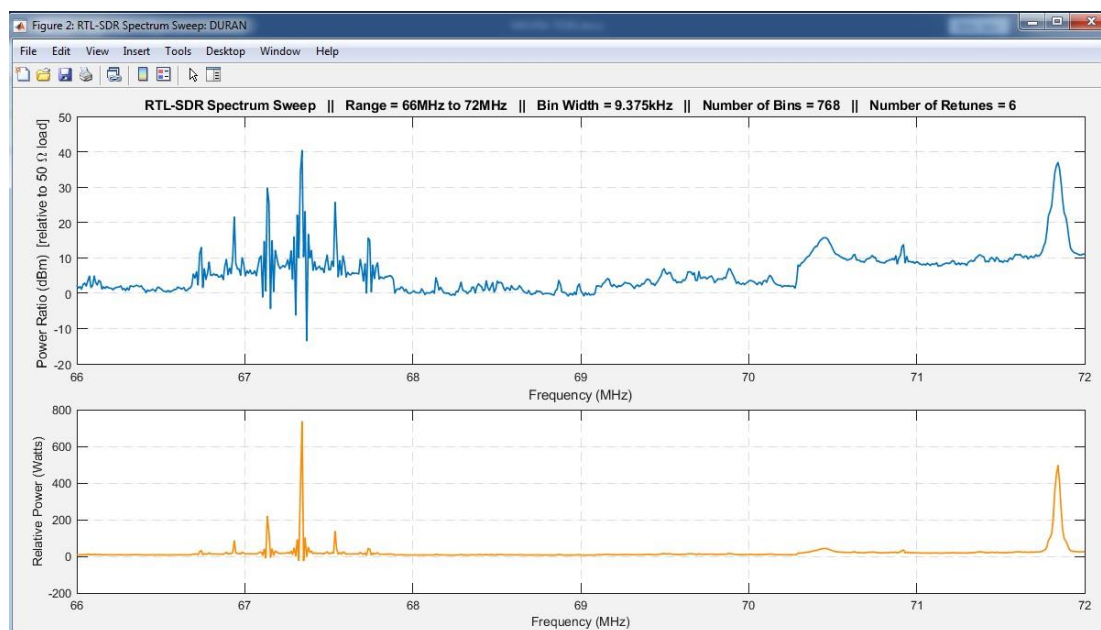


Figura 3.2 Canal 4

En el rango de 76MHz a 82 MHz, en donde transmite el canal 5- VHF, se observa la portadora de video en 77,25MHz y la de audio en la frecuencia de 81.75 MHz. Ver Figura 3.3

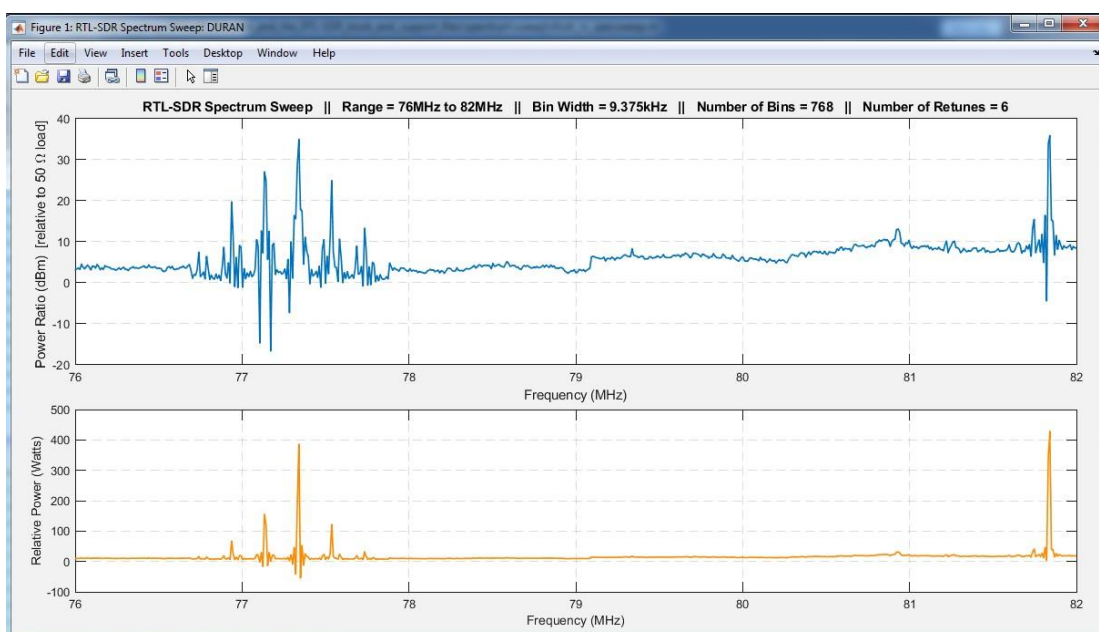


Figura 3.3 Canal 5

En el rango de 174 MHz a 180 MHz, en donde trasmite el canal 7- VHF, se observa la portadora de video en 175,25MHz y la de audio en la frecuencia de 179.75 MHz. Ver *Figura 3.4*

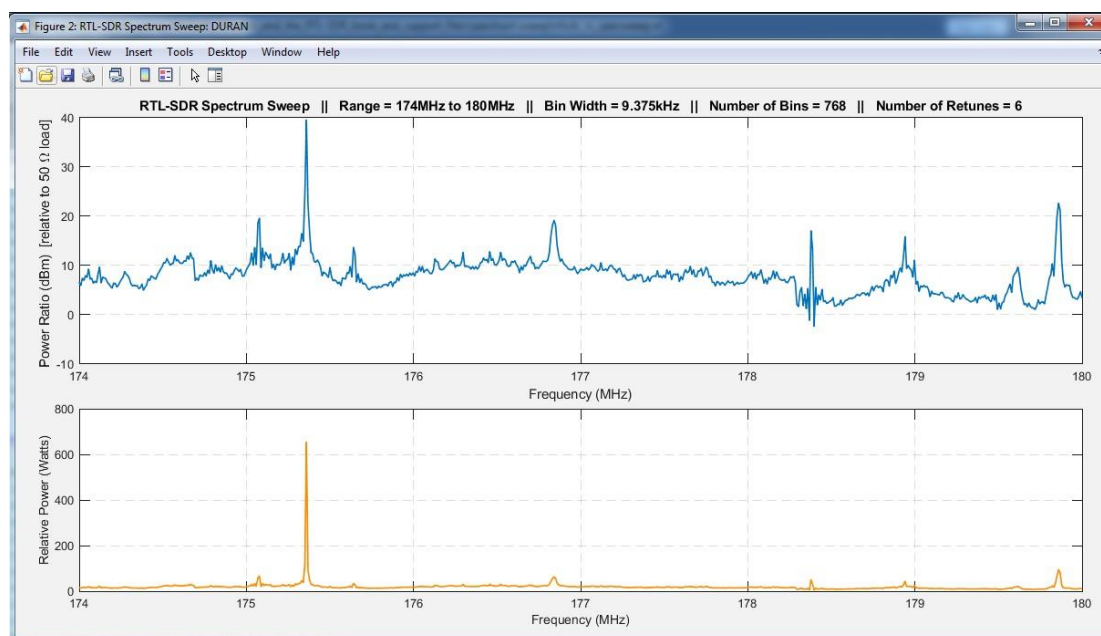


Figura 3.4 Canal 7

En el rango de 180MHz a 186 MHz, en donde trasmite el canal 8- VHF, se observa la portadora de video en 181,25MHz y la de audio en la frecuencia de 185.75 MHz. *Figura 3.5*

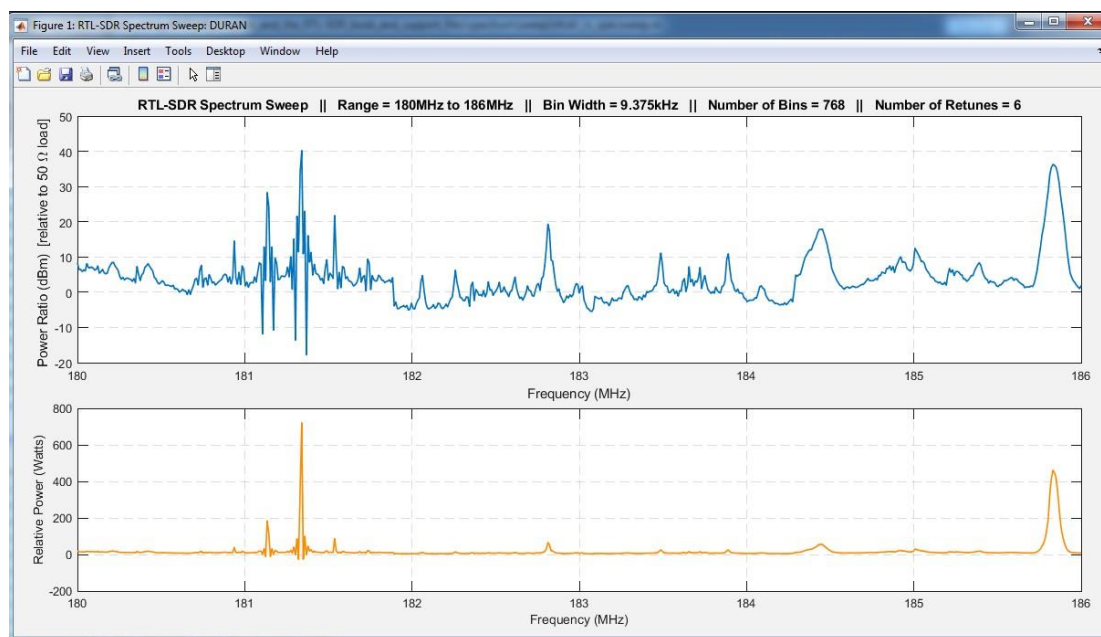


Figura 3.5 Canal 8

En el rango de 192 MHz a 198 MHz, en donde transmite el canal 10- VHF, se observa la portadora de video en 193,25MHz y la de audio en la frecuencia de 197.75 MHz *Figura 3.6*

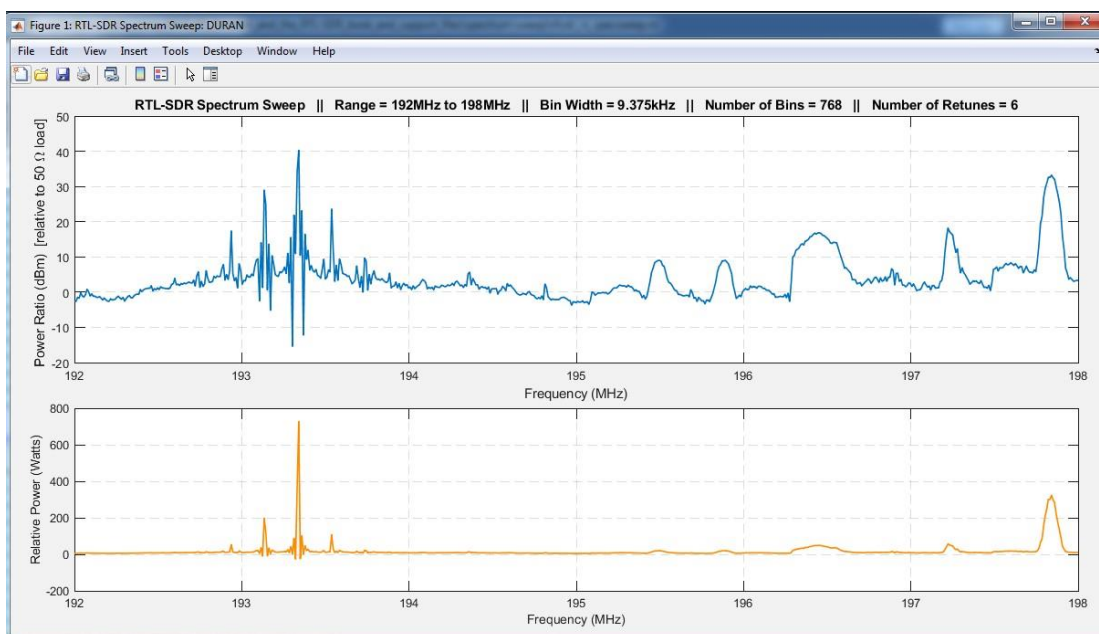


Figura 3.6 Canal 10

En el rango de 204 MHz a 210 MHz, en donde transmite el canal 12- VHF, se observa la portadora de video en 205,25MHz y la de audio en la frecuencia de 209.75 MHz. Ver *Figura 3.7*

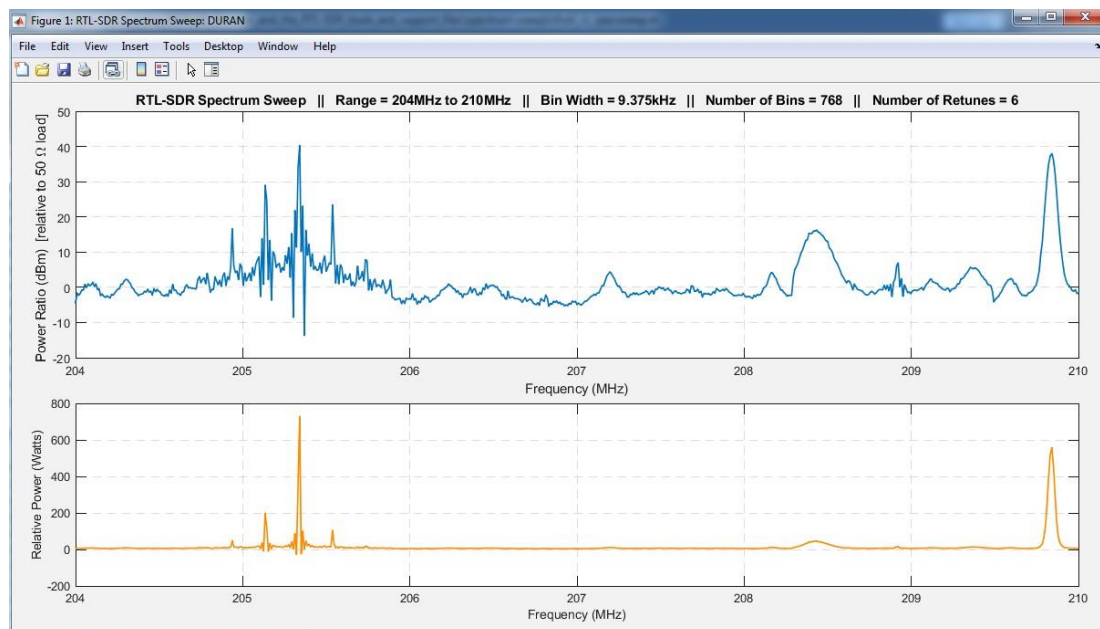


Figura 3.7 Canal 12

En el rango de 554MHz a 560 MHz, en donde transmite el canal 28- UHF, se observa la portadora de video en 555,25MHz y la de audio en la frecuencia de 559.75 MHz. Ver *Figura 3.8*

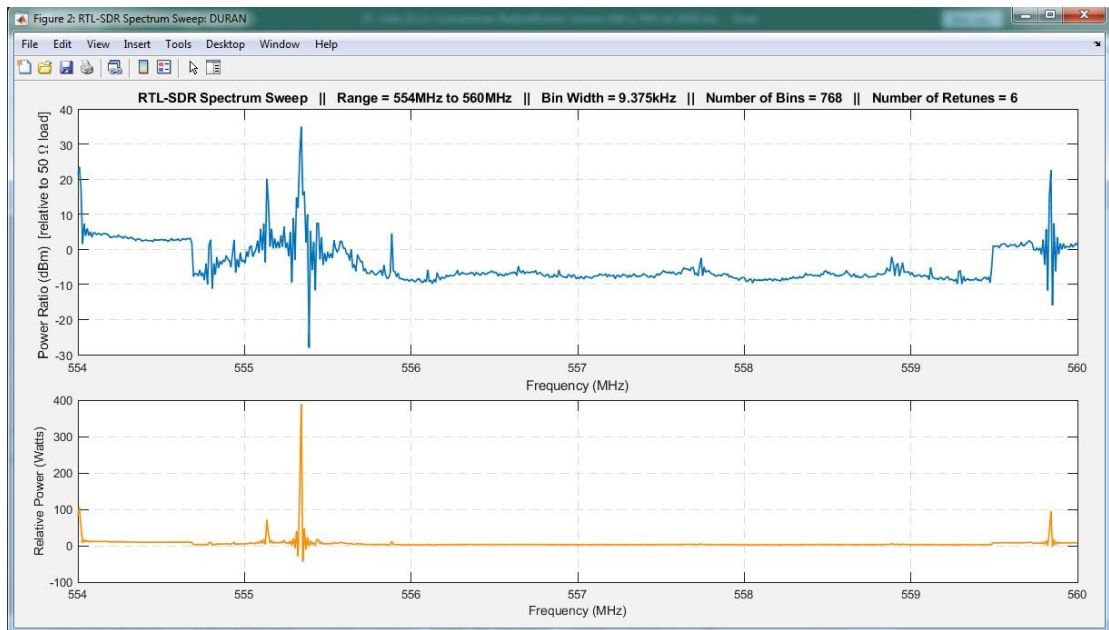
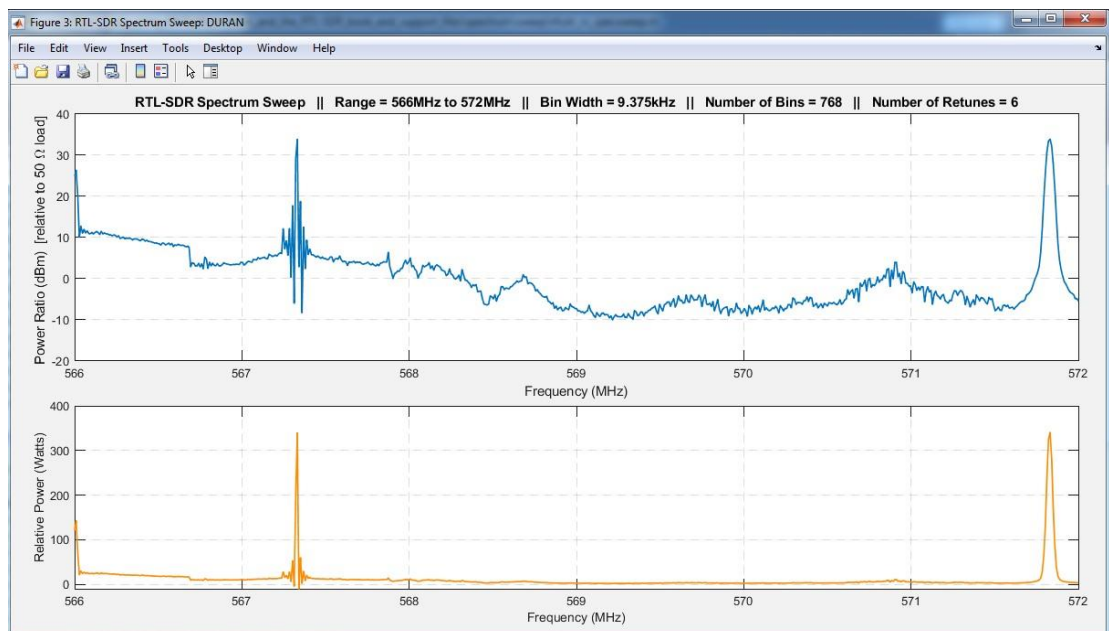


Figura 3.8 Canal 28

En el rango de 566MHz a 572 MHz, en donde trasmite el canal 30- UHF, se observa la portadora de video en 567,25MHz y la de audio en la frecuencia de 571.75 MHz. Ver Figura 3.9



3.9 Canal 30

En el rango de 578MHz a 584 MHz, en donde trasmite el canal 32- UHF, se observa la portadora de video en 579,25MHz y la de audio en la frecuencia de 583.75 MHz. Ver Figura 3.10

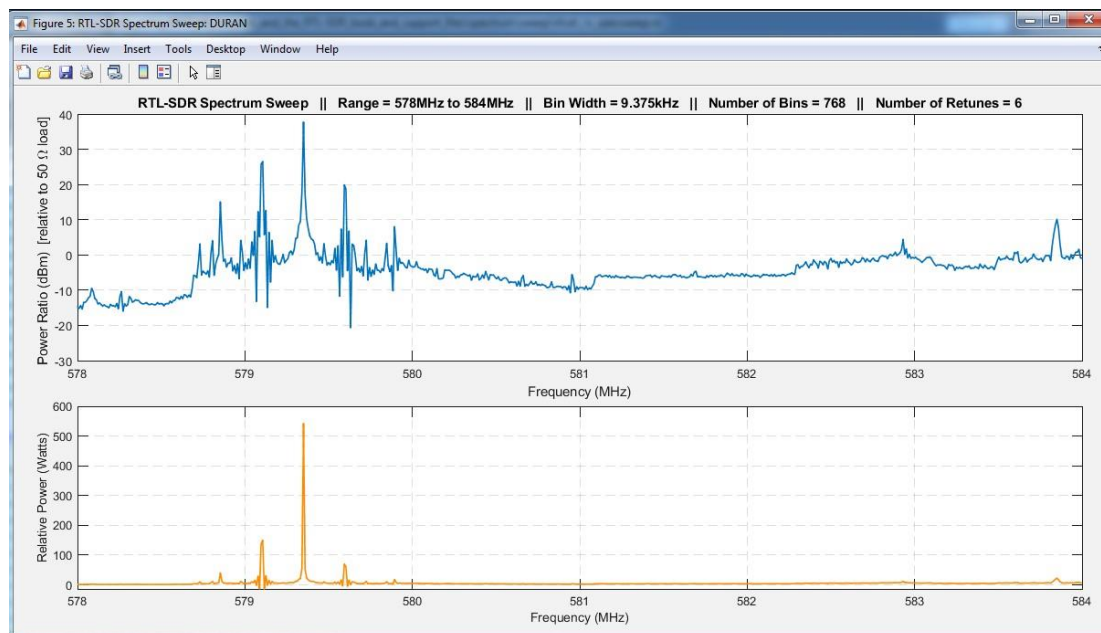


Figura 3.10 Canal 32

En el rango de 614MHz a 620 MHz, en donde trasmite el canal 38- UHF, se observa la portadora de video en 615,25MHz y la de audio en la frecuencia de 619.75 MHz. Ver Figura 3.11

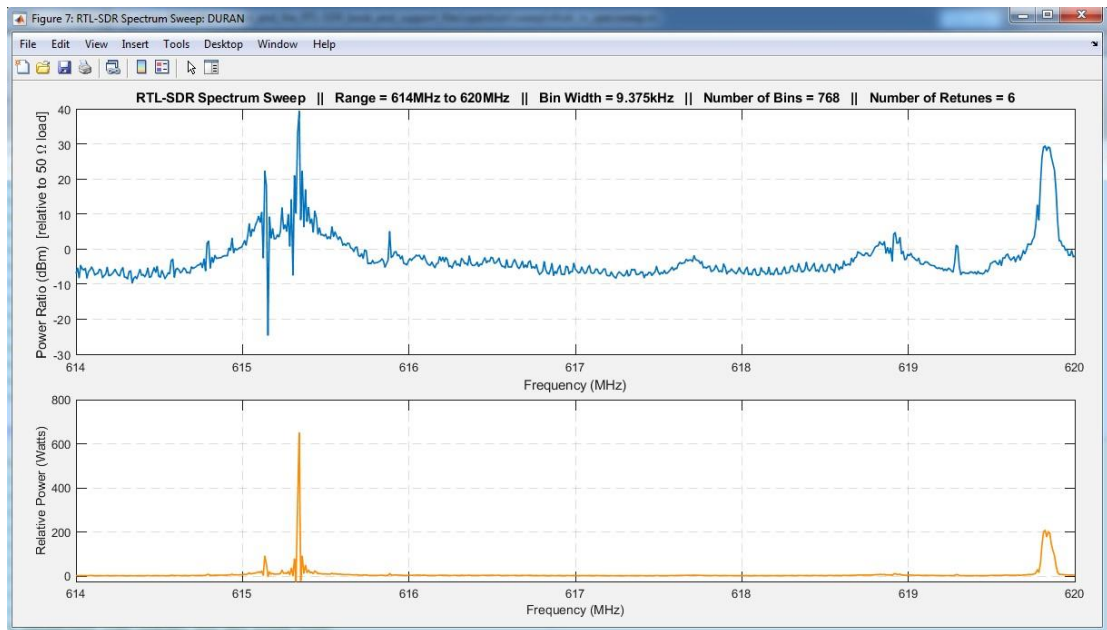
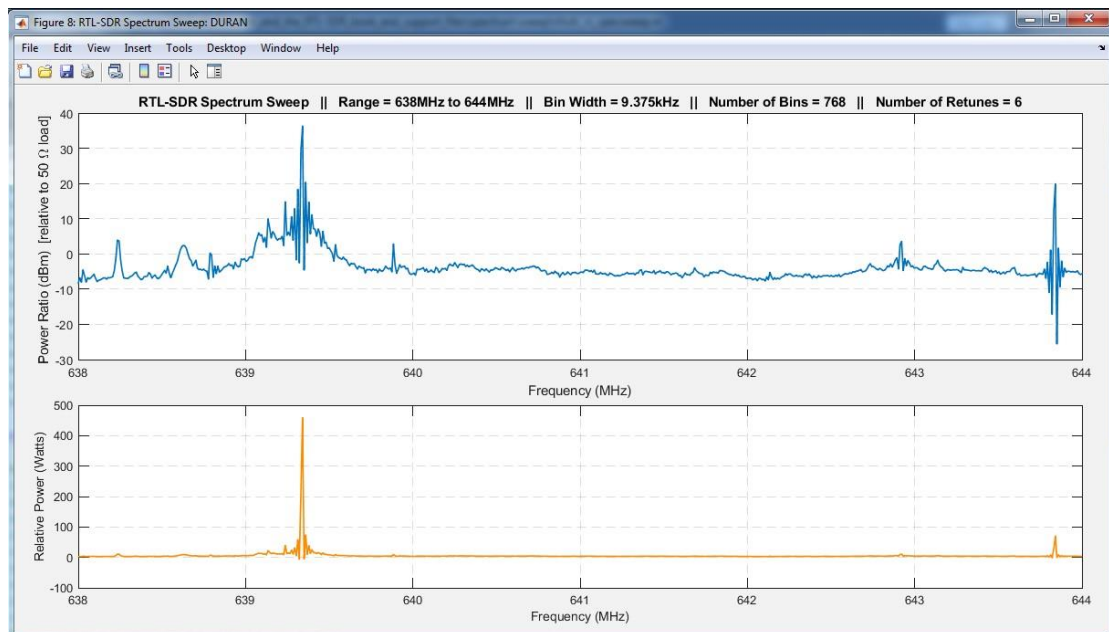


Figura 3.11 Canal 38

En el rango de 638 MHz a 644 MHz, en donde transmite el canal 42- UHF, se observa la portadora de video en 639,25MHz y la de audio en la frecuencia de 64.75 MHz. Ver Figura 3.12



3.12 Canal 42

3.2.3. Telefonía Móvil usando Matlab.

Se realiza un recorrido en la banda de 700 MHz, en la de 850 MHz, 1900 MHz y en AWS

Banda 700 MHz.

En la banda de 700 MHz se realiza un recorrido en el rango de 703 MHz a 803 MHz, la operadora Cnt, tiene concesionada de 733MHz a 748MHz para uplink y de 788 MHz a 803 MHz para downlink, por el que brinda 4G LTE.

En la *Figura 3.13* Banda 700 MHz

3, se observa ligeramente la banda de subida y con mucha claridad los 15 MHz asignados para banda de descarga LTE.

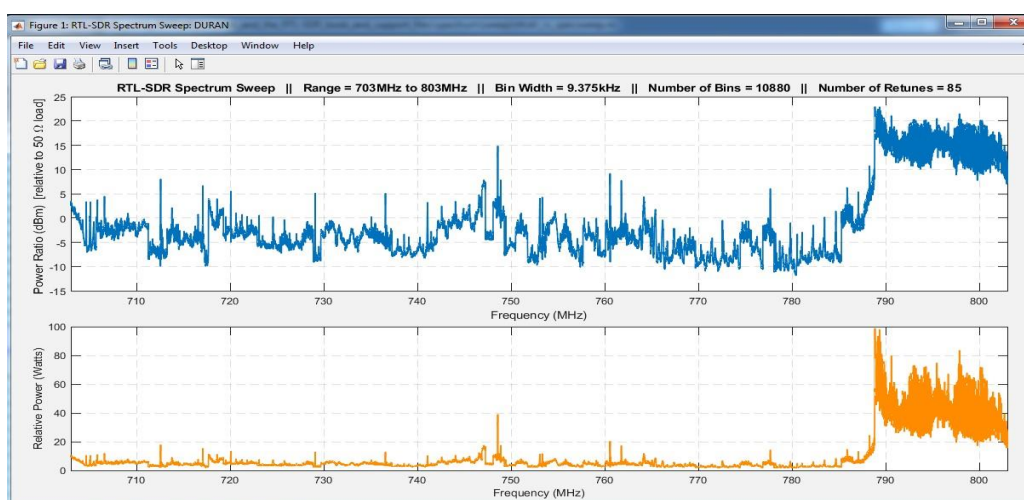


Figura 3.13 Banda 700 MHz

Banda de 850 MHz.

En la banda de 850 MHz se realiza un recorrido en el rango de 824 MHz a 900 MHz, la operadora Conecel tiene concesionada de 824MHz- 835MHz y de 845 MHz- 846.5 MHz para uplink y de 869MHz - 880MHz y de 890MHz - 891,5MHz para downlink, por el que ofrece GSM y UMTS.

La Operador Otecel tiene concesionada de 835MHz- 845MHz y de 846.5 MHz- 849MHz para uplink y de 880MHz - 890MHz y de 891.5MHz - 894MHz para downlink, por el que ofrece GSM y UMTS. Ver *Figura 3.14*

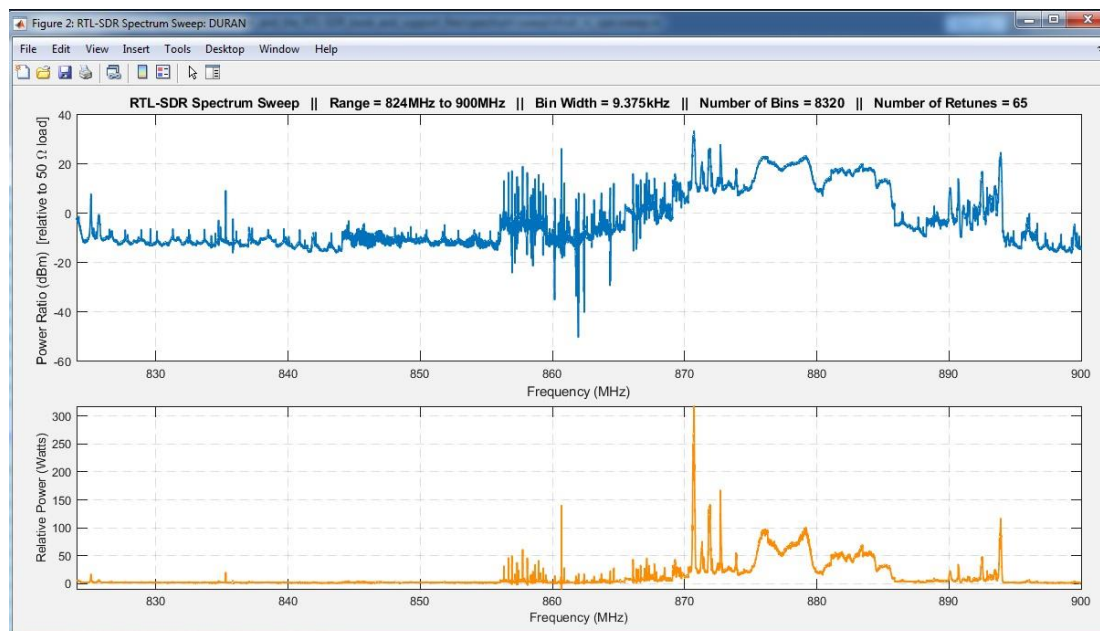


Figura 3.14 Banda 850

Banda 1900 MHz.

En la banda de 1900 MHz se realiza un recorrido en el rango de 1850 MHz a 1990 MHz, la operadora Otecel tiene concesionada de 1850MHz- 1880MHz para uplink y de 1930MHz - 1960MHz para downlink, por el que ofrece: 4G LTE y UMTS.

La Operador Conecel tiene concesionada de 1880MHz- 1895MHz para uplink y de 1960MHz - 1975MHz para downlink, por el que ofrece: GSM, UMTS y 4G LTE.

La Operadora CNT tiene concesionada de 1895MHz-1910 MHz para uplink y de 1975 a 1990 para downlink, por lo que ofrece UMTS. Ver *Figura 3.15* Banda 1900.

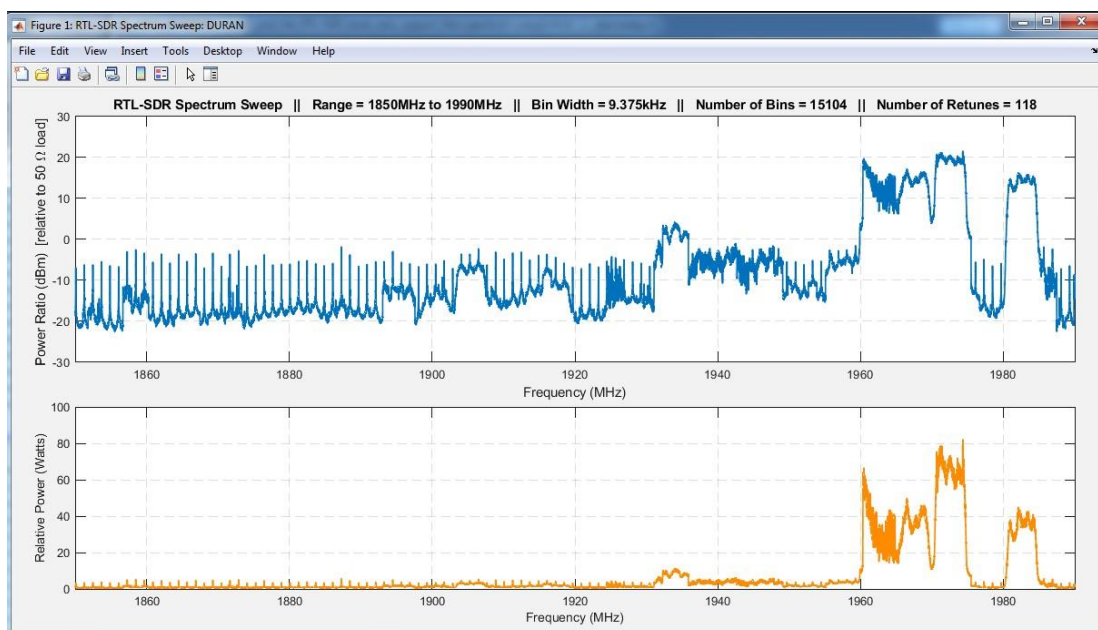


Figura 3.15 Banda 1900.

Banda AWS.

En la banda de AWS (1700MHz - 2100MHz) se realiza un recorrido en el rango de 1710 MHz a 2170 MHz, la operadora Cnt tiene concesionada de 1710MHz- 1730 MHz para uplink y de 2110MHz – 2130 MHz para downlink, por el que ofrece 4G LTE.

La Operador Conecel tiene concesionada de 1730MHz- 1750MHz para uplink y de 2130MHz – 2150MHz para downlink, por el que ofrece 4G LTE. *Figura 3.16*



Figura 3.16 Banda AWS

3.3. Barrido de frecuencias en el intervalo de operación del SDR.

Se realiza un barrido de frecuencias en el rango de 53 MHz-1.1 GHz, por el que se puede observar:

De 54 MHz a 88 MHz canales VHF de televisión, de 88.1 MHz a 107.7 MHz canales de radiodifusión sonora FM, de 174 MHz a 216 MHz canales VHF de televisión, de 470 MHz a 697.75MHz canales UHF de televisión, en la banda de 700 MHz (788MHz-803MHz) se observa telefonía móvil DL LTE de la operadora CNT, en la banda de 850 MHz (869 MHz-894 MHz) se observa: DL UMTS y DL GSM, de las operadoras de Conecel y Otecel. Ver *Figura 3.17*

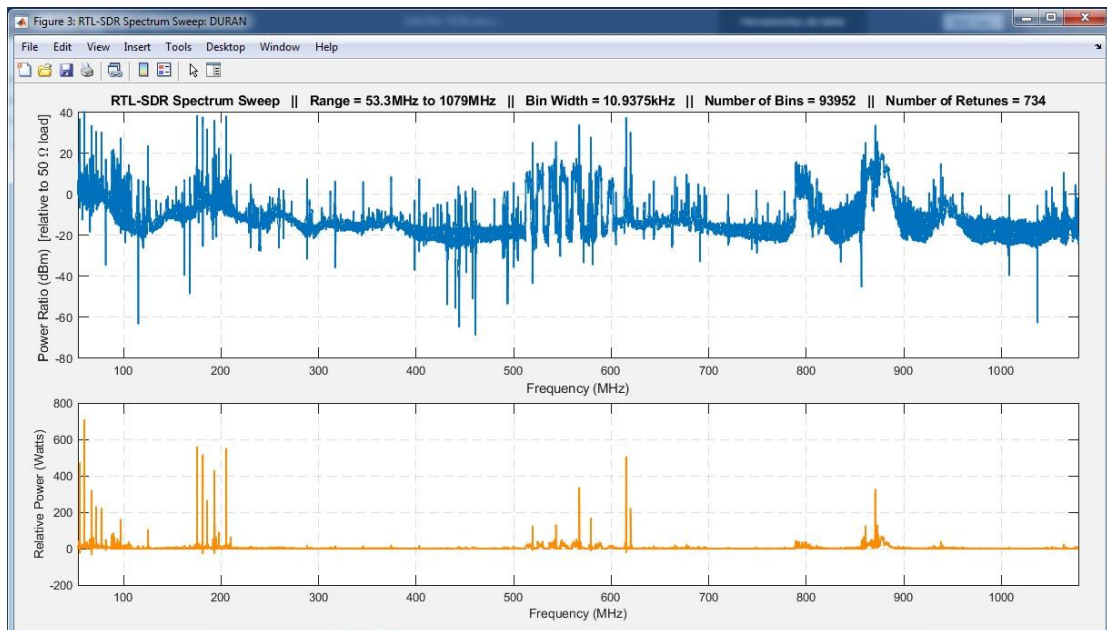


Figura 3.17 Gráfica de 53 MHz-1.1 GHz

En la *Figura 3.18* se observa la gráfica del barrido de frecuencia comprendido entre 1.2 GHz a 2.17 GHz, en la que se puede observar la banda de 1900MHz y la AWS, en la que trabaja la telefonía celular. Como es sintonizador zero if incorpora una componente DC, que agrega ruido en esta banda.

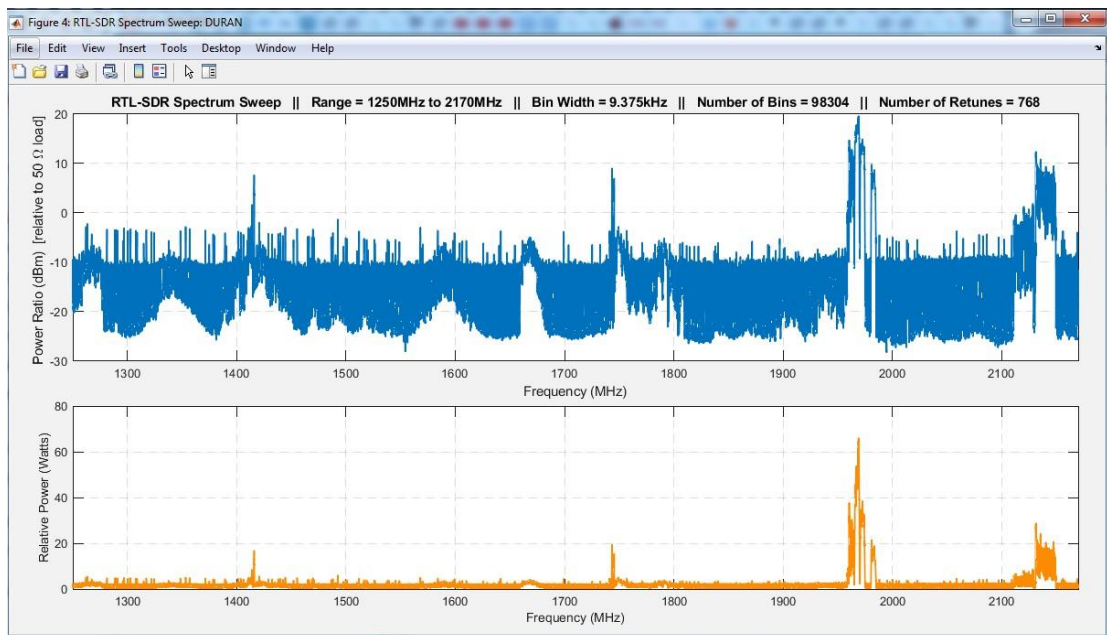


Figura 3.18 Gráfica de 1.2 GHz-2.17GHz

3.4. Contraste de resultados obtenidos del SDR con equipo analizador de espectro EMF 390.

Para contrastar los resultados obtenidos se realiza un barrido en los rangos de frecuencia que trabaja el EMF 390.

Del lado izquierdo se observa las mediciones realizadas con el EMF 390, y del lado derecho las mediciones desde Matlab realizadas con el SDR NooElec Model: rtl2832u + E4000.

Se realiza un barrido en el rango de: 50 MHz- 65 MHz, se registra la portadora correspondiente al canal 2, en el rango de 54 MHz a 60 MHz, en donde se observa en ambos gráficos la portadora de audio (59.75 MHz), mientras que la portadora de video es más notoria en el SDR en 55.25 MHz. Ver *Figura 3.19*

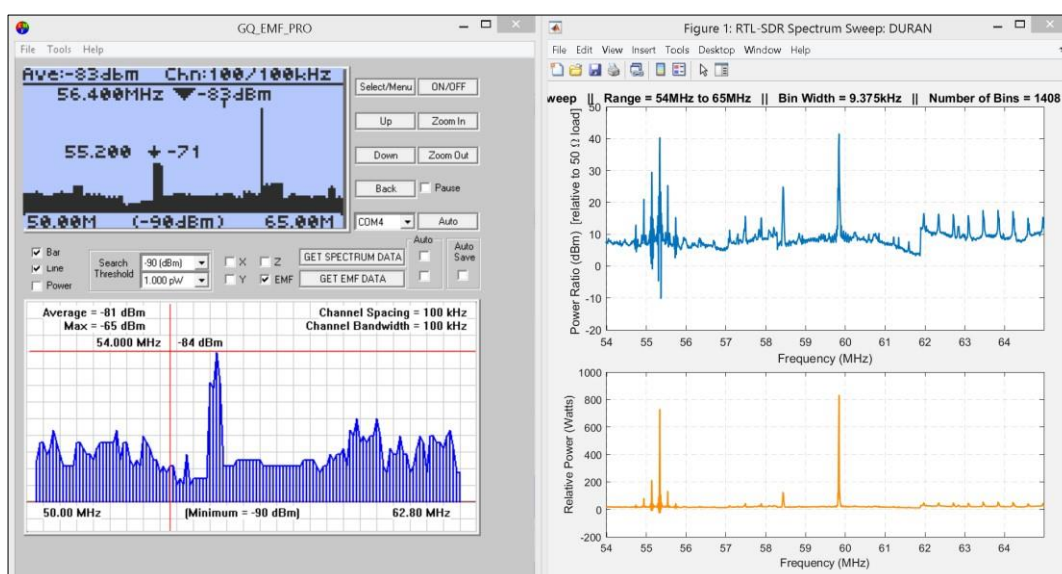


Figura 3.19 Rango 50 MHz- 65 MHz

Se realiza un barrido en el rango de: 65 MHz- 76 MHz, se registra la portadora correspondiente al canal: 3, 4, 5 en donde se observa en el gráfico obtenido por el equipo EMF-390 que se encuentra a la izquierda, la portadora de audio y video, sin embargo es difícil identificarlas, mientras en el gráfico de la derecha, la portadora de video se observa con claridad en 67.25 MHz y la de audio en 72.75 MHz. Ver *Figura 3.20*

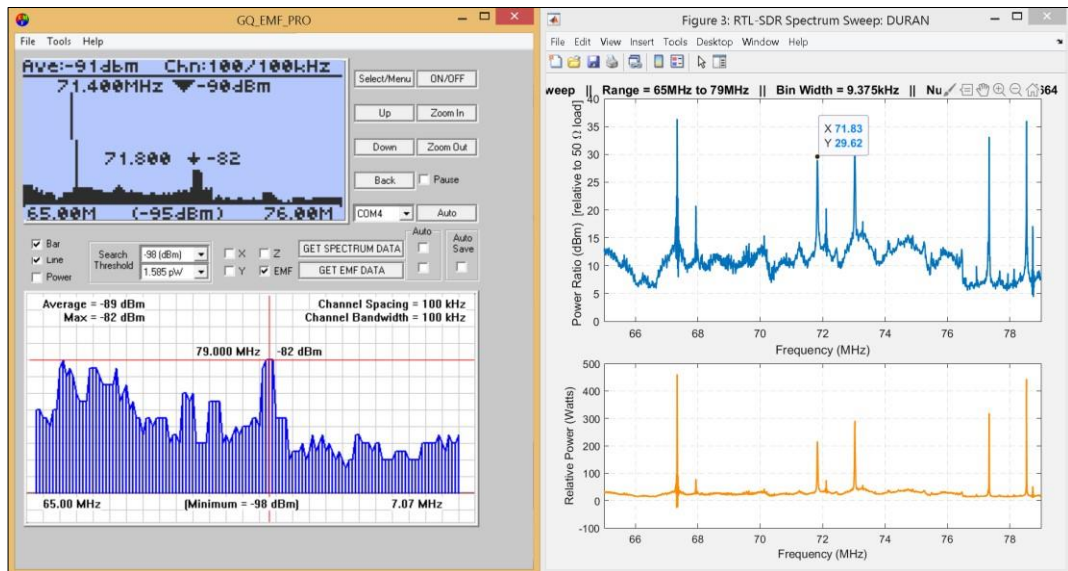


Figura 3.20 Rango 65 MHz- 76 MHz

Se realiza un barrido en el rango de: 76 MHz- 108 MHz, se registra la portadora correspondiente al canal: 5,6 en el rango de 76 MHz a 88 MHz, en el rango de 88 MHz a 108 MHz, se observa las diferentes portadoras de radio Fm, en ambas gráficas son notorias estas portadoras, sin embargo, el SDR tiene una mayor fidelidad en esta banda, permite observar con mayor detalle las portadoras que trabajan en esta frecuencia. Ver *Figura 3.21*

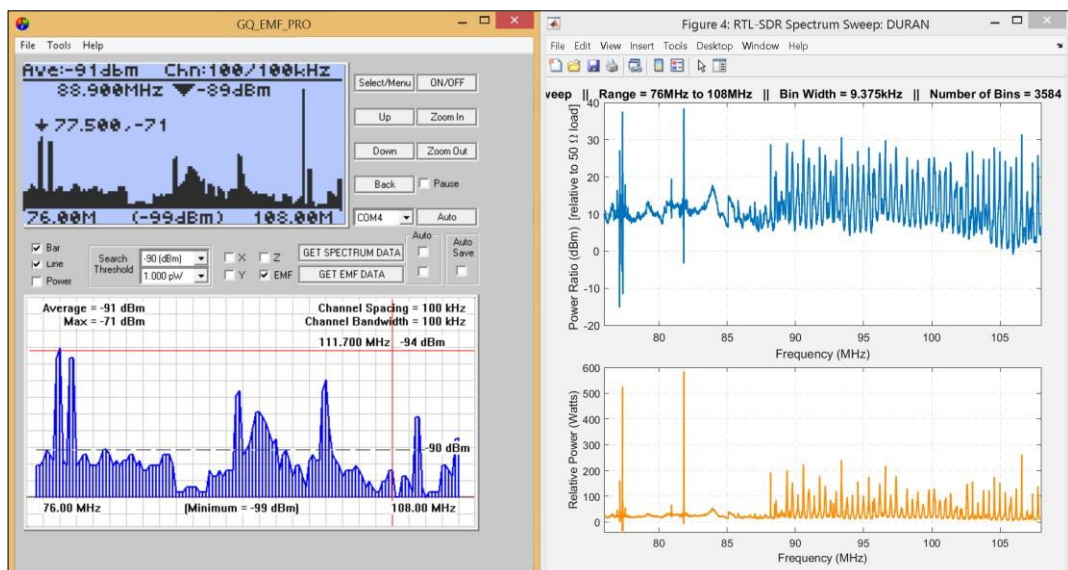


Figura 3.21 Rango 76 MHz-108 MHz.

El barrido se realiza en el rango de 240 MHz-1040MHz, en donde se puede registrar niveles de potencia en donde trabaja: tv analógica, tv digital, telefonía celular (banda 850MHz).

En las frecuencias comprendida de 470 MHz a 697 MHz, se registra tv analógica y digital, en la banda de 700 MHz se registra telefonía móvil LTE y en la banda de 850 MHz telefonía móvil 2G, 3G.

Ambas gráficas registran un comportamiento parecido en los niveles de potencia, en donde se registran tv y las portadoras telefonía móvil. Ver *Figura 3.22*

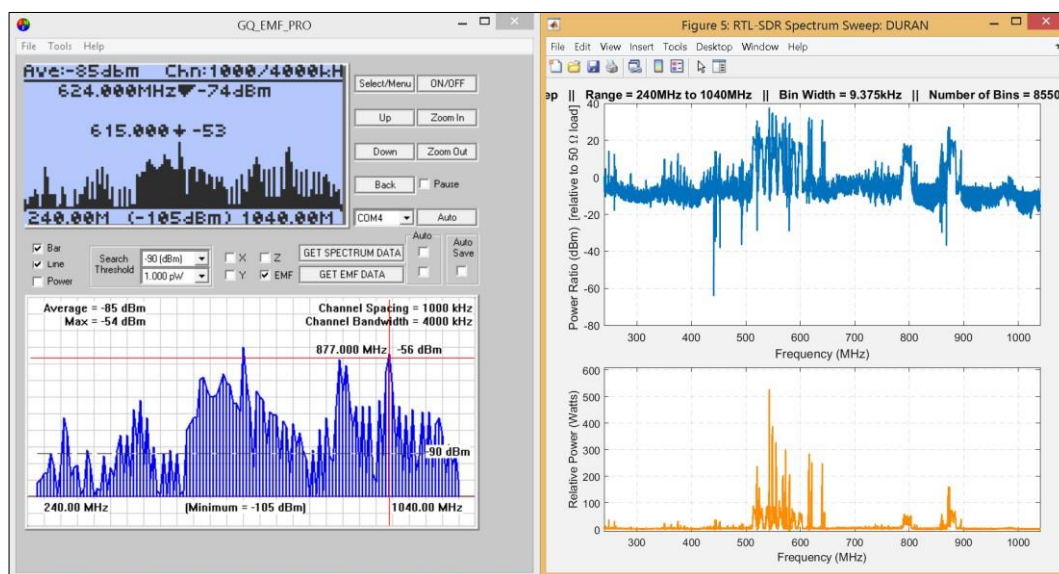


Figura 3.22 Rango 240 MHz-1040MHz.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Al realizar el contraste de resultados obtenidos mediante el SDR con el equipo analizador de espectro EMF-390, se observó que el SDR a pesar de ser más económico muestra mayor fidelidad en ciertas bandas y permite observar con mayor detalle el comportamiento de la señal en diferentes frecuencias, ya que tiene un rango de operación mucho mayor que la del equipo, permite un ajuste de frecuencia más específico lo que le permite mayor flexibilidad para ser usado en diferentes tipos de proyectos.
- Con las mediciones realizadas a través del SDR podemos concluir que es una herramienta practica y útil para realizar análisis en las frecuencias del espectro, se observa que existe congruencia entre los valores observados en lo que respeta a la distribución de los servicios implementados en el espectro ecuatoriano, lo que nos permite conocer el comportamiento de las señales que se encuentra presente en nuestro entorno.

4.2. Recomendaciones.

- Debido a las ventajas que existe en el equipo SDR, su bajo costo, su rango de operación, es recomendable implementarlo a nivel estudiantes para conocer el comportamiento del espectro en su entorno.
- En caso de querer visualizar la señal de televisión digital en las frecuencias asignadas es necesario disponer de un demodulador ISDB-T para poder visualizar los canales.
- Para realizar mediciones en lugares de difícil acceso es recomendable usar un equipo móvil, teléfono, Tablet y conectar el SDR mediante un adaptador USB, con la aplicación Rf Analyzer.
- Los resultados registrados dependen del lugar de donde se toman las mediciones, se realizaron cerca de un monopolio que brinda telefónica celular, por lo que se observa con claridad las frecuencias en donde este brinda servicio.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] N. P. Ortiz E, «Propuestas societarias y concursales para mitigar el impacto económico del covid-19 en Ecuador.,» *X-Pendientes económicos* , vol. 4, nº 8, pp. 38-48, 2020.
- [2] El Universo., «El Universo,» 1 abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/04/01/nota/7802343/coronavirusecuador-obligo-estudiar-distancia>. [Último acceso: 20 Junio 2020].
- [3] M. C. Viteri Rambay, *Medición, caracterización y modelamiento del rango de frecuencias asignado a servicios fijo-móvil (335-400 MHz) de la banda UHF del espectro electromagnético en la Fiec, Campus Prosperina (Tesis pregrado)*, Guayaquil: ESPOL, 2015.
- [4] ARCOTEL, «Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones,» [En línea]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec>. [Último acceso: 20 Agosto 2020].
- [5] Agencia de regulaciones y control de las telecomunicaciones, «Plan Nacional de Frecuencias,» Ecuador, 2017.
- [6] Arcotel, «Servicio Movil avanzado,» Ecuador, 2018.
- [7] F. Novillo, *Redes de comunicaciones Móviles.*, Ecuador..
- [8] H. Erazo, *Estudio y análisis de la tecnología de redes de frecuencia única(isofrecuencia), y su aplicación en la radiodifusión en las bandas de AM y FM para laa optimización del espectro electromagnetico en la ciudad de Quito.(Tesis pregrado)*, Quito: Universidad Politécnica Nacional, 2009.
- [9] S. S. Chirstian Moreira, «Diseño de algoritmo para la medición del espectro y determinación de la disponibilidad de canales conjuntos en la banda UHF-TV,

mediante el uso de dispositivos RTL-SDR para el interior de un inmueble de la zona urbana de Guayaquil. (Tesis pregrado),» ESPOL, 2018.

[10] GQ Electronics LLC Seattle , *GQ EMF-360V2/360+V2/380V2/390V2 User Guide*, WA, USA, 2020.

[11] ARCOTEL, «RADIODIFUSIÓN SONORA Y TELEVISIÓN ABIERTA,» Agosto 2020.

[12] ARCOTEL, «RADIODIFUSIÓN SONORA Y TELEVISIÓN ABIERTA,»
Noviembre 2015.

[13] Arcotel, «CANALIZACIÓN DE LAS BANDAS DE RADIODIFUSIÓN DE TELEVISIÓN ABIERTA,» Julio 2018.