



FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO TÉCNICO DE OCUPACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO  
PARA REDES DE SERVICIO MÓVIL AVANZADO (SMA) 5G EN EL ECUADOR

AUTOR

Galo Xavier Guayanlema Córdova

AÑO  
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO TÉCNICO DE OCUPACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO  
PARA REDES DE SERVICIO MÓVIL AVANZADO (SMA) 5G EN EL  
ECUADOR

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos  
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y  
Telecomunicaciones.

Profesor Guía

Mg. Pablo Geovanny Palacios Játiva

Autor

Galo Xavier Guayanlema Córdova

Año

2018

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, Estudio Técnico de Ocupación del Espectro Radioeléctrico para Redes de Servicio Móvil Avanzado (SMA) 5G en el Ecuador, a través de reuniones periódicas con el estudiante Galo Xavier Guayanlema Córdova, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Pablo Geovanny Palacios Játiva

Magister en Ingeniería de Redes de Comunicaciones.

C.I. 092786445-4

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado el trabajo, Estudio Técnico de Ocupación del Espectro Radioeléctrico para Redes de Servicio Móvil Avanzado (SMA) 5G en el Ecuador, a través de reuniones periódicas con el estudiante Galo Xavier Guayanlema Córdova, en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Johanna Rafaela Ortega Briones

Magister en Telecomunicaciones

C.I. 171457898-4

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

---

Galo Xavier Guayanlema Córdova

171772588-9

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y mi hermana por su apoyo en este proceso de aprendizaje, han sido esenciales para la culminación de esta etapa tan importante de mi vida.

## DEDICATORIA

A mi madre por ser la persona que constantemente me apoya y me guía para que cumpla todos mis objetivos de vida.

A mi padre por ser un ejemplo a seguir y quien me motiva a crecer personal y profesionalmente cada día.

## **RESUMEN**

La quinta generación de telefonía móvil 5G se proyecta a desarrollar avances significativos en las redes del Servicio Móvil Avanzado, por lo cual es necesario contar con una asignación de espectro armonizado que permita explotar todo el potencial de esta tecnología.

El presente proyecto de titulación plantea el monitoreo de ocupación del espectro radioeléctrico para redes del servicio móvil avanzado en el Ecuador. En la primera parte se realiza la sustentación teórica, dentro de la cual se detallan aspectos técnicos esenciales acerca del funcionamiento de una red móvil, características de redes 5G y la asignación de frecuencias para Servicio Móvil Avanzado en el Ecuador.

En el capítulo 2 se exponen los métodos para la obtención de datos, las bandas de frecuencia en estudio para 5G, además los lugares y equipos que se utilizarán para medir las bandas de frecuencias propuestas.

A continuación, en el tercer capítulo se presentan los resultados obtenidos del monitoreo a las bandas de frecuencia en estudio, con lo cual se determina si existe ocupación de las diferentes bandas de frecuencia a estudiar.

Finalmente, en el capítulo 4 se expone el análisis realizado a los resultados obtenidos en el monitoreo de bandas de frecuencia en estudio para redes 5G, con lo cual se logra concluir que es factible implementar redes de Servicio Móvil Avanzado 5G en las bandas de frecuencia propuestas.



## **ABSTRACT**

The fifth generation of 5G mobile telephony is projected to develop significant advances in the Advanced Mobile Service networks, for which it is necessary to have new and harmonized spectrum that allows obtaining the full potential of this technology.

The present graduation project proposes the monitoring of occupation of the radio spectrum for advanced mobile service networks in Ecuador. In the first part the theoretical support is carried out, within which are detailed essential technical aspects about the operation of a mobile network, characteristics of 5G networks and the assignment of frequencies for Advanced Mobile Service in Ecuador.

Chapter 2 describes the methods for obtaining data, the frequency bands under study for 5G, as well as the places and equipment that will be used to measure the proposed frequency bands.

Then, in the third chapter, the results obtained from the monitoring of the frequency bands under study are presented, which determines if there is occupation of the different frequency bands to be studied.

Finally, in chapter 4 the analysis is exposed to the results obtained in the monitoring of frequency bands under study for 5G networks, which concludes that it is feasible to implement 5G Advanced Mobile Service networks in the proposed frequency bands.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
1. Capítulo I. Marco Teórico .....	2
1.1 Funcionamiento de una red móvil. ....	2
1.1.1 Reutilización de frecuencias .....	3
1.1.2 Estructura de una red móvil. ....	6
1.2 Beneficios de 5G .....	6
1.2.1 Tipos de tecnologías de acceso para 5G.....	8
1.3 Ocupación del espectro radioeléctrico. ....	12
1.3.1 Bandas de frecuencia propuestas para 5G.....	12
1.3.2 Gestión del espectro radioeléctrico en el Ecuador.....	13
1.3.3 Organismos de Regulación y Control de Telecomunicaciones en el Ecuador. ....	14
1.3.4 Bandas de frecuencia asignadas para 2G y 3G en el Ecuador. ....	16
1.3.5 Bandas de frecuencia asignadas para 4G en Ecuador.....	17
2. Capítulo II. Metodología para la investigación.....	19
2.1 Proceso de monitoreo de bandas de frecuencia. ....	20
2.1.1 Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico SACER... ..	20
2.1.2 Analizador de espectro ANRITSU MS2724B.....	26
2.1.3 Analizador de Espectros HP 8564E.....	28
2.2 Bandas de Frecuencia a monitorear .....	30
2.2.1 Posibilidad de ocupación de las bandas para 5G en el Ecuador .....	31
2.3 Lugares de monitoreo de bandas de frecuencias.....	33
2.3.1 Descripción de lugares de monitoreo .....	35
3. Capítulo III. Monitoreo de bandas de Frecuencia para 5G	43

3.1 Monitoreo banda 700 MHz.....	43
3.1.1 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Quito.....	43
Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 758 -788 MHz.....	50
3.1.2 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Nueva Loja.....	57
3.1.3 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Esmeraldas.....	60
3.1.4 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Ibarra.....	63
3.1.5 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Tulcán.....	65
3.2 Monitoreo banda de frecuencia de 3.3 - 3.8 GHz.....	67
3.3 Monitoreo banda de frecuencia de 4.4 – 5.0 GHz.....	68
3.4 Monitoreo banda de frecuencia de 24.25 - 27.5 GHz.....	69
4. CAPÍTULO IV. Análisis de Resultados .....	72
4.1 Análisis de la banda de frecuencia de 700 MHz.....	72
4.1.1 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Quito.....	74
4.1.2 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Nueva Loja.....	74
4.1.3 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Esmeraldas.....	75
4.1.5 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Ibarra.....	75
4.1.6 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Tulcán.....	75

4.2 Análisis de monitoreo a la banda de frecuencia de 3.3 - 3.8 GHz.....	76
4.3 Análisis de Monitoreo banda de frecuencia de 4.4 – 5.0 GHz ...	76
4.4 Análisis de monitoreo a la banda de frecuencia de 24.25 - 27.5 GHz.....	77
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1 Conclusiones.....	77
5.2 Recomendaciones .....	78
REFERENCIAS .....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Sistema telefónico celular simplificado.....	3
<i>Figura 2.</i> Redes 5G Tomado de .....	7
<i>Figura 3.</i> Tecnología MIMO para 5G.....	9
<i>Figura 4.</i> Bandas primarias y complementarias para 5G .....	10
<i>Figura 5.</i> Esquema de bandas de frecuencia adoptado en la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012.....	18
<i>Figura 6.</i> Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255 – DIGITAL DIRECTION FINDER – SACER - ARCOTEL.....	22
<i>Figura 7.</i> Conmutador de antenas R&S ZS129A1 – SACER -ARCOTEL .....	22
<i>Figura 8.</i> Receptor GPS de referencia GPS 129 - SACER - ARCOTEL .....	23
<i>Figura 9.</i> Antena R&S HE500 (20 – 3000 MHz) polarización vertical.....	24
<i>Figura 10.</i> Receptor GPS de posicionamiento GPS16LVS .....	24
<i>Figura 11.</i> Brújula R&S GH150. ....	25
<i>Figura 12.</i> Software ARGUS. ....	25
<i>Figura 13.</i> Software MAPVIEW. ....	26
<i>Figura 14.</i> Analizador de espectro ANRITSU MS2724B. ....	27
<i>Figura 15.</i> Analizador de espectros HP 8564E.....	29
<i>Figura 16.</i> Prueba de 5G y plan de espectro comercial en mercados líderes para 2020. ....	30
<i>Figura 17.</i> Ubicación de los lugares de monitoreo. ....	35
<i>Figura 18.</i> Mapa Geográfico 3D Edificio Coordinación Zonal 2 ARCOTEL – Quito.....	36
<i>Figura 19.</i> Antena R&S HE500 – Edificio Coordinación Zonal 2 ARCOTEL – Quito .....	36
<i>Figura 20.</i> Mapa Geográfico 3D Aeropuerto de Nueva Loja – Nueva Loja. ....	37
<i>Figura 21.</i> Antena R&S HE500 – Aeropuerto de Nueva Loja – Nueva Loja.....	38
<i>Figura 22.</i> Mapa Geográfico 3D Aeropuerto Coronel Carlos Concha Torres – Esmeraldas. ....	39
<i>Figura 23.</i> Antena R&S HE500 - Aeropuerto Coronel Carlos Concha Torres – Esmeraldas. ....	39

<i>Figura 24.</i> Mapa Geográfico 3D Edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra - Ibarra.....	40
<i>Figura 25.</i> Antena R&S HE500 - Edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra - Ibarra.....	41
<i>Figura 26.</i> Mapa Geográfico Edificio del Municipio de Tulcán - Tulcán.....	42
<i>Figura 27.</i> Antena R&S HE500 Edificio del Municipio de Tulcán - Tulcán.....	42
<i>Figura 28.</i> Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 703 – 733 MHz – Quito.....	44
<i>Figura 29.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 738 MHz – Quito. ....	45
<i>Figura 30.</i> Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 733 – 738 MHz – Quito.....	46
<i>Figura 31.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 738 – 743 MHz – Quito. ....	47
<i>Figura 32.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 738 – 743 MHz – Quito.....	48
<i>Figura 33.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 743 – 748 MHz – Quito. ....	49
<i>Figura 34.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 743 – 748 MHz – Quito.....	50
<i>Figura 35.</i> Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 758 – 788 MHz – Quito.....	51
<i>Figura 36.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 788 – 793 MHz – Quito. ....	52
<i>Figura 37.</i> Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 788 – 793 MHz – Quito. ..	53
<i>Figura 38.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 793 – 798 MHz – Quito.....	54
<i>Figura 39.</i> Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 793 – 798 MHz – Quito. ....	55

<i>Figura 40.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 798 – 803 MHz – Quito. ....	56
<i>Figura 41.</i> Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 798 – 803 MHz – Quito. ....	57
<i>Figura 42.</i> Monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Nueva Loja. ....	58
<i>Figura 43.</i> Mapa de cobertura de la operadora CNT EP. ....	59
<i>Figura 44.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 803 MHz – Nueva Loja.....	60
<i>Figura 45.</i> Monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Esmeraldas. ....	61
<i>Figura 46.</i> Mapa de cobertura de la operadora CNT EP. ....	62
<i>Figura 47.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 803 MHz – Esmeraldas.....	63
<i>Figura 48.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 803 MHz – Ibarra. ....	64
<i>Figura 49.</i> Monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Ibarra. ....	65
<i>Figura 50.</i> Monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Tulcán. ....	66
<i>Figura 51.</i> Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 803 MHz – Tulcán.....	67
<i>Figura 52.</i> Monitoreo del espectro con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 3.3 – 3.8 GHz – Quito.....	68
<i>Figura 53.</i> Monitoreo del espectro con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 4.4 – 5.0 GHz – Quito.....	69
<i>Figura 54.</i> Antena ETS 3116 rango de operación de 18 – 40 GHz. ....	69
<i>Figura 55.</i> Monitoreo del espectro con el analizador de espectro HP 8546E, en el rango de 24.25 a 27.5 GHz – Quito.....	70
<i>Figura 56.</i> Monitoreo del espectro con el analizador de espectro HP 8546E, en el rango de 24 a 25 GHz – Quito.....	71
<i>Figura 57.</i> Monitoreo del espectro con el analizador de espectro HP 8546E, en el rango de 26 a 27 GHz – Quito.....	71
<i>Figura 58.</i> Monitoreo del espectro con el analizador de espectro HP 8546E, en el rango de 27 a 28 GHz – Quito.....	72
<i>Figura 59.</i> Gráfico de espectro disponible y asignado en la banda de 700 MHz...	74

*Figura 60.* Gráfico de espectro disponible y asignado en la banda de  
3.3 a 3.8 GHz. .... 76



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Rangos de frecuencia en estudio para 5G .....	12
Tabla 2.Bandas de frecuencia asignadas para 2G-3G en el Ecuador.....	16
Tabla 3.Bandas de frecuencia asignadas para 4G en el Ecuador.....	19
Tabla 4.Bandas de Frecuencia a monitorear.....	31
Tabla 5.Posibilidad de ocupación de frecuencias en el Ecuador.....	31
Tabla 6. Cantidad de espectro asignado en la banda de 3400 – 3600 MHz. ....	33
Tabla 7.Lugares de monitoreo.....	34
Tabla 8.Situación actual de la banda de 700MHz en el Ecuador. ....	73

## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador existen diversas posibilidades para implementar redes de Servicio Móvil Avanzado (SMA), es así que esto se refleja en un informe emitido por el Ministerio de Telecomunicaciones, puesto que analiza la probabilidad de mejorar las bandas de frecuencia, todo esto relacionado con el estudio del espectro radioeléctrico, facilitando la ampliación de las redes, inclusive especifican que pueden añadirse nuevas operadoras de telefonía móvil.

A inicios del segundo trimestre del 2014, el Ministerio de Telecomunicaciones señaló la existencia de bandas disponibles para SMA, entre los cuales se encuentran de 700MHz, 1700MHz, 1900MHz, 2100MHz y hasta 2500MHz. Cabe mencionar que en el país el espectro radioeléctrico forma parte del recurso renovable, el mismo que se encuentra tipificado en la actual Constitución. (Gallegos, 2014)

La idea de mejorar las redes de SMA viene en conjunto con el apoyo de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, este organismo menciona la necesidad de establecer análisis del espectro de radioeléctrico relacionados con los cambios y exigencias actuales, para esto se debe planificar acciones para diferentes plazos (corto, mediano, largo). Por lo tanto, a partir de la idea de mejorar las redes la entidad encargada del sector de Telecomunicaciones ha comenzado a despejar las bandas, para que al final sea utilizado como parte del espectro.

Además, el análisis de la ocupación del espectro radioeléctrico para redes de SMA representa o ayuda a enmarcar el cambio para mejorar las redes de Servicio Móvil Avanzado (SMA) relacionados con la nueva tecnología denominada 5G.

En este sentido, la nueva tecnología 5G hasta el momento se encuentra en periodo de prueba, según algunos expertos señalan que esto ofrecerá grandes

cambios en SMA, es así que la velocidad mínima será de un gigabyte por segundo (Comisión Europea, 2017).

## **1. Capítulo I. Marco Teórico**

### **1.1 Funcionamiento de una red móvil.**

La telefonía móvil funciona utilizando ondas de radio como tecnología de última milla. Un equipo terminal actúa como emisor y receptor simultáneamente, dicho terminal se comunica con la antena más cercana, a la cual se denomina estación base o BTS en arquitectura GSM, nodo B en arquitectura UMTS y eNode B en LTE (Pignataro, 2013).

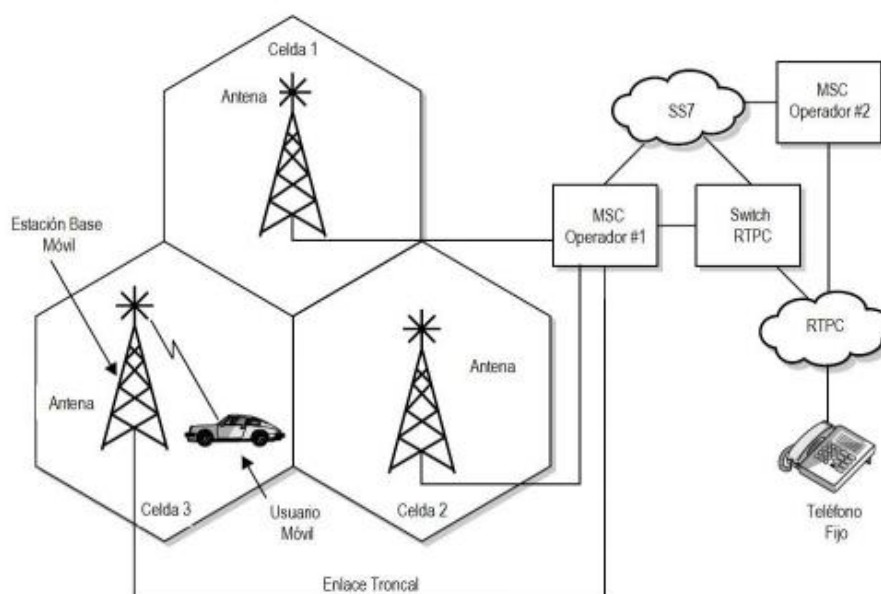
Para que la comunicación sea efectiva, el terminal móvil debe estar en el área de cobertura de una antena. Esta tiene un alcance limitado y cubre una pequeña área alrededor, llamada "celda" (de ahí el otro nombre de "red de celdas" o "red celular" utilizado a menudo para designar las redes móviles). Para cubrir el máximo territorio y garantizar que los usuarios puedan siempre acceder a la red móvil, los operadores despliegan miles de celdas, cada una equipada con estaciones base, asegurándose de que no existan huecos entre ellas (Campany, 2013).

Cada una de las celdas se comunica en una frecuencia determinada, con la finalidad que no existan interferencias con las celdas adyacentes, y finalmente enlaza con los terminales de los clientes.

A continuación se describe un ejemplo del funcionamiento de una red móvil basada en la arquitectura GSM.

Una estación móvil (equipo terminal) se comunica con la BTS, de la BTS la señal se traslada a los BSC (controlador de estaciones base), que actúan como concentradores de varias BTS. Por último, la señal llega a los MSC (centro de conmutación móvil), que se encargan de establecer la comunicación entre terminales móviles o con la PSTN.

Un sistema celular se forma al dividir el territorio al que se pretende dar servicio en células de mayor o de menor tamaño cada una de las cuales es atendida por una BTS. Como se observa a continuación en la figura 1, la representación de una celda se la realiza de forma hexagonal, la cual fue elegida debido a que es la forma que más se asemeja a un círculo, además de que el hexágono encaja perfectamente, eliminando así, huecos entre hexágonos adyacentes.



*Figura 1.* Sistema telefónico celular simplificado.

Tomado de (UNAD, s.f.)

Una célula o celda es definida por el nivel de cobertura, concentración de usuario dentro del área, y el tráfico generado, por lo cual cada proveedor es quien define la cantidad de celdas a utilizar, considerando el nivel de cobertura que desea ofertar.

### 1.1.1 Reutilización de frecuencias

El principio en redes celulares es la reutilización de frecuencias que consiste en el uso de canales de radio de la misma frecuencia (portadora) para cubrir

distintas áreas geográficas, estas frecuencias deben estar separadas entre ellas lo suficiente para que no afecte la interferencia entre canales, que puede ser co-canal o adyacente, lo cual se abordará más adelante.

Para evitar la interferencia en la reutilización de frecuencias, se necesita que las celdas que utilizan el mismo conjunto de frecuencias se encuentren a cierta distancia.

A continuación se realiza la demostración matemática del concepto de reutilización de frecuencias, tomando en cuenta el área de cobertura con cierta cantidad de canales dúplex disponibles. A cada área geográfica se le asigna un grupo de frecuencias que se divide entre  $N$  número de celdas en un agrupamiento único y ajeno, donde cada celda posee la misma cantidad de canales. Por esto, la cantidad disponible de radiocanales se lo puede expresar con la fórmula a continuación presentada.

$$F = GN \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

$N$ : número de canales en un clúster.

$G$ : número de canales en una celda

$F$ : cantidad de canales full dúplex que se dispone dentro de un clúster,

$$Y \quad G < F$$

Se considera un grupo al conjunto de celdas que usan los mismos canales disponibles. Cuando se tiene  $m$  veces en un sistema, los canales dúplex se los puede determinar con la fórmula:

$$C = mGN \quad (\text{Ecuación 2})$$

O a su vez:

$$C = mF \quad (\text{Ecuación 3})$$

Dónde:

$C$ : Capacidad de canales

$M$ : Cantidad de unidades de asignación

Considerando las ecuaciones 2 y 3, se tiene que la capacidad de canales dentro de un sistema es directamente proporcional al número de veces que este se duplica dentro de un grupo en cierta área de frecuencia. El factor  $N$  es el tamaño del grupo, y por lo general es de 3,7 o 12 celdas. Cuando el tamaño del grupo disminuye y se mantiene constante el tamaño de la celda, se necesita más unidades de asignación para dar cobertura a dicha área, como resultado se tiene que la capacidad es mayor. El factor de reutilización de canales en un sistema celular es inversamente proporcional a la cantidad de células que posee un grupo, es decir que es igual a  $1/N$ . Por lo que,  $1/N$  es correspondiente a cada celda dentro de un grupo (Huidrobo, 2013).

Se utiliza la forma hexagonal para representar una celda, la cual tiene 6 celdas equidistantes vecinas, y las líneas que unen los centros de cualquier celda con los de sus vecinas forman ángulos de  $60^\circ$ . Por lo anterior, es posible tener una cantidad limitada de tamaños de un grupo y de distribución de celdas. Para unir celdas sin solapamiento entre ellas, la geometría de un hexágono es tal que la cantidad de celdas por grupo solo pueden tener valores que satisfagan la siguiente ecuación:

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Dónde:

$N$  = cantidad de celdas por grupo

$i$  y  $j$  = valores enteros positivos

El proceso de determinar la fila con celdas de canal compartido más cercanas es el siguiente:

1. Recorrer  $i$  celdas sucesivas por su centro.
2. Dar vuelta  $60^\circ$  en dirección contraria a las manecillas del reloj.
3. Recorrer  $j$  celdas hacia delante, pasando por el centro de las celdas.

### **1.1.2 Estructura de una red móvil.**

La arquitectura de una red móvil varía en sus elementos dependiendo su generación, pero existen elementos comunes que permiten que los usuarios puedan conectarse utilizando diferentes tecnologías, de manera general una red de comunicaciones móviles se encuentra compuesta por los elementos a continuación detallados:

- Estación móvil (MS) son los equipos terminales que suministran el servicio al usuario final, cada MS puede actuar como emisor, receptor o en ambos modos.
- Estación Base (BTS) es la encargada del control entre la interfaz de radio y el terminal móvil (MS). Se compone de equipos transmisores y receptores de radiofrecuencia, procesadores de la señal y elementos de outdoor como antenas, feeders y conectores.
- Estación de control (BSC) se encarga de las funciones relacionadas al manejo de radio, como son: handover, asignación de canales de radio y configuraciones de radiobases. Controla un número determinado de BTS.
- Centro de conmutación (MSC) es el que permite la conexión entre las redes públicas y privadas con la red de comunicaciones móviles, así como la interconexión entre estaciones móviles localizadas en distintas áreas geográficas de la red móvil.

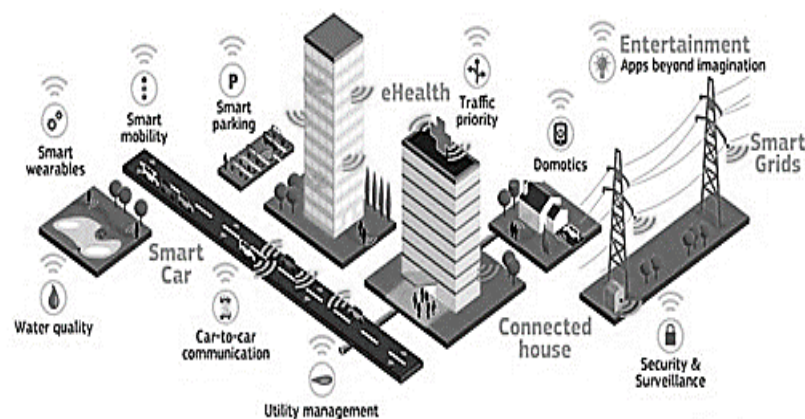
## **1.2 Beneficios de 5G**

Se mantiene altas expectativas con respecto al impacto que ocasionará la introducción de redes y servicios 5G, a continuación se despliega los principales beneficios de las redes 5G.

- Banda ancha móvil de muy alta velocidad y capacidad, lo cual permitirá velocidades en movilidad superiores a los 100 Mbit/s y picos de hasta 1 Gbit/s, uno de las funciones que permitiría ofrecer contenidos en ultra alta definición o experiencia en realidad virtual.

- Comunicaciones de baja latencia y ultra fiables, tiempos de respuesta de alrededor de 1 ms, a diferencia de los 20 o 30 ms en redes 4G. Esta característica permitiría realizar un correcto funcionamiento para aplicaciones que necesitan esta característica, por ejemplo en el campo de la telemedicina, sistemas de seguridad y control de equipos en tiempo real, etc.
- Comunicaciones masivas tipo M2M (máquina a máquina). Se incrementaría la capacidad para gestionar una gran cantidad de conexiones simultáneas, por ejemplo, el despliegue masivo de sensores, IoT (internet de las cosas) y el crecimiento de servicios de big data.

A continuación, en la figura 2 se muestra algunos de las principales aplicaciones en las cuales 5G aportará de manera significativa como internet de las cosas, M2M, entre otros.



*Figura 2. Redes 5G.*

Tomado de (Gemalto , 2017)

La tecnología 5G permitirá, por ejemplo, gestionar el incremento de tráfico esperado en movilidad (que se estima se multiplicará por 8 en los siguientes 5 años (Comisión Europea, 2017)). De la misma manera 5G soportará el incremento masivo de dispositivos que se espera asociado al internet de las cosas (se estima que a nivel mundial pasará de 15400 millones de dispositivos



en 2015 a 75400 millones en el año 2025 (Fratlicelli, 2017)). Por otra parte, permitirá reducir los tiempos de descarga de diferentes archivos hasta en 100 veces a la velocidad actual, permitiendo aplicaciones de realidad virtual y movilidad, de esta manera, una película en HD (alta definición) pasará a descargarse en un tiempo aproximado de 4,8 segundos(Comisión Europea, 2017).

### **1.2.1 Tipos de tecnologías de acceso para 5G**

5G no tendrá una sola tecnología de acceso específica, debido a que uno de sus principales objetivos es lograr la convergencia, motivo por el cual, deberán evolucionar los métodos de acceso de radio que existen en la actualidad(Arias & Crespo, 2016).

A continuación se detallan los principales tipos de tecnologías de acceso para la tecnología 5G.

#### **MIMO**

MIMO (Múltiple Input – Múltiple Output) es una tecnología de radio comunicaciones en la que se dispone de enlaces de radio con múltiples antenas tanto del lado del transmisor como del receptor. Gracias a las múltiples antenas, la dimensión espacial puede ser explotada para mejorar el desempeño del enlace inalámbrico, haciendo también que la señal sea más fuerte, confiable y las transmisiones más rápidas.

En la actualidad se ha empleado MIMO para tecnologías como WiFi, HSPA+ y LTE, lo cual ha permitido mejorar en gran medida la fiabilidad del enlace y aumentar su capacidad (Agredo-Méndez, Jojoa-Gómez, & Almenar-Terré, 2015).

MIMO se ha utilizado también en tecnologías de tercer y cuarta generación (3G y 4G) con arreglos de 2x2 y hasta 8x8 antenas, el aumentar el número de antenas tiene como objetivo aprovechar las grandes ganancias de capacidad que surgen de arreglos mucho más grandes, este paradigma se conoce como MIMO a gran escala (L-MIMO, Large MIMO), dentro del cual se encuentran

inmersas tecnologías como MIMO masivo y MIMO de dimensiones completas (FD-MIMO).

En la figura 3 se puede observar las diferencias de funcionamiento de la tecnología de acceso para redes 4G y MIMO para redes 5G.

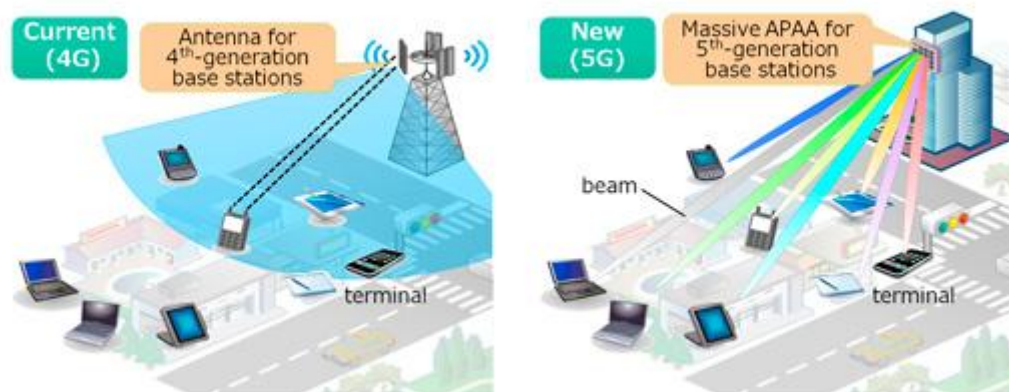


Figura 3. Tecnología MIMO para 5G.

Tomado de (National Instruments, 2017)

Entre las ventajas que provee L-MIMO sobre los sistemas MIMO convencionales esta un mejor equilibrio entre la eficiencia espectral y la eficiencia energética, así como también las altas tasas de datos y mayor fiabilidad.

MIMO masivo indica que al contar con una gran cantidad de antenas en la estación base (BTS), lo perfila evidentemente como una alternativa a las necesidades de 5G al ofrecer beneficios tales como mayor eficiencia espectral y aumento de capacidad del sistema y en las velocidades de datos hacia los usuarios (Larsson, Edfors, Tufvesson, & Marzetta, 2013)

### **Ondas milimétricas.**

Las ondas milimétricas (mmW), son ondas de frecuencias comprendidas en el rango de 30 GHz y 300 GHz, consideradas como Frecuencia Extremadamente

Alta (EHF) según la UIT. Esta banda tiene una longitud de onda de uno a diez milímetros, de ahí su nombre.

La principal desventaja de utilizar ondas milimétricas es sin duda el factor de pérdida, el cual es muy alto ya sea por propagación o por absorción atmosférica. A pesar de las desventajas expuestas, existen mayores ventajas de utilizar ondas milimétricas, por ejemplo: el tamaño de las antenas es mucho menor y existe mucho más espectro disponible, a 60 GHz existe 9 GHz sin licencias.

Debido a la capacidad y velocidad de transmisión requerida para 5G, el uso de sistemas basados en ondas milimétricas (mm-wave), supone una solución muy promisoría para la entrega eficiente de datos de alta capacidad (Parales, 2017).

Por su alto potencial para soportar canales de banda ancha más amplios y por consiguiente la capacidad de entregar altos volúmenes de datos se requiere un incremento en la cantidad de espectro asignado para 5G, por lo antes expuesto las bandas de altas frecuencias en ondas por centímetro (cm-wave) y ondas por milímetro deberán ser adoptadas.

En la figura 4 mostrada a continuación se expone como la conferencia mundial de radiocomunicaciones (WRC), concuerda en que las bandas por debajo de los 6GHz serán de uso primario para 5G y las que están por encima de los 6GHz serán bandas complementarias, dentro de las cuales se utilizaría ondas milimétricas(Huawei Technologies, 2015).

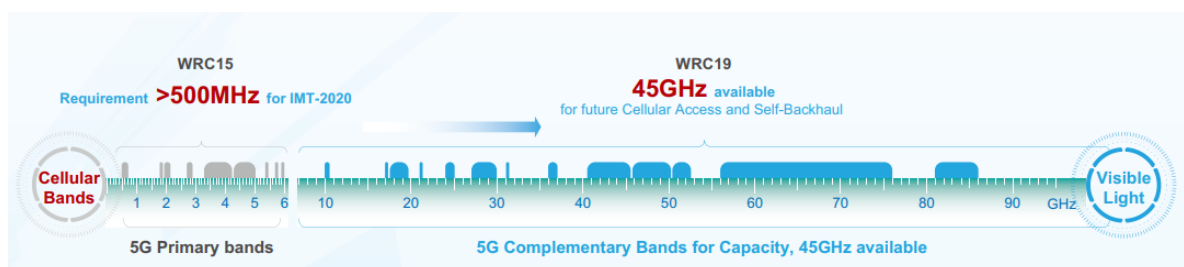


Figura 4. Bandas primarias y complementarias para 5G.

Tomado de (Huawei Technologies, 2015)

## Radio cognitiva

La radio cognitiva es considerado un paradigma de las redes inalámbricas con el potencial de realizar un uso eficiente del espectro radioeléctrico, permite tanto a las redes como los mismos nodos inalámbricos variar los parámetros particulares ya sea de transmisión o recepción para ejecutar su función sin interferir con los usuarios autorizados.

Esto se logra a través de lo conocido como ciclo cognitivo, el cual consta de cuatro etapas, que son las siguientes:

- Detección del espectro, consiste en detectar el espectro desaprovechado y utilizarlo, sin que esto provoque interferencias negativas en otros usuarios, la alternativa más acertada de encontrar espectro no utilizado es detectando a los usuarios principales (Primary Users).
- Decisión del espectro, en esta etapa se seleccionan las bandas de frecuencia a utilizar.
- Compartición del espectro, se debe encontrar un método esquemático de distribución del espectro el cual sea equitativo y justo para todos los usuarios, se debe evitar interferir en las transmisiones de usuarios legítimos.
- Movilidad, es el proceso con el cual la radio cognitiva cambia su frecuencia de transmisión o recepción, las radios cognitivas están ideadas para cambiar a mejores bandas de manera constante, este proceso debe ser imperceptible para el usuario.

Se considera que las etapas más críticas del ciclo cognitivo son la detección y decisión, dado que dichas etapas requieren mayores exigencias de hardware para la adecuada detección de los Primary Users (PU) y potenciales problemas de seguridad en la red (Palacios, 2017).

Radio cognitiva proporcionará a 5G cierto grado de inteligencia artificial a los dispositivos de telecomunicaciones de manera que estos tengan la capacidad de escanear el espectro y realizar ciertas tareas que van desde la identificación

de canales de espectro libre y la asignación de tráfico a dichos canales, con lo cual garantizará no solo la alta velocidad de transmisión, sino la interconexión de más dispositivos.

### **1.3 Ocupación del espectro radioeléctrico.**

En materia de administración del espectro radioeléctrico, el Plan Nacional de Frecuencias es el documento que establece las normas para la atribución de las bandas y canales radioeléctricos para los diferentes servicios de radiocomunicaciones (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017).

#### **1.3.1 Bandas de frecuencia propuestas para 5G.**

La asignación de bandas de frecuencia del espectro destinadas al uso para los servicio 5G se acuerdan en las conferencias mundiales de radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). De acuerdo a lo acordado en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2015 (CMR-15) para que 5G alcance su potencial completo, los operadores móviles dependen de la obtención de un espectro armonizado amplio, a través de 3 rangos de frecuencia clave.

Las tres rangos de frecuencias necesarios para el 5G son: inferiores a 1 GHz, de 1 a 6 GHz, y por encima de los 6 GHz (GSMA, 2016).

Para comprender de mejor manera en la tabla 1 se presentan los rangos de frecuencias en estudio para asignación a redes 5G.

Tabla 1.

#### *Rangos de frecuencia en estudio para 5G*

<b>Banda de frecuencias</b>	<b>Situación actual</b>
< 1GHz	La Comisión Europea plantea utilizar la banda de 700

	MHz.
	FCC plantea utilizar la banda de los 600 MHz.
	La UIT considera la posibilidad de identificar espectro adicional de 470-694/8 MHz para banda ancha móvil en 2023.
1 -6 GHz	Existe un creciente interés en el mundo de utilizar el espectro: 3,3 - 3,8 GHz y el rango de 3,4 - 3,6 GHz como base para los primeros servicios comerciales 5G. Se está explotando la posibilidad de utilizar las bandas: 3,8 - 4,2 GHz y 4,8 - 4,99 GHz.
> 6 GHz	Este espectro es necesario para sustentar velocidades ultra rápidas de banda ancha móvil 24,25-27,5 GHz, 31,8-33,4 GHz, 37-43,5 GHz, 45,5-50,2 GHz, 50,4-52,6 GHz, 66-76 GHz y 81-86 GHz.

### 1.3.2 Gestión del espectro radioeléctrico en el Ecuador.

Tomando como referencia el Plan Nacional de Frecuencias 2017 (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017), ARCOTEL define tres términos específicos relativos a la gestión de frecuencias, lo cual es muy importante para este estudio:

- Atribución de una banda de frecuencias es la inscripción de una banda de frecuencias determinada en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias, con la finalidad de que esta sea utilizada por uno o varios servicios de radiocomunicación terrenal o el espacial o por servicios de radioastronomía.
- Adjudicación de una frecuencia o un canal radioeléctrico consiste en la inscripción de un canal determinado, adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado por una o varias administraciones para un servicio de radiocomunicación terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinadas y según condiciones específicas.

- Asignación de una frecuencia o radiocanal es la autorización que da una administración para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o canal determinado en condiciones específicas (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017).

### **1.3.3 Organismos de Regulación y Control de Telecomunicaciones en el Ecuador.**

En el Ecuador existen dos instituciones las cuales se encargan de la gestión del espectro radioeléctrico, el Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información (MINTEL) y la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). A continuación se describen sus principales competencias con respecto al espectro radioeléctrico.

#### **MINISTERIO DE TELECOMUNICACIONES Y SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN (MINTEL).**

El Ministro de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información es el Ing. Guillermo León Santacruz.

El titular de esta cartera de Estado, se encarga de apoyar el proceso de mejoramiento de los servicios que prestan las instituciones del sector de telecomunicaciones, coordinar las acciones para a través de políticas y proyectos promocionar la Sociedad de la Información y del Conocimiento y las Tecnologías de la Información y Comunicación.

“El ministerio es el órgano rector del desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación en el Ecuador, que incluyen las telecomunicaciones y el espectro radioeléctrico, que emite políticas, planes generales y realiza el seguimiento y evaluación de su implementación, coordinando acciones con los actores de los sectores estratégicos para garantizar el acceso igualitario a los servicios y promover su uso efectivo, eficiente y eficaz, que asegure el avance hacia la sociedad de la información para el buen vivir de la población ecuatoriana” (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, 2017).

## **AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES (ARCOTEL).**

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) está adscrita al Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

“Es la entidad encargada de la administración, regulación y control de las telecomunicaciones y del espectro radioeléctrico y su gestión, así como de los aspectos técnicos de la gestión de medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes” (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016).

A la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones le corresponde cumplir con las competencias a continuación descritas en lo que refiere al espectro electromagnético:

- Emitir las regulaciones, normas técnicas, planes técnicos y demás actos que sean necesarios en el ejercicio de sus competencias, para que las provisiones de los servicios de telecomunicaciones cumplan con lo dispuesto en la Constitución de la República y los objetivos y principios previstos en esta Ley, de conformidad con las políticas que dicte el Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.
- Elaborar, aprobar, modificar y actualizar el Plan Nacional de Frecuencias.
- Elaborar las propuestas de valoración económica para la asignación y uso, aprovechamiento y/o explotación del espectro radioeléctrico, tarifas por uso de frecuencias y derechos por otorgamiento y renovación de títulos habilitantes.
- Ejercer el control técnico de los medios de comunicación social que usen frecuencias del espectro radioeléctrico o que instalen y operen redes, tales como los de audio y video por suscripción.



- Controlar y monitorear el uso del espectro radioeléctrico.
- Inspeccionar y fiscalizar la instalación, establecimiento y explotación de redes de telecomunicaciones y los sistemas de los medios de comunicación social que usen el espectro radioeléctrico, así como las redes de audio y vídeo por suscripción.

Sabiendo que, la asignación y uso del espectro radioeléctrico se considera de interés nacional, es imprescindible que los organismos competentes proporcionen fuentes oficiales de información a través de un contacto directo con las personas interesadas.

#### **1.3.4 Bandas de frecuencia asignadas para 2G y 3G en el Ecuador.**

Las tres operadoras de telefonía móvil existentes en el Ecuador son:

- CONECEL S.A. (Claro).
- OTECEL S.A. (Movistar).
- CNT (Corporación Nacional de Telecomunicaciones).

El gobierno ecuatoriano es quien ejerce su soberanía sobre el uso del espectro radioeléctrico. Sin embargo, se debe recalcar que las políticas estatales siguen la guía desarrollada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, cuyo objetivo principal es el mantener y ampliar la coordinación internacional entre todos sus miembros para el mejoramiento y el empleo racional de toda clase de telecomunicaciones.

En la tabla 2, se presenta los rangos de frecuencias asignadas en el Ecuador a las operadoras de servicio móvil avanzado (SMA) para tecnologías 2G y 3G.

Tabla 2.

*Bandas de frecuencia asignadas para 2G-3G en el Ecuador.*

Operador	Rango de Frecuencias asignadas	Banda
----------	--------------------------------	-------

CONECEL SA.	824 - 835 MHz.	Frecuencia A
	845 - 845.5 MHz.	
	869 - 880 MHz.	
	890 - 891.5 MHz.	
	1885 – 1980 MHz.	Sub-banda E-E'
	1965 – 1970 MHz.	
OTECEL S.A.	835 – 845 MHz.	Frecuencia B
	846.5 – 849 MHz.	
	880 – 890 MHz.	
	891.5 – 894 MHz.	
	1865 – 1870 MHz.	Sub-banda D-D'
	1945 – 1950 MHz.	
CNT EP.	1895 – 1910 MHz.	Frecuencia C
	1975 – 1990 MHz.	
	1890 – 1985 MHz.	Sub-banda F-F'
	1970 – 1975 MHz.	

Tomado de (CONATEL, 2013).

### 1.3.5 Bandas de frecuencia asignadas para 4G en Ecuador

La Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, (ARCOTEL), mediante la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012, adopta los siguientes esquemas A5 (700MHz), B5 (AWS 1700/2100 MHz), B3 (1900 MHz) y C1 (2.5 GHz).

En la figura 5 se muestra la canalización adoptada en la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012.

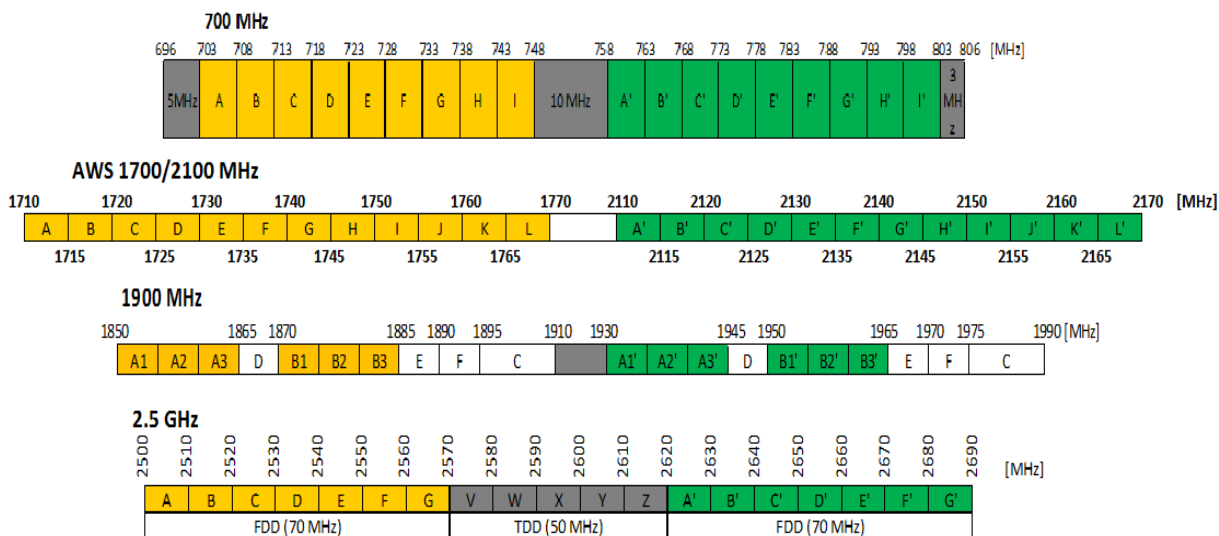


Figura 5. Esquema de bandas de frecuencia adoptado en la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012.

Adaptado de (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2012)

Basado en los esquemas mostrados anteriormente, ARCOTEL asigna las bandas de frecuencia detalladas a continuación para LTE.

Para la operadora CNT EP. Se asigna en las bandas de 700 MHz un total de 30 MHz. (15+15 MHz, los bloques G-G', H-H' e I-I') y AWS 1700-2100 y para AWS 1700-2100 MHz un total de 40 MHz. (20+20MHz, los bloques A- A', B-B', C-C' y D-D').

A CONECEL S.A. se le asigna en la banda de 1900 MHz un total de 20 MHz (10 MHz los bloques B3-B3' y 10 MHz bloques F-F') y en la banda AWS 1700 – 2100 MHz un total de 40 MHz (20+20 MHz, los bloques E-E', F-F', G-G' y H-H').

Por otra parte a OTECEL S.A. se le asigna en las bandas de 1900 MHz un total de 50 MHz (25+25 MHz, los bloques A-A1', A2-A2', A3-A3'.B1-B1' Y B2-B2').

A manera de resumen se presenta en la tabla 3 la asignación de frecuencias para redes 4G de las operadoras de SMA en el Ecuador

Tabla 3.

*Bandas de frecuencia asignadas para 4G en el Ecuador.*

<b>Operadora</b>	<b>Rango de Frecuencias asignadas</b>	<b>Banda</b>
CONECEL SA.	1880 - 1885 MHz.	1900 MHz.
	1960 - 1965 MHz.	
	1890 - 1895 MHz.	
	1970 - 1975 MHz.	
	1730 - 1750 MHz.	AWS 1700 / 2100 MHz.
	2130 - 2150 MHz.	
OTECEL S.A.	1850 - 1865 MHz.	1900 MHz.
	1870 - 1880 MHz.	
	1930 - 1945 MHz.	
	1950 - 1960 MHz.	
CNT EP.	733- 748 MHz.	700 MHz.
	788 - 803 MHz.	
	1710 - 1715 MHz.	AWS 1700 / 2100 MHz.
	2110 - 2130 MHz.	

Tomado de (CONATEL, 2013).

## **2. Capítulo II. Metodología para la investigación.**

Para el presente estudio se realizará un monitoreo de las bandas de frecuencias propuestas para 5G, con el fin de determinar si existe o no ocupación de dichos rangos de frecuencias, por esta razón se establece un plan de medición que permita documentar el proceso de toma de muestras, adicional se establece los equipos y software utilizado.

## **2.1 Proceso de monitoreo de bandas de frecuencia.**

Debido a que el objetivo principal del presente estudio es el verificar las posibles bandas de frecuencia a ocuparse en 5G en el Ecuador y determinar si existe o no ocupación de las mismas, se establece un plan de medición, determinando en primera instancia los equipos y software a utilizar.

- Para la medición de bandas de frecuencia hasta los 3 GHz se utiliza el Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico SACER.
- Para el monitoreo de bandas de frecuencias hasta los 20 GHz se utiliza el analizador de espectro ANRITSU MS2724B.
- Finalmente para el monitoreo de frecuencias mayores a los 20 GHz el analizador de espectros HP 8564E.

Los equipos con los cuales se realiza las mediciones son propiedad de ARCOTEL, se decidió utilizar dichos equipos para cada rango de frecuencia con la finalidad de obtener una visualización más precisa de las bandas de frecuencia en estudio.

A continuación se describen las características de cada uno de los equipos utilizado para las mediciones.

### **2.1.1 Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico SACER**

El Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico (SACER) permite a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) ejercer de forma automática y eficiente sus funciones de control y monitoreo del espectro radioeléctrico en cumplimiento de la Ley especial de Telecomunicaciones (Filián, 2013).

SACER es una herramienta que cumple con los estándares y recomendaciones de la UIT para realizar monitoreo del espectro en el Ecuador.

Las principales funcionalidades de SACER son las siguientes:

- Medición de parámetros técnicos de televisión analógica y radiodifusión.
- Conseguir la cobertura de las estaciones radiodifusión y televisión.

- Comprobar la ocupación y monitorear el espectro radioeléctrico.
- Supervisar el inicio de operaciones de sistemas de radiodifusión, televisión y sistemas de radiocomunicaciones.
- Análisis y solución de interferencias en sistemas de telecomunicaciones, radiocomunicaciones, radiodifusión y televisión.
- Monitoreo a estaciones remotas de manera permanente.
- Monitoreo de ocupación de bandas de espectro radioeléctrico a ser utilizadas para nuevas tecnologías.

Para cumplir con las funciones de herramienta de monitoreo automático del espectro radioeléctrico, el SACER se encuentra conformado por los siguientes dispositivos:

- Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255 – DIGITAL DIRECTION FINDER
- Conmutador de antenas R&S ZS129A1
- Receptor GPS de referencia GPS 129
- Antena R&S HE500 (20 – 3000 MHz) POLARIZACIÓN VERTICAL.
- Receptor GPS de posicionamiento GPS16LVS
- Brújula GH150
- Software ARGUS
- Software MAPVIEW

### **Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255 – DIGITAL DIRECTION FINDER**

El R&SDDF255 combina las funcionalidades de un receptor de banda ancha y un radiogoniómetro. El R&SDDF255 permite ser manejado completamente de manera remota mediante la interfaz LAN. Para garantizar la integridad de datos de alta velocidad de transmisión (banda base de datos, análisis de datos), así como la transmisión fiable de control de los comandos que el receptor está equipado con dos interfaces de 1 Gbit LAN (“R & S ® DDF255 Digital - Direction Finder Accurate direction - finding with measurement and analysis capabilities in a single unit R & S ® DDF255 Digital Direction Finder At a glance,” n.d.).

El receptor R&SDDF255 se lo indica en la figura 6.



Figura 6. Receptor RHODE & SCHWARZ DDF255 – DIGITAL DIRECTION FINDER – SACER - ARCOTEL

### **Conmutador de antenas R&S ZS129A1**

El conmutador de antenas R&S ZS129A1 está implementado en las estaciones fijas. El selector de antenas es integrable en un bastidor y está conectado con la computadora del sistema mediante un interfaz serial. Puede ser manejado manualmente desde el panel frontal o también teledirigido mediante el sistema de software ARGUS.

Cuando el R&S ZS129A1 es manejado manualmente, el usuario introduce los datos necesarios de configuración.

El Selector de Antenas guía al usuario mediante menús que están adaptados al sistema de configuración individual. Los datos actuales de configuración y los parámetros relacionados pueden ser consultados en la pantalla alfanumérica (“R & S ® ZS129x Switch Units Flexible RF and IF signal distribution R & S ® ZS129x Switch Units At a glance,” n.d.).

El conmutador de antenas R&S ZS129A1 se lo indica en la figura 8.



Figura 7. Conmutador de antenas R&S ZS129A1 – SACER -ARCOTEL

### **Receptor GPS de referencia GPS 129 El R&S GPS129**

Receptor GPS de referencia GPS 129 El R&S GPS129, que ha sido diseñado principalmente para proporcionar al usuario frecuencias de referencia extremadamente precisas. Ofrece salidas de frecuencia de 10 MHz y 2.048 MHz altamente precisas para incrementar la precisión en frecuencia de los receptores. Adicionalmente proporciona datos de tiempo y posición. En este sistema se utiliza 10 MHz como frecuencia de referencia.

En la figura 8 a continuación mostrada se observa el receptor en mención.



*Figura 8.*Receptor GPS de referencia GPS 129 - SACER - ARCOTEL

### **Antena R&S HE500 (20 – 3000 MHz) polarización vertical.**

La antena activa R&S HE500 ha sido diseñada como antena de monitoreo para polarización vertical y recepción omnidireccional, opera en el rango de frecuencias entre 20 MHz y 3 GHz. Esta antena se caracteriza por un diseño compacto y de bajo peso. En consecuencia es ideal para este estudio, debido a que nos permitirá monitorear bandas de frecuencia que se encuentran dentro de su rango de operación.

La antena R&S HE500 se la presenta en la figura 9.





*Figura 9.*Antena R&S HE500 (20 – 3000 MHz) polarización vertical - SACER – ARCOTEL.

### **Receptor GPS de posicionamiento GPS16LVS**

El GPS16VLS es un sensor que incluye una antena GPS de alta sensibilidad que capta la señal del satélite rápidamente, procesa la información y envía la posición, fecha y hora para el software ARGUS. Su receptor permite el seguimiento de manera continua de todos los satélites visibles, lo que significa que puede conseguir una ubicación con una precisión de 3 metros.

A continuación en la figura 10 se muestra el receptor GPS16VLS.



*Figura 10.*Receptor GPS de posicionamiento GPS16LVS – SACER – ARCOTEL.

### **Brújula GH150**

La brújula R&S GH150 está ubicada bajo las antenas de goniometría R&S ADD295. La brújula está instalada solamente en las estaciones móviles.

En la figura 11 se muestra la brújula GH150.

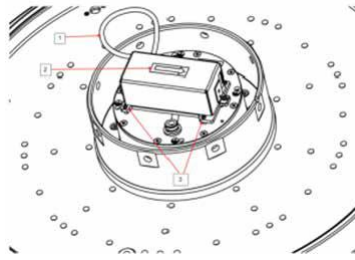


Figura 11.Brújula R&S GH150 – SACER – ARCOTEL.

## Software ARGUS

R&S ARGUS es el software estándar para mediciones y evaluaciones según recomendaciones de la UIT. Los modos de medición de R&S ARGUS reflejan secuencias de trabajo típicas y están diseñadas para simplificar la rutina diaria de medición. Numerosas estadísticas permiten investigación detallada de los valores medidos y la compilación de reportes concisos e informativos.

Los usuarios pueden operar instrumentos y aplicaciones en diferentes formas:

- Control local.
- Control remoto vía R&S ARGUS.

La pantalla principal del software ARGUS se muestra a continuación en la figura 12.

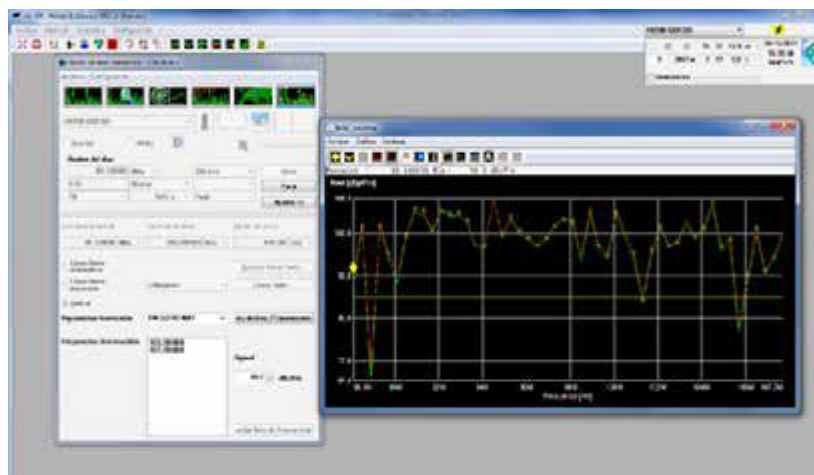
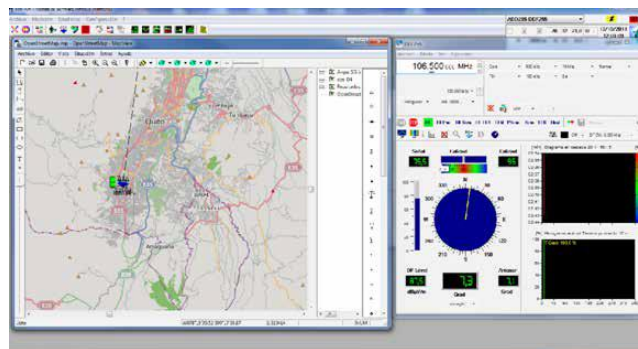


Figura 12.Software ARGUS – SACER – ARCOTEL.

## Software MAPVIEW

Posibilita visualizar en un mapa electrónico parámetros de medición, análisis y datos fiables. MAPVIEW incluye sobre todo los resultados de marcación y ubicación. Las ubicaciones de radiogoniómetros y las marcaciones de transmisor exactamente computarizadas. Las ubicaciones de transmisores licenciados también pueden mostrarse simultáneamente. El mapa inmediatamente revela si el transmisor de interés es conocido o desconocido.

En la figura 13, se muestra una captura de pantalla del software MAPVIEW



*Figura 13.* Software MAPVIEW – SACER – ARCOTEL.

### 2.1.2 Analizador de espectro ANRITSU MS2724B.

El Analizador de espectro ANRITSU MS2724B es un equipo portátil que proporciona resultados de medición rápidos y precisos. Las mediciones se pueden realizar fácilmente utilizando las funciones principales del equipo: frecuencia, amplitud, amplitud y ancho de banda.

Este equipo se utiliza para monitoreo de espectro, análisis de interferencia, mediciones de RF y microondas, cumplimiento de normativas o mediciones de redes Wi-Fi e inalámbricas, entre sus características destaca su memoria interna la cual proporciona almacenamiento y recuperación de hasta 1000 configuraciones de medición y hasta 1000 trazas usando un software llamado Master Software Tools (MST). Adicional a lo antes mencionado se puede colocar una unidad de almacenamiento externa para mediciones masivas.

Está diseñado para monitorear, medir y analizar señales ambientes. Las mediciones típicas incluyen: interferencia dentro de banda y análisis del espectro, así como pruebas y análisis del transmisor de televisión digital, además del sitio de la célula y la prueba de interferencia 802.11a / b / g. Asimismo tiene opciones disponibles para RF, demodulación avanzada y medición por aire (OTA). Se proporciona una gama completa de capacidades de marcador (como funciones de pico, central y delta) para una mayor velocidad, un análisis más completo de las señales que se muestran (Handheld & Analyzer, n.d.).

En la figura 14 se muestra la parte frontal del analizador de espectros ANRITSU MS2724B.



Figura 14. Analizador de espectro ANRITSU MS2724B.

A continuación se enlistan sus principales características.

- Medida: ocupación del espectro, potencia de canal, ACPR, C / I
- Analizador de interferencias: espectrograma, intensidad de la señal, RSSI
- Rango dinámico: > 101 dB en 1 Hz RBW
- DANL: -159 dBm en 1 Hz RBW
- Ruido de fase: -95 dBc / Hz @ 10 kHz compensado a 1 GHz
- Precisión de frecuencia: <math>\pm 25</math> ppb con GPS encendido

- Ancho de banda de resolución de 1 Hz a 3 MHz (RBW)
- Detectores: pico, negativo, muestra, cuasi-pico y verdadero RMS
- Líneas límite: hasta 40 segmentos con creación de sobre con un solo botón

También presenta las siguientes capacidades y aspectos funcionales:

- LTE, GSM / EDGE
- W-CDMA / HSDPA
- TD-SCDMA / HSDPA
- CDMA, EV-DO
- WiMAX: arreglado, móvil
- Demodulador AM / FM / SSB
- Zero-span IF Output
- Etiquetado GPS de rastros almacenados
- Estándar interno del preamplificador
- Medidor de potencia de alta precisión
- Sensores USB de 4, 6, 8, 18 GHz
- Escáner de canales
- Tiempo de operación de la batería de 2.3 horas
- Transferencia de datos Ethernet / USB
- Herramienta de acceso remoto MST

Por las características antes expuestas, el uso del analizador de espectro ANRITSU MS2724B se vuelve esencial para el estudio presentado, debido a que este equipo tiene la capacidad de monitorear ocupación de frecuencias en un rango de 9 kHz a 20 GHz, dentro de este rango se encuentran algunas de las bandas de frecuencia en estudio para 5G.

### **2.1.3 Analizador de Espectros HP 8564E**

El analizador de espectro milimétrico portátil Hewlett-Packard 8564E ofrece la capacidad de medición y el rendimiento que anteriormente se encontraban en

analizadores de mesa más grandes y caros. Puede medir señales de 30 Hz a 40 GHz con una sola conexión coaxial.

El 8564E combina un ruido de fase excepcional, sensibilidad, anchos de banda de resolución de 1 Hz, sintonización sintetizada y amplio rango dinámico en un envoltorio robusto para soportar condiciones ambientales desfavorables. Brinda una solución completa para la prueba de potencia de canal adyacente (ACP) de señales de portadora de ráfagas usando modulación digital y la capacidad de medir el porcentaje de ancho de banda ocupado (Agilent Technologies, 2000)

Sus principales características son las a continuación mencionadas.

- Barrido continuo de 30 Hz a 40 GHz
- Anchos de banda de resolución digital de 1, 3, 10, 30 y 100 Hz
- Potencia de canal adyacente, potencia de canal, potencia de portadora, porcentaje de ancho de banda ocupado y estándar de mediciones con temporizador
- Base de tiempo de precisión y resolución de contador de 1 Hz
- Personalidades de medición para radio digital y mediciones de ruido de fase

En la figura 15 se puede observar la parte frontal del analizador de espectros HP 8564E.

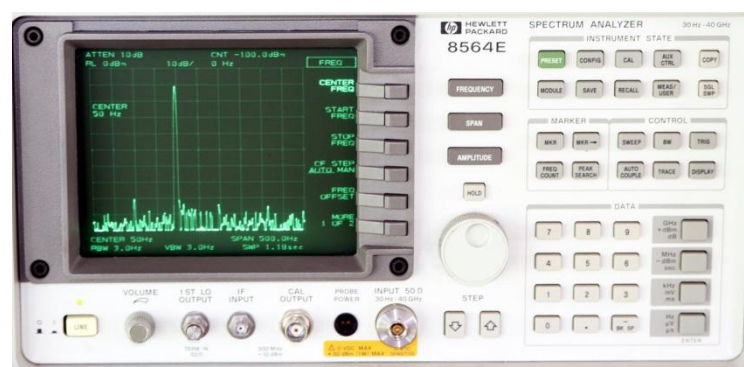
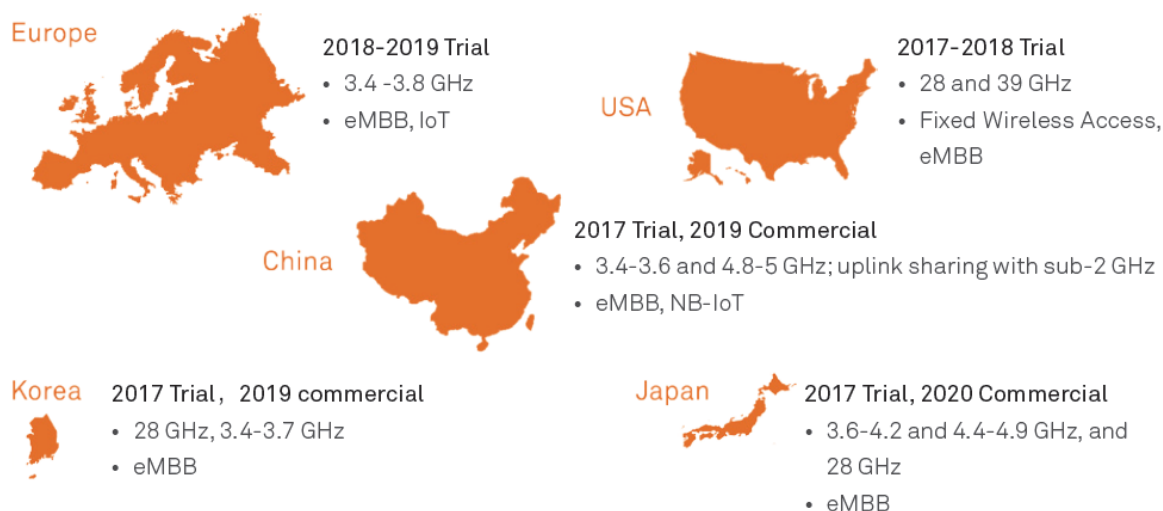


Figura 15. Analizador de espectros HP 8564E.

## 2.2 Bandas de Frecuencia a monitorear

En la figura 16 se muestra las bandas de frecuencia en estudio para 5G en Europa, USA, China, Japón y Corea, en las cuales se está determinando la posibilidad de concesionarlas en estos principales mercados mundiales en los próximos años (Huawei, 2016).



*Figura 16.* Prueba de 5G y plan de espectro comercial en mercados líderes para 2020.

Tomado de (5G Spectrum. Public Policy Position, 2015.)

En una primera instancia se expuso las principales bandas de frecuencia en estudio en varios países, a través de la investigación realizada se pudo determinar que el organismo regulador de comunicaciones en Reino Unido OFCOM se encuentra desempeñando un papel de liderazgo a nivel internacional en la identificación de bandas de frecuencia para 5G (Ofcom, 2017), conjuntamente han venido trabajando con otros reguladores de la Unión Europea para identificar las bandas que poseen el mayor potencial para ser armonizadas a nivel mundial (Ministerio de energía turismo y Agenda digital, 2018).

Un suceso importante por el cual se eligió continuar con la propuesta de OFCOM, es que en el mes de abril del presente año la operadora Telefónica UK (O2) ya obtuvo una asignación del espectro para 5G (ocho bloques de 5 MHz en la banda de 3,4 GHz) por un valor de 523,6 millones de libras esterlinas (La Vanguardia, 2018).

En la tabla 4 se observan los rangos de frecuencias a monitorear y determinar si existe ocupación en las señaladas frecuencias.

Tabla 4.

*Bandas de Frecuencia a monitorear*

<b>Banda de frecuencia</b>	<b>Situación actual</b>
700 MHz	Actualmente se está explotando esta banda para servicios LTE, lo cual permitirá una migración más sencilla de 4G a 5G.
3.3 - 3.8 GHz	Esta banda de frecuencia tiene el potencial de permitir anchos de banda más amplios, se le considera la banda primaria adecuada para la introducción de 5G en Europa, incluso antes del año 2020.
24.25 - 27.5 GHz	Se considera que es la banda de frecuencia más prometedora para el rápido despliegue de ondas milimétricas en 5G.

### **2.2.1 Posibilidad de ocupación de las bandas para 5G en el Ecuador**

En base al Plan Nacional de Frecuencias 2017 (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017), se realiza un análisis en el cual se determine la posibilidad de ocupación de las bandas propuestas para redes 5G en el Ecuador, en la tabla 5 se expone un comparativo de las bandas de frecuencia propuestas para 5G con la normativa vigente en el Ecuador con la finalidad de determinar si existe atribución de las bandas de frecuencia.

Tabla 5.



*Posibilidad de ocupación de frecuencias en el Ecuador*

<b>Frecuencias</b>	<b>Asignación de frecuencias en el Ecuador</b>
700 MHz	733- 748 MHz y 788 - 803 MHz. Asignado para la operadora de SMA CNT EP.
3.3 - 3.8 GHz	La banda de frecuencia de 3.3 a 3.4 GHz no cuenta con ninguna asignación, la banda de 3.4 a 3.6 GHz se encuentran operando CNT EP y ETAPA
24.25 - 27.5 GHz	No existe ninguna asignación en esta banda de Frecuencia

En la banda de 700 MHz únicamente se tiene asignadas las frecuencias en los rangos de 733- 748 MHz y 788 - 803 MHz para la operación de SMA por parte de la operadora estatal CNT EP, en los rangos de 703 – 733 MHz y 758 – 788 MHz no existe asignación alguna a ninguna operadora ni a título personal.

Respecto a la banda de 3.3 – 3.4 GHz a pesar de haber sido atribuida al servicio Fijo a título secundario y que contaba con una nota nacional que permitía el uso de dicha banda para enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión sin protección contra interferencias, no se cuenta con ninguna asignación, razón por la cual este espectro se encuentra disponible en su totalidad (ARCOTEL, 2018). En la banda de 3.4 a 3.6 GHz, se encuentra asignado un total de 50 MHz para CNT EP y 21,5 MHz para ETAPA EP, sumando así un total de 71,5 MHz, lo que representa 35,75% de espectro, las frecuencias asignadas para estas operadoras son las detalladas en la tabla 6, a continuación mostrada.

Tabla 6.

*Cantidad de espectro asignado en la banda de 3400 – 3600 MHz.*

Operador	Bloque	Frecuencia (MHz)	Ancho de Banda (MHz)	Área de autorización	Total (MHz)
CNT EP	A	3400,00 - 3425,00	25	Nacional	50
	A'	3500,00 - 3525,00	25		
ETAPA EP	D1	3475,00 - 3485,75	10,75	Cantón Cuenca	21,5
	D1'	3575,00 - 3585,75	10,75		
Total Asignado (MHz)					71,5

Tomado de (ARCOTEL, 2018)

En cuanto a la frecuencia 24.25 - 27.5 GHz, no existe documento alguno que indique asignación alguna, únicamente consta su atribución en el Plan Nacional de Frecuencias.

### **2.3 Lugares de monitoreo de bandas de frecuencias.**

Una vez determinadas las bandas de frecuencia a monitorear, se ha establecido los lugares en los cuales se realizará el monitoreo de las mencionadas bandas de frecuencia. El Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico (SACER), permite realizar un monitoreo de bandas de frecuencia de manera remota en diferentes ciudades del Ecuador, dentro de la jurisdicción de la Coordinación Zonal 2 de ARCOTEL se encuentran las ciudades de Quito, Nueva Loja, Esmeraldas, Ibarra y Tulcán, motivo por el cual se determina realizar la toma de muestras en las estaciones remotas ubicadas en las ciudades anteriormente mencionadas, se debe tomar en cuenta que SACER únicamente permite realizar monitoreo de frecuencias no mayores a los 3GHz.

En la tabla 7 se determina la ubicación de los sitios donde se realizará el monitoreo.

Tabla 7.

*Lugares de monitoreo.*

<b>Ítem</b>	<b>Sitio</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenadas</b>
1	Edificio de la coordinación Zonal 2 ARCOTEL	Quito - Av. Amazonas N40-71 y Gaspar de Villarroel	78°29'5.6"W 0°10'7.1"S
2	Aeropuerto de Nueva Loja	Nueva Loja - Aeropuerto de Nueva Loja Lago Agrio	76°51'59.3"W 0°5'33.1"N
3	Aeropuerto Coronel Carlos Concha Torres	Esmeraldas - Vía Río Verde Tachína	79°37'26.7"W 0°58'35.2"N
4	Edificio del GAD de San Miguel de Ibarra	Ibarra - García Moreno 6 - 31 entre Simón Bolívar y José Joaquín de Olmedo	78°7'6.7"W 0°21'5.9"N
5	Edificio del Municipio de Tulcán	Tulcán - Olmedo y 10 de Agosto	77°42'59.3"W 0°48'41.3"N

En la figura 17 se puede distinguir las ubicaciones donde se realizará el monitoreo de las bandas de frecuencia, las cuales se encuentran gestionadas y controladas por la coordinación Zonal 2 de ARCOTEL.

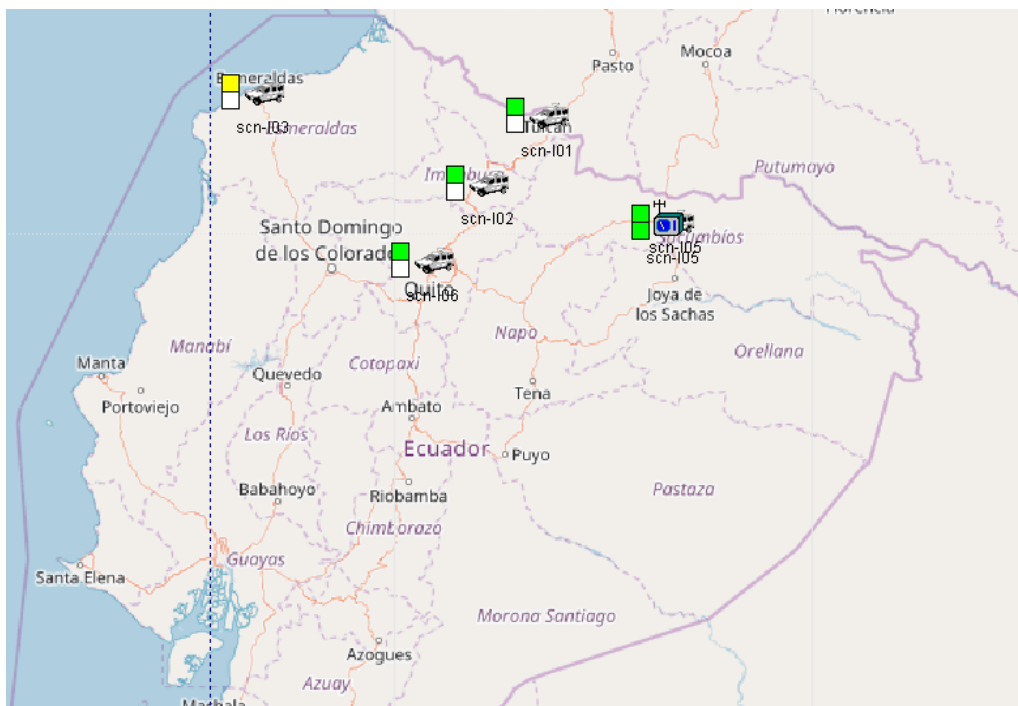


Figura 17. Ubicación de los lugares de monitoreo.

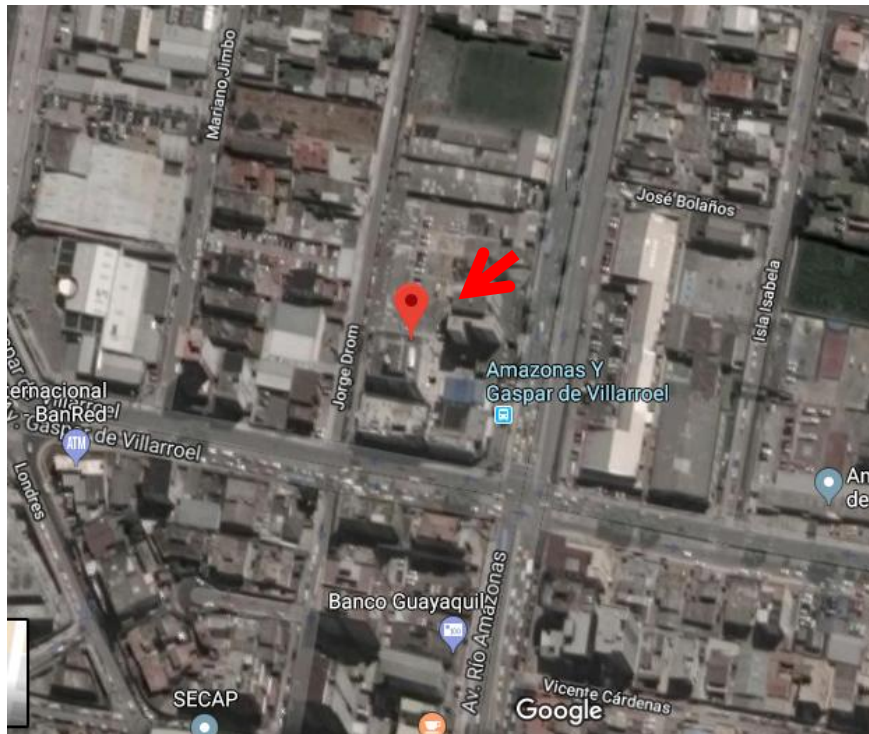
### 2.3.1 Descripción de lugares de monitoreo

A continuación se describen los lugares donde se realizarán las mediciones del espectro.

- **Edificio de la coordinación Zonal 2 ARCOTEL, Quito**

El edificio de la coordinación Zonal 2 de ARCOTEL ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito ubicado en la Av. Amazonas N40-71 y Gaspar de Villarroel, representa un lugar ideal para realizar las mediciones de ocupación del espectro, debido a que junto al edificio se encuentran antenas de transmisión de CNT EP, se encuentra a una corta distancia de las antenas de las operadoras OTECEL SA. Y CONECEL SA. Además de tener línea de vista hacia las antenas del Pichincha.

En la figura 18 se muestra con una flecha la ubicación de la coordinación zonal 2 de ARCOTEL en la ciudad de Quito.



*Figura 18.* Mapa Geográfico 3D Edificio Coordinación Zonal 2 ARCOTEL – Quito.

En la figura 19 se muestra la antena HE500 instalada en la coordinación zonal 2 de ARCOTEL en la ciudad de Quito.

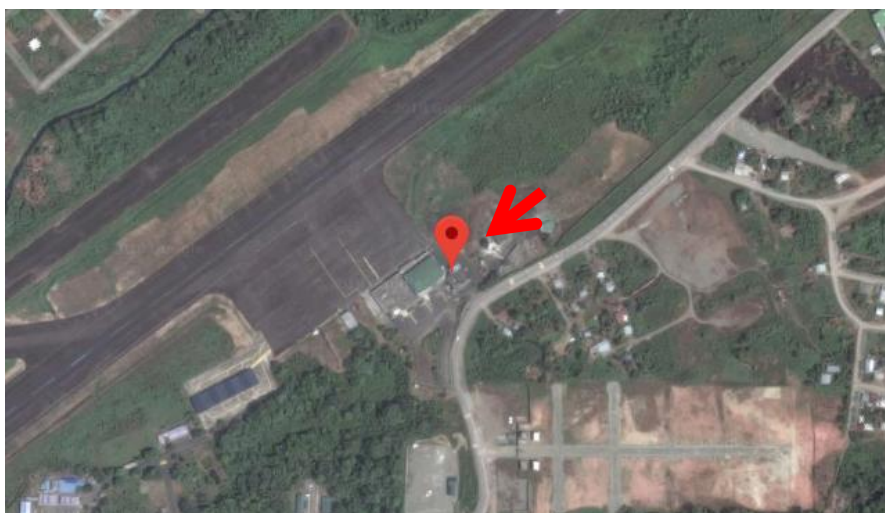


*Figura 19.* Antena R&S HE500 – Edificio Coordinación Zonal 2 ARCOTEL – Quito

Al analizar la normativa nacional vigente a través del Plan Nacional de Frecuencias, se determina que no existe concesión alguna para las bandas de 3.3 a 3.8 GHz ni de 24.25 a 27.5 GHz, al considerarse de Súper Alta Frecuencia (SHF) y Extremadamente Alta Frecuencia (EHF) respectivamente, el monitoreo de estas bandas se lo realizará a través de los analizadores de espectros ANRITSU MS2724B y HP 8564E que tienen la capacidad de monitorear dichas frecuencias, motivo por el cual la medición de estas bandas de frecuencia se las realizará únicamente en la ciudad de Quito, con la finalidad de demostrar que no existe ocupación alguna.

- **Aeropuerto de Nueva Loja**

En la provincia de Sucumbíos, ciudad de Nueva Loja se encuentra ubicada una estación remota de SACER en el Aeropuerto Nacional de Nueva Loja, al ser un lugar con alta afluencia de personas existe cobertura de todas las operadoras de SMA, por lo cual se obtendrán datos fiables al momento de realizar el monitoreo de ocupación del espectro. En la figura 20 se muestra con una flecha la ubicación desde donde se realizará el monitoreo en la ciudad de Nueva Loja.



*Figura 20.* Mapa Geográfico 3D Aeropuerto de Nueva Loja – Nueva Loja.

En la figura 21 se observa la antena del sistema SACER en el aeropuerto de la ciudad de Nueva Loja.

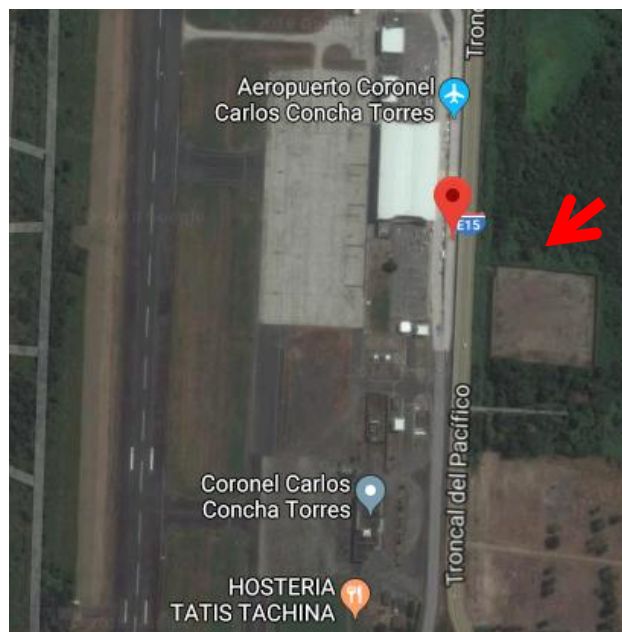


*Figura 21.*Antena R&S HE500 – Aeropuerto de Nueva Loja – Nueva Loja

- **Aeropuerto Coronel Carlos Concha Torres, Esmeraldas**

En la provincia de Esmeraldas, en la población de Tachina, existe una estación remota de SACER en el Aeropuerto Internacional Coronel Carlos Concha Torres, al ser un lugar de gran importancia para la provincia existe gran cantidad de señales en el espectro, por lo cual se obtendrán datos importantes para el presente estudio.

En la figura 22 se puede observar la ubicación de la estación remota del SACER en el aeropuerto Carlos Concha Torres.



*Figura 22.* Mapa Geográfico 3D Aeropuerto Coronel Carlos Concha Torres – Esmeraldas.

En la figura 23 se observa la antena del SACER en la ciudad de Esmeraldas



*Figura 23.* Antena R&S HE500 - Aeropuerto Coronel Carlos Concha Torres – Esmeraldas.



- **Edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra**

En la provincia de Imbabura, Ciudad de San Miguel de Ibarra, en el edificio del GAD de San Miguel de Ibarra, en la calle García Moreno 6 - 31 entre Simón Bolívar y José Joaquín de Olmedo, se encuentra otra estación remota perteneciente al SACER, al ubicarse en la zona comercial de la ciudad, la convierte en una localización idónea para realizar un monitoreo de ocupación del espectro.

En la Figura 24 se muestra la ubicación del edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra.



*Figura 24.* Mapa Geográfico 3D Edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra - Ibarra.

A continuación en la figura 25, se puede observar la antena del SACER en la ciudad de Ibarra.



*Figura 25.* Antena R&S HE500 - Edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra - Ibarra

- **Edificio del Municipio de Tulcán**

Ubicado en la provincia de Carchi, ciudad de Tulcán, se encuentra otra estación remota perteneciente a SACER, se encuentra en el edificio de Municipio de Tulcán, se encuentra en la zona centro de la ciudad, una zona con alta afluencia de personas, por lo cual constituye un lugar de gran importancia en el cual se realice el estudio en mención.

Con una flecha, se puede observar en la figura 26 la ubicación geográfica del edificio del Municipio de Tulcán



*Figura 26.* Mapa Geográfico Edificio del Municipio de Tulcán - Tulcán

En la figura 27 se puede apreciar la antena del SACER en la terraza del Municipio de Tulcán



*Figura 27.* Antena R&S HE500 Edificio del Municipio de Tulcán - Tulcán

### **3. Capítulo III. Monitoreo de bandas de Frecuencia para 5G**

En siguiente capítulo se presentan los datos obtenidos del monitoreo realizado a las bandas de frecuencia propuestas para redes 5G con la finalidad de determinar si existe ocupación en estas bandas.

En una primera instancia se mostrará los resultados y análisis del monitoreo realizado a la banda de 700 MHz a través del sistema SACER, luego se procederá con la presentación de los resultados obtenidos al monitoreo de la banda de 3.3 a 3.8 GHz con el analizador de espectros ANRITSU MS2724B, el cual nos permite realizar una medición de bandas de hasta 18 GHz. Finalmente se presenta los resultados del monitoreo realizado a la banda de 24.24 a 27.5 GHz con el analizador de espectros HP 8564E.

#### **3.1 Monitoreo banda 700 MHz**

##### **3.1.1 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Quito**

La banda de 700 MHz en la actualidad tiene asignación únicamente para servicios 4G por parte de la operadora CNT EP, en los rangos de 733 – 748 MHz para uplink y 788 – 803 para downlink.

El estado ecuatoriano optó por el esquema de canalización Asia Pacífico (APT) para la banda de 700 MHz también conocido como A5, el cual determina el rango desde 698 MHz – 806 MHz, cabe recalcar que al inicio de la banda se tiene un canal de guarda de 5 MHz y al final un canal de guarda de 3 MHz, motivo por el cual el uso de la banda empieza en los 703 MHz hasta los 803 MHz, cada radiocanal posee un ancho de banda de 5 MHz.

A continuación se presenta el monitoreo realizado a toda la banda de 700 MHz en la ciudad de Quito a través del sistema SACER y el analizador de espectro ANRITSU MS2724B.

##### **Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 703 -733 MHz**

El esquema de canalización A5 determina que cada radiocanal tiene un ancho de banda de 5 MHz, considerando que el canal de guarda al inicio es de 5 MHz, el monitoreo inicia desde los 703 MHz.

Debido al análisis realizado en capítulo 2 (Tabla 5), se pudo determinar que en el espectro de la banda de 700MHz, en el rango de 703 – 733 MHz no existe asignación, utilizando el analizador de espectros ANRITSU MS2724B, tal y como se observa en la figura 28, se monitorea dicho rango de frecuencia y se observa que efectivamente no existe ocupación del espectro, con la finalidad de tener una mejor observación se realizó el monitoreo tomando un piso de ruido de -90dBm.

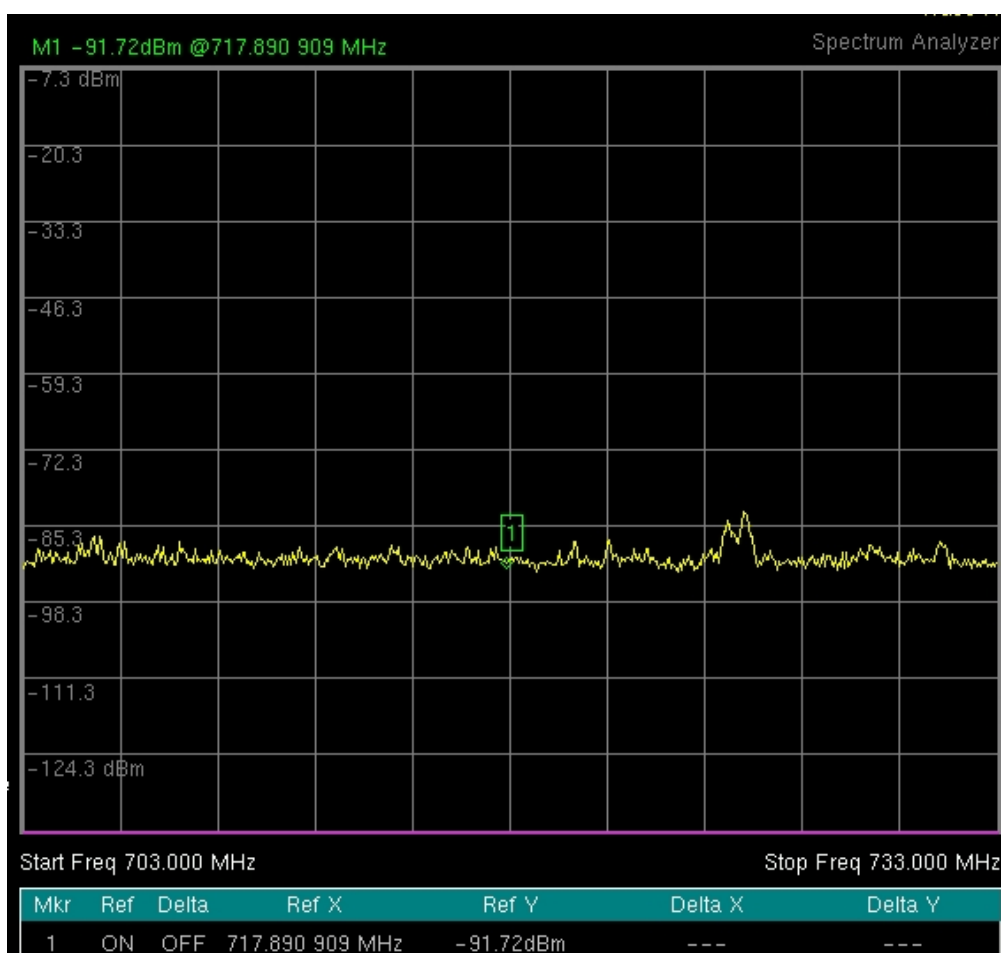
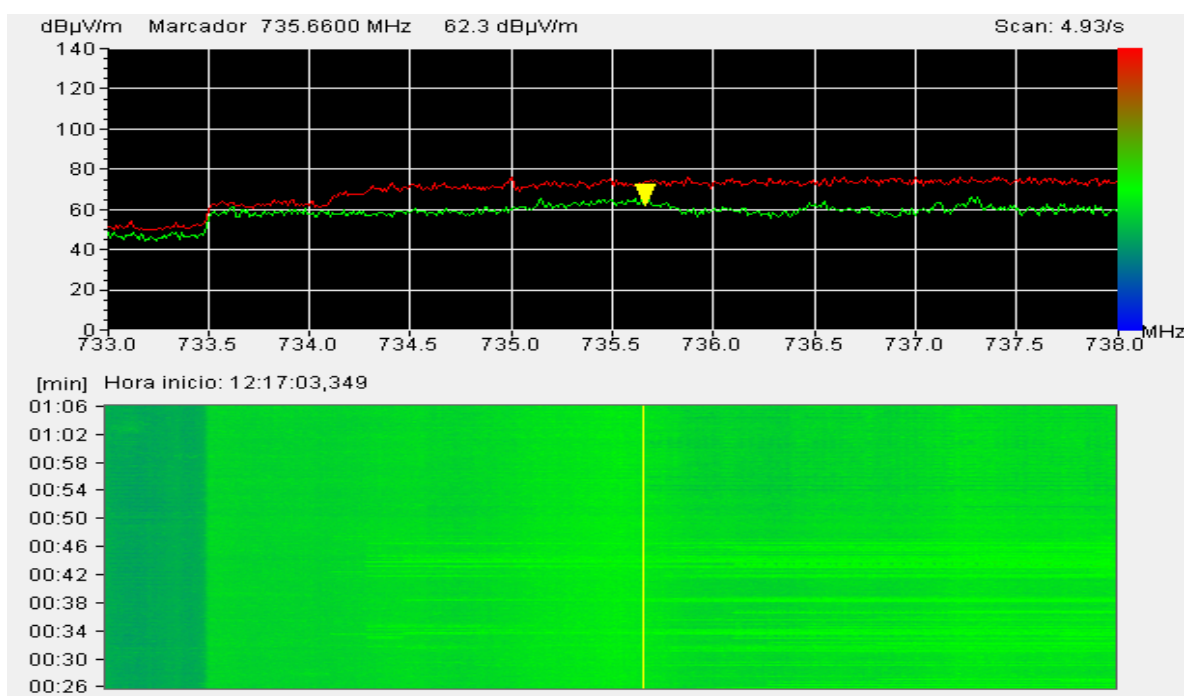


Figura 28. Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 703 – 733 MHz – Quito.

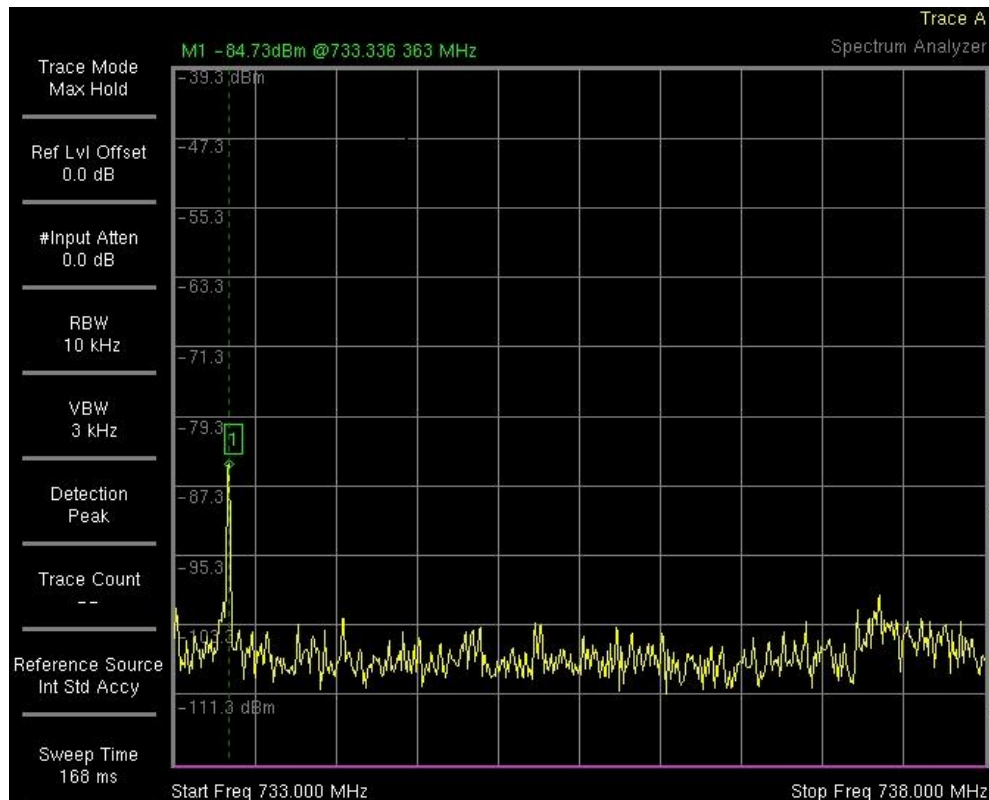
### Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 733 -738 MHz

El rango de Frecuencias de 733 -738 MHz se tiene asignado para servicio móvil avanzado (SMA) para la operadora CNT EP, la medición de dicho radio canal se la realizó a través del sistema SACER, como se muestra en la figura 29 con un piso de ruido de 60 dB $\mu$ V/m, también en el monitoreo realizado se observó que a pesar de ser un rango de frecuencias asignadas no se encontraban en ocupación.



*Figura 29.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 738 MHz – Quito.

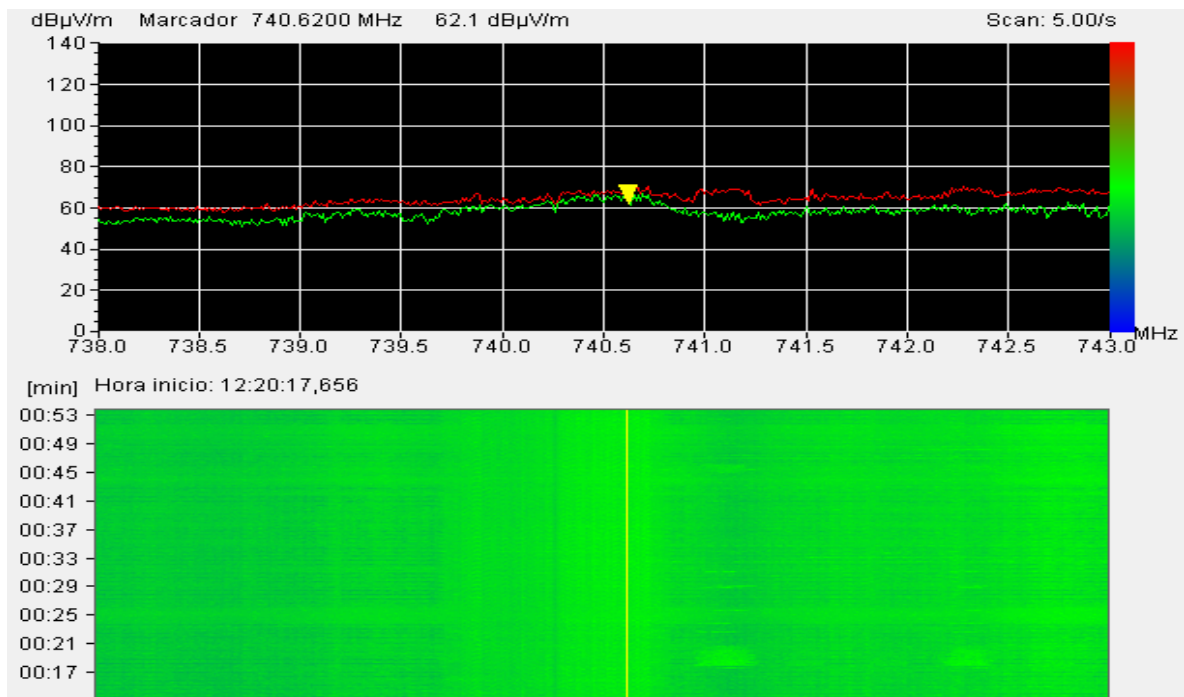
Al realizar el monitoreo del mismo rango de frecuencias (733 – 738 MHz) con el analizador de espectros ANRITSU MS2724B, como se puede observar en la figura 30, se pudo determinar que los resultados coincide con los resultados obtenidos con el sistema SACER, únicamente se detectó que existe una señal espuria, la cual correspondía a interferencia con una emisora de radio FM.



*Figura 30.* Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 733 – 738 MHz – Quito.

### **Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 738 -743 MHz**

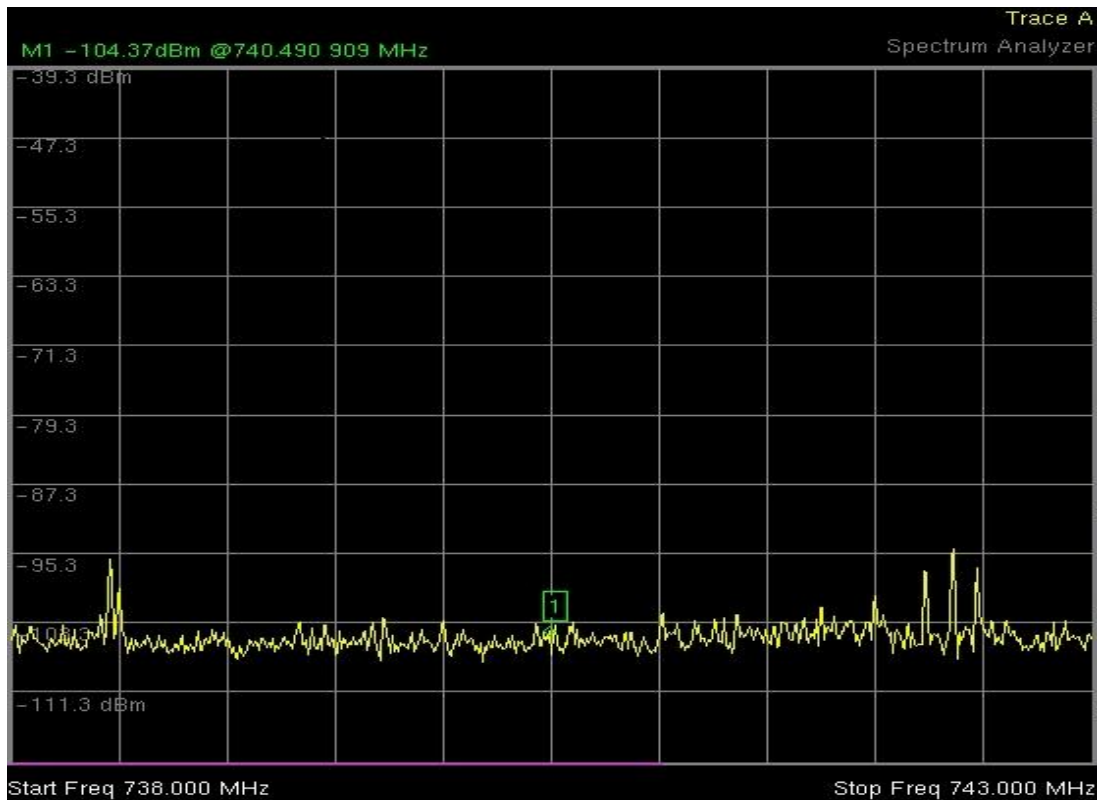
Para el rango de frecuencias de 738 – 743 MHz se tiene asignación para la operadora CNT, al momento de realizar el monitoreo de ocupación, se verifica que no existe ocupación alguna del rango de frecuencia en mención como se ve en la figura 31, de la misma manera se tomó un piso de ruido de 60 dB $\mu$ V/m.



*Figura 31.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 738 – 743 MHz – Quito.

Al observar el monitoreo del rango de frecuencias de 738 – 743 MHz con el sistema SACER y el analizador de espectros ANRITSU MS2724B, tal y como se visualiza en la figura 32, se observa que los resultados coinciden.

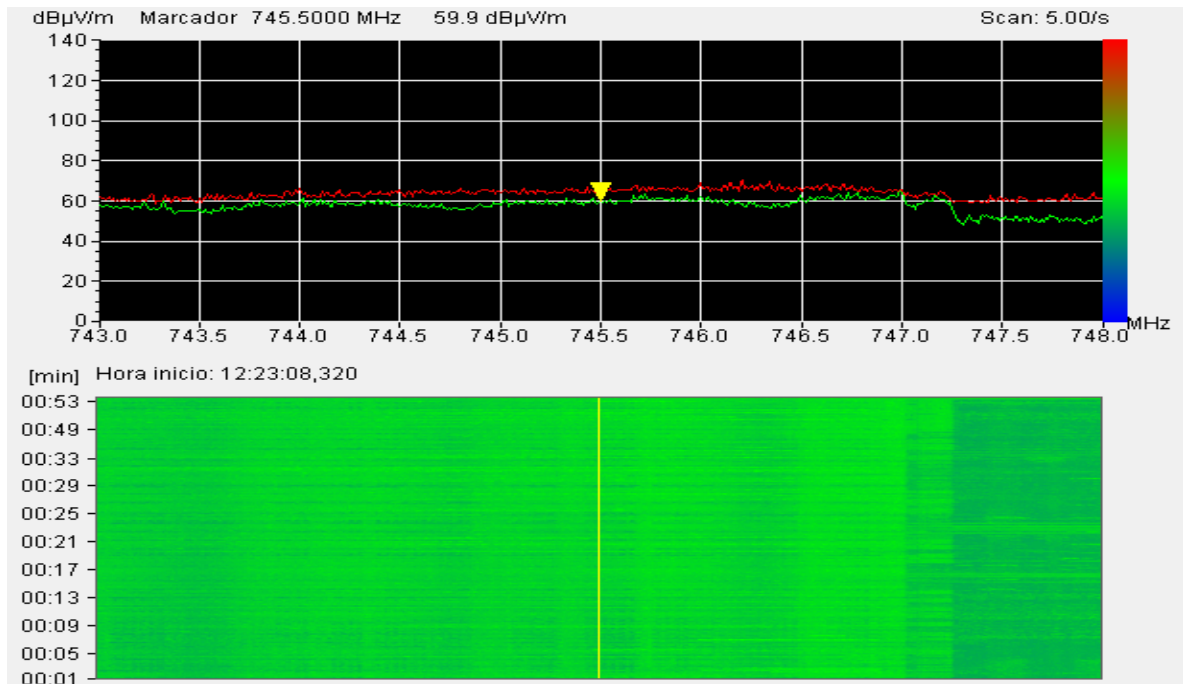




*Figura 32.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 738 – 743 MHz – Quito.

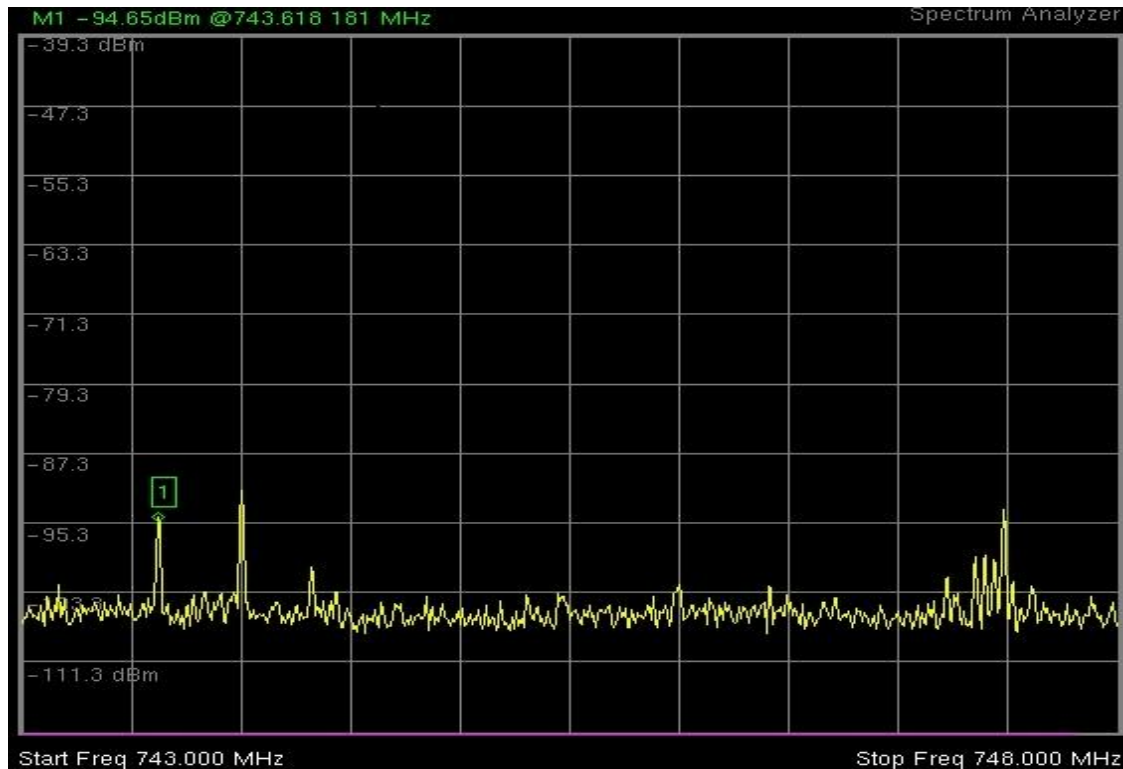
### **Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 743 -748 MHz**

Al realizar el monitoreo de ocupación para el rango de frecuencia de 743 – 748 MHz se puede observar en la figura 33 que tampoco existe ocupación, al igual que los rangos de frecuencias antes mencionados, este rango se encuentra asignados a la estatal CNT EP.



*Figura 33.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 743 – 748 MHz – Quito.

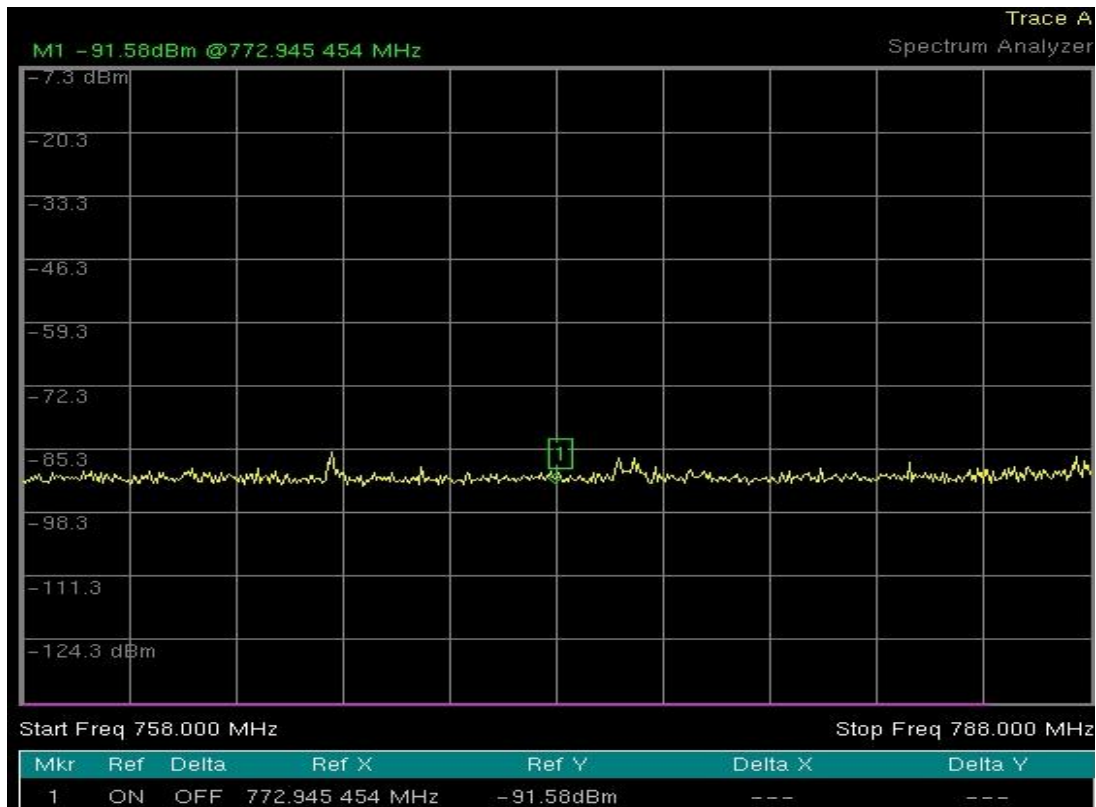
Se realiza un monitoreo en la banda de frecuencias con el analizador de espectro ANRITSU MS2724B, como se muestra en la figura 34, tomando un piso de ruido de -100 dBm y de la misma manera que con el sistema SACER, se valida que no existe ocupación alguna, únicamente existen ciertas señales espurias.



*Figura 34.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 743 – 748 MHz – Quito.

### **Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 758 -788 MHz**

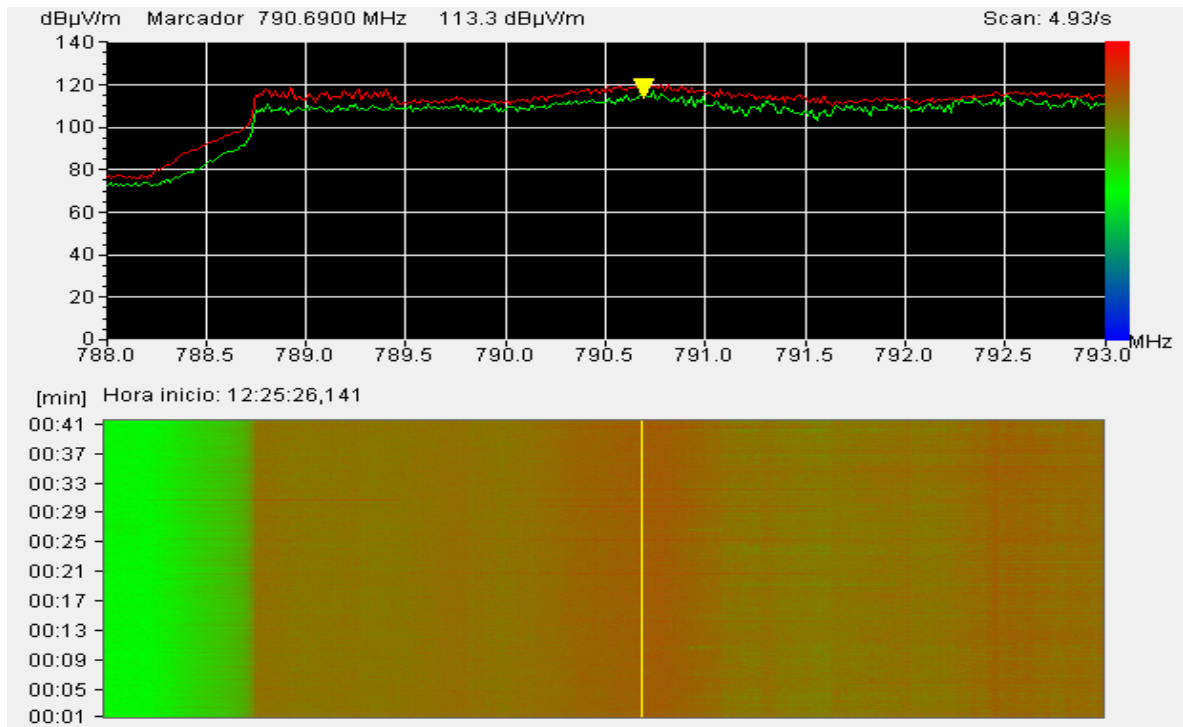
El rango de frecuencias de 758 – 788 MHz no tiene asignación a ninguna operadora en el Ecuador, motivo por el cual al momento de monitorear este rango de frecuencia con el analizador ANRITSU MS2724B no se encontró ocupación alguna, tal y como se indica en la figura 35.



*Figura 35.* Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 758 – 788 MHz – Quito.

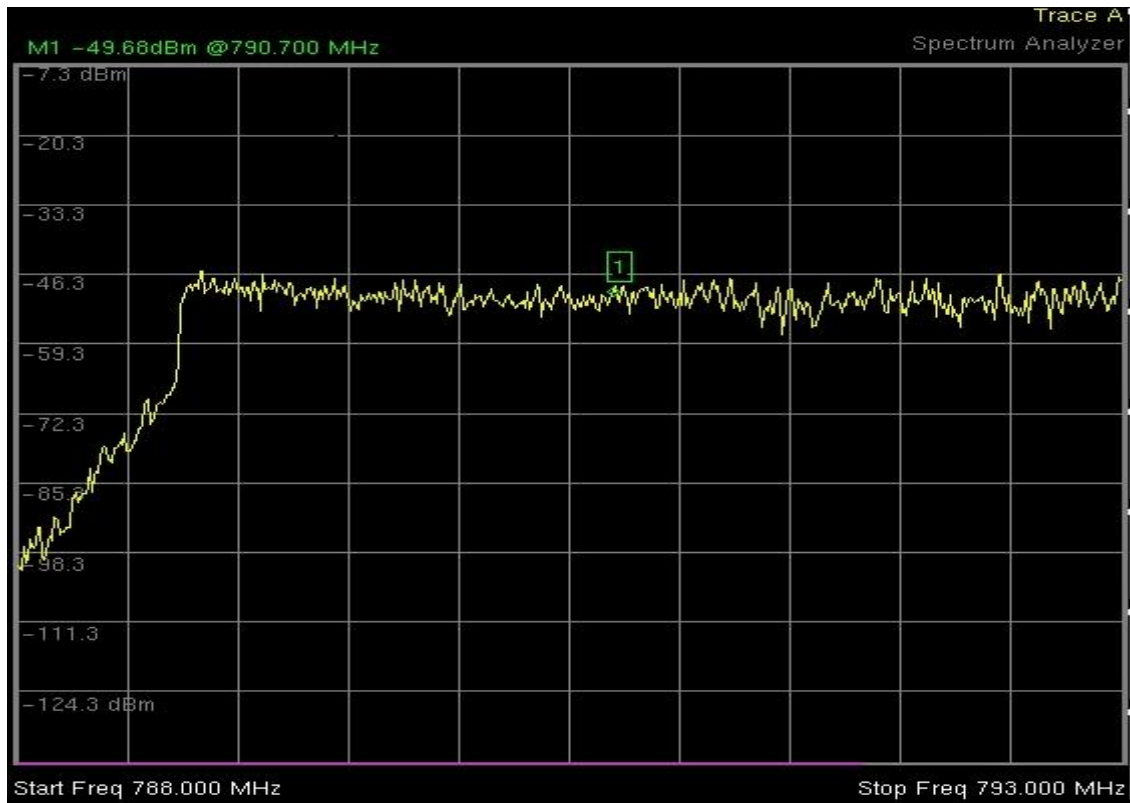
### Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 788 -793 MHz

Continuando con el monitoreo de ocupación en la banda de 700 MHz, se puede observar que si existe ocupación en el rango de frecuencia de 788 – 793 MHz en la figura 36, este rango de frecuencias se encuentra asignado a CNT EP, el piso de ruido es de 60 dB $\mu$ V/m.



*Figura 36.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 788 – 793 MHz – Quito.

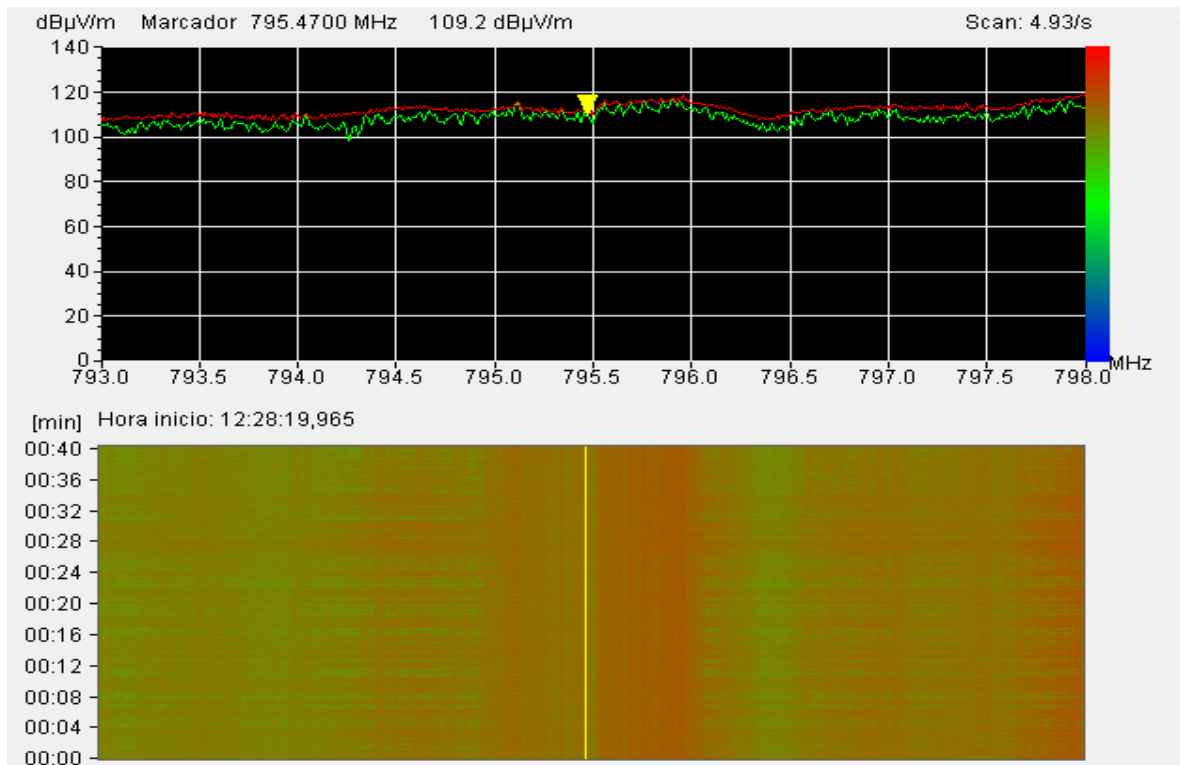
Al realizar en monitoreo de la frecuencia con el analizador de espectro ABRITSU MS2724B en la figura 37, se observa una gráfica similar a la obtenida con SACER, se tomó un piso de ruido de -98.3 dBm.



*Figura 37.* Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 788 – 793 MHz – Quito.

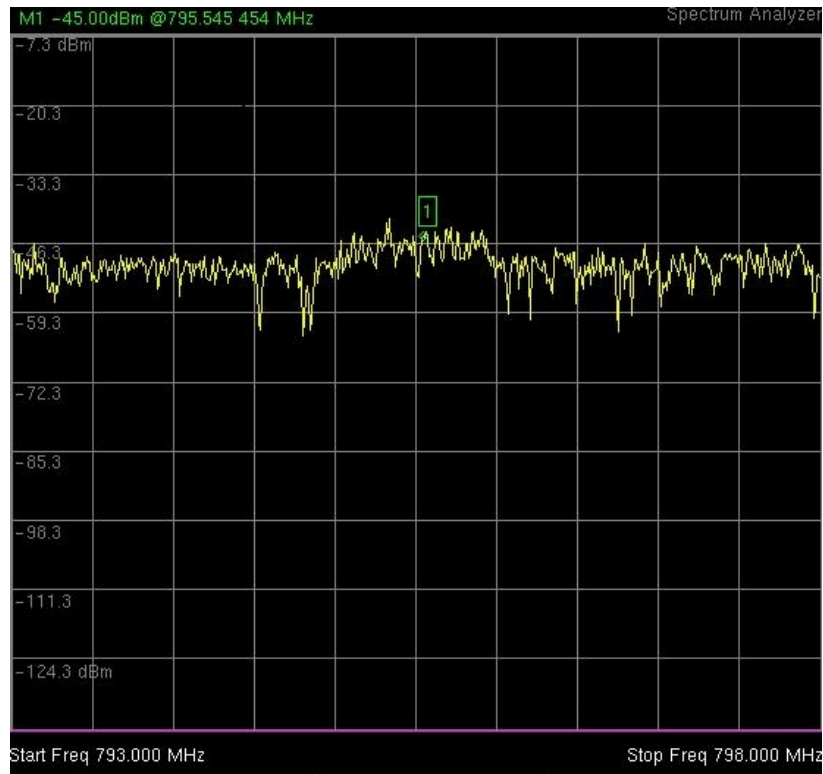
### **Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 793 -798 MHZ**

En el monitoreo realizado al rango de frecuencia de 793 – 798 MHz, se observa ocupación en su totalidad, de la misma manera en pruebas anteriores se toma un piso de ruido de 60 dB $\mu$ V/m, lo cual se puede observar en la figura 38.



*Figura 38.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 793 – 798 MHz – Quito.

En la figura 39 se muestra el monitoreo realizado al mismo rango de frecuencia anterior, pero a través del analizador de espectro ANRITSU MS2724B y se determina que los resultados coinciden con los obtenidos con el sistemas SACER.

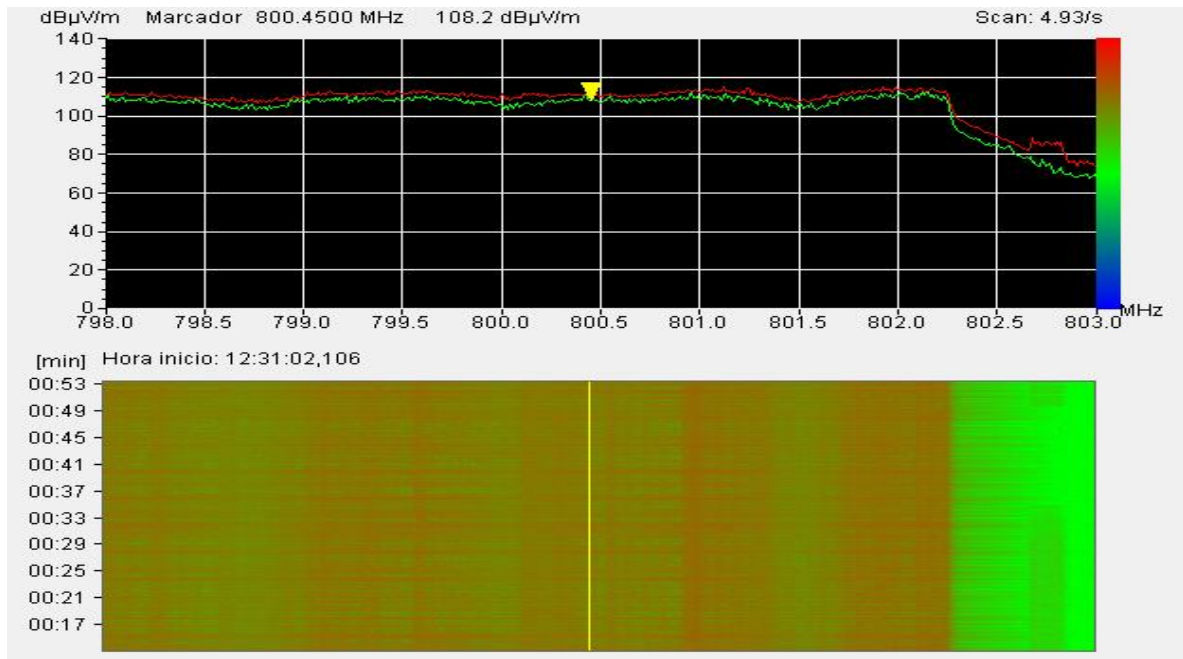


*Figura 39.* Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 793 – 798 MHz – Quito.

### **Gráficas de ocupación del espectro en el rango de 798 -803 MHz**

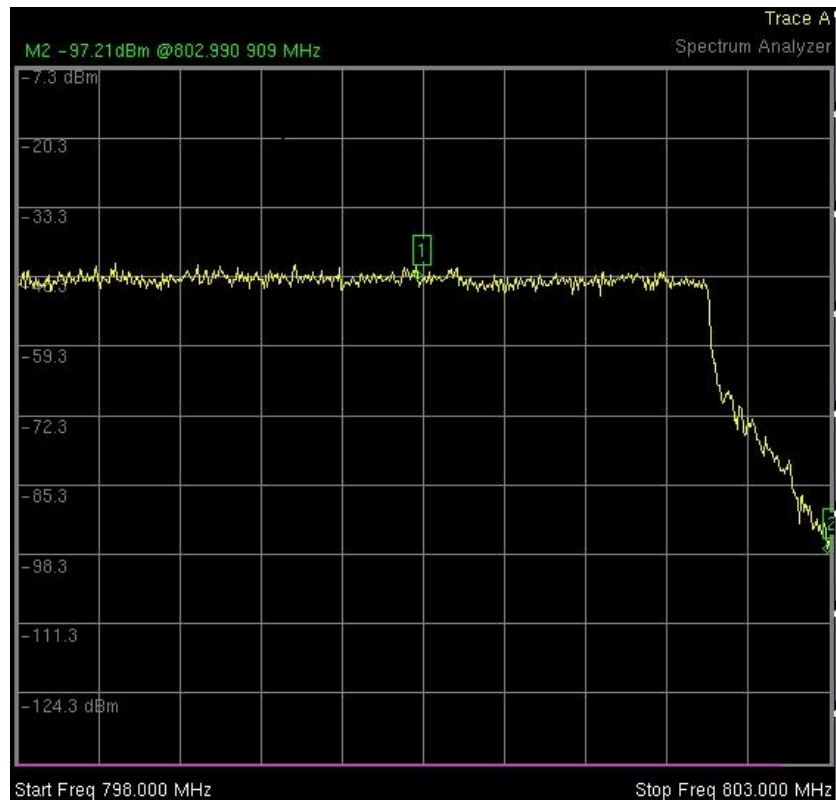
Al realizar el monitoreo de ocupación del espectro en el rango de 798 – 803 MHz, se observa ocupación, como se indica en la figura 40, de la misma manera este rango de frecuencia se encuentra asignado a CNT EP.





*Figura 40.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 798 – 803 MHz – Quito.

Al realizar el monitoreo a través del analizador ANRITSU MS2724B como se puede observar en la figura 41, existe un comportamiento similar al obtenido por medio del sistema SACER.



*Figura 41.* Medición del espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 798 – 803 MHz – Quito.

### 3.1.2 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Nueva Loja.

A través del SACER, se realizó el monitoreo de la banda de 700MHz en la estación remota de Nueva Loja, y se observa que no existe ocupación en ningún rango de frecuencia de la banda de 700 MHz como se ve en la figura 42, al consultar la cobertura de CNT EP en su página web oficial (quien es la operadora que tiene una asignación para la banda de 700MHz) se observa que no existe cobertura de servicios en redes 4G en la toda la ciudad de Nueva Loja , motivo por el cual no existe ocupación en la banda mencionada. Únicamente en el rango de frecuencias de 738 – 743 MHz, se observa una pequeña señal espuria.

Debido a que el nivel de ruido en el sector es bajo, se tomó un piso de ruido 40 dB $\mu$ V/m.

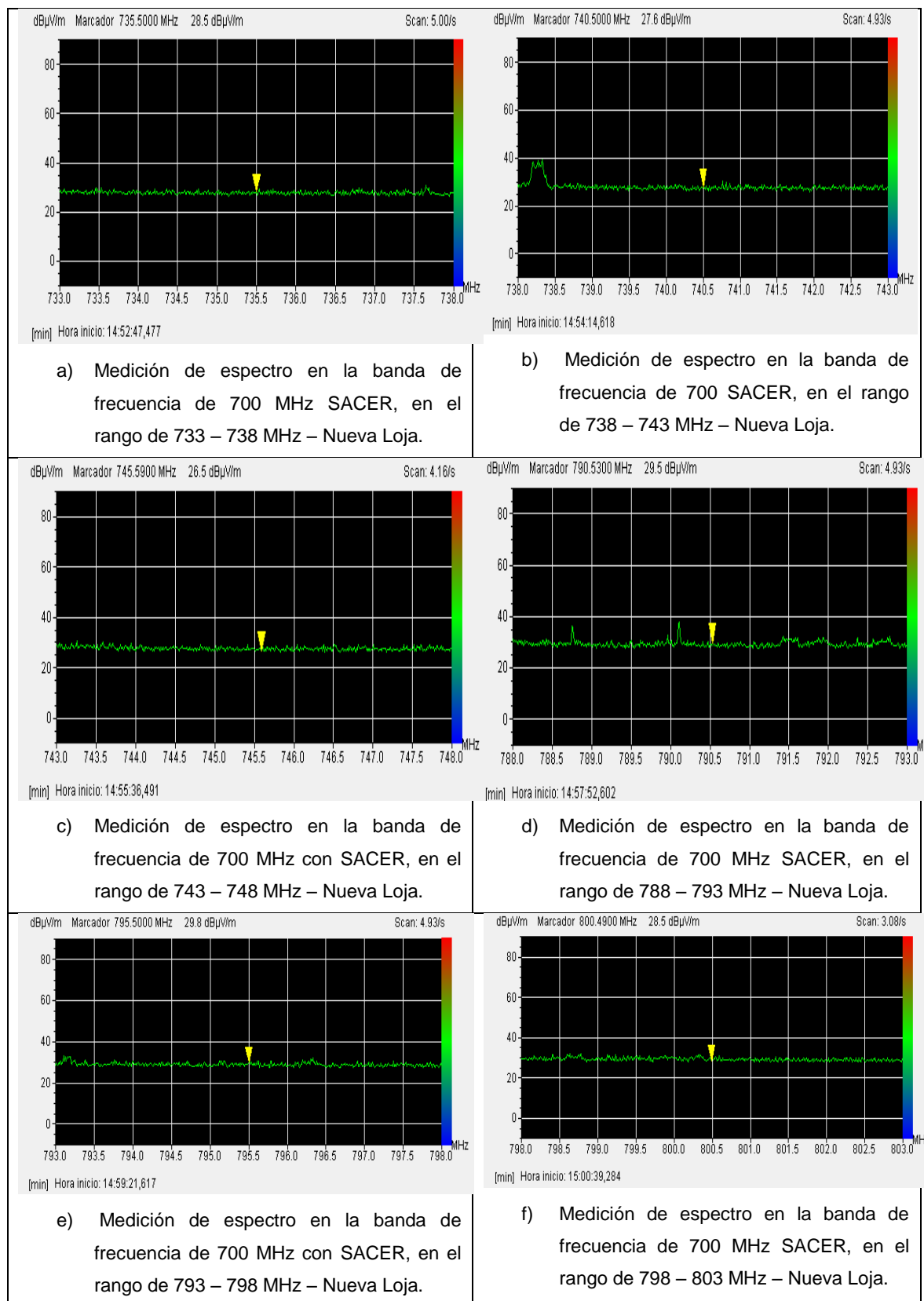


Figura 42. Monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Nueva Loja.

Como se indica en la figura 43 no existe cobertura de servicios 4G en la ciudad de Nueva Loja por parte de la operadora CNT EP.

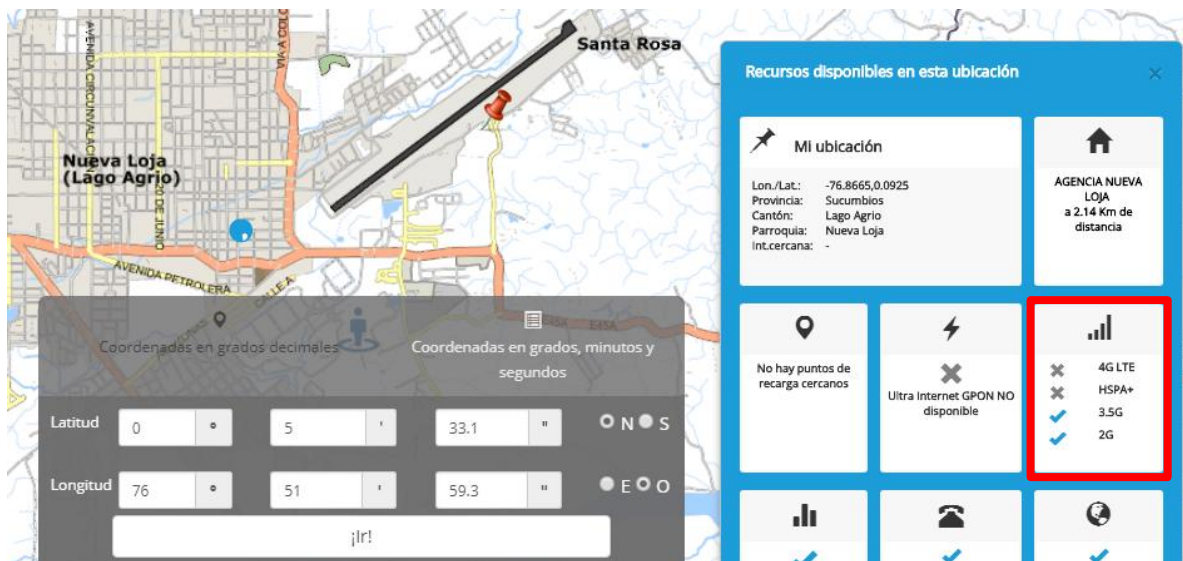
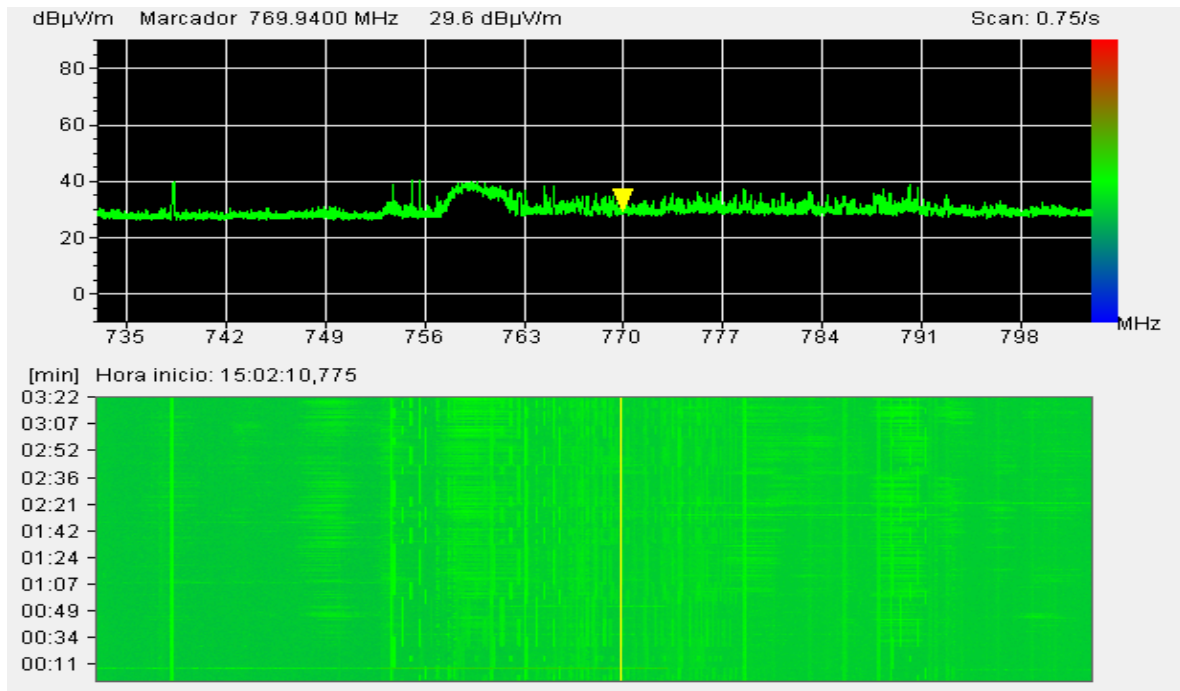


Figura 43. Mapa de cobertura de la operadora CNT EP.

También se realiza un barrido en el rango de 733 – 803 MHz, el cual se muestra en la figura 44, mediante la resolución TEL-804-29-CONATEL-2012 en este rango se encuentran asignadas las bandas de frecuencia para la operación de LTE por parte de la operadora CNT EP, de la misma manera no se observa ocupación en este rango del espectro.



*Figura 44.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 803 MHz – Nueva Loja.

### 3.1.3 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Esmeraldas.

En la Figura 45 podemos observar que no existe ocupación de espectro en la banda de 700 MHz, únicamente en el rango de 738 – 743 MHz se detectan leves señales espurias, se tomó un piso de ruido de 40 dBµV/m, además se consultó a través del GIS de cobertura de la operadora CNT EP y se verificó que no disponen de cobertura para 4G en dicha ciudad.

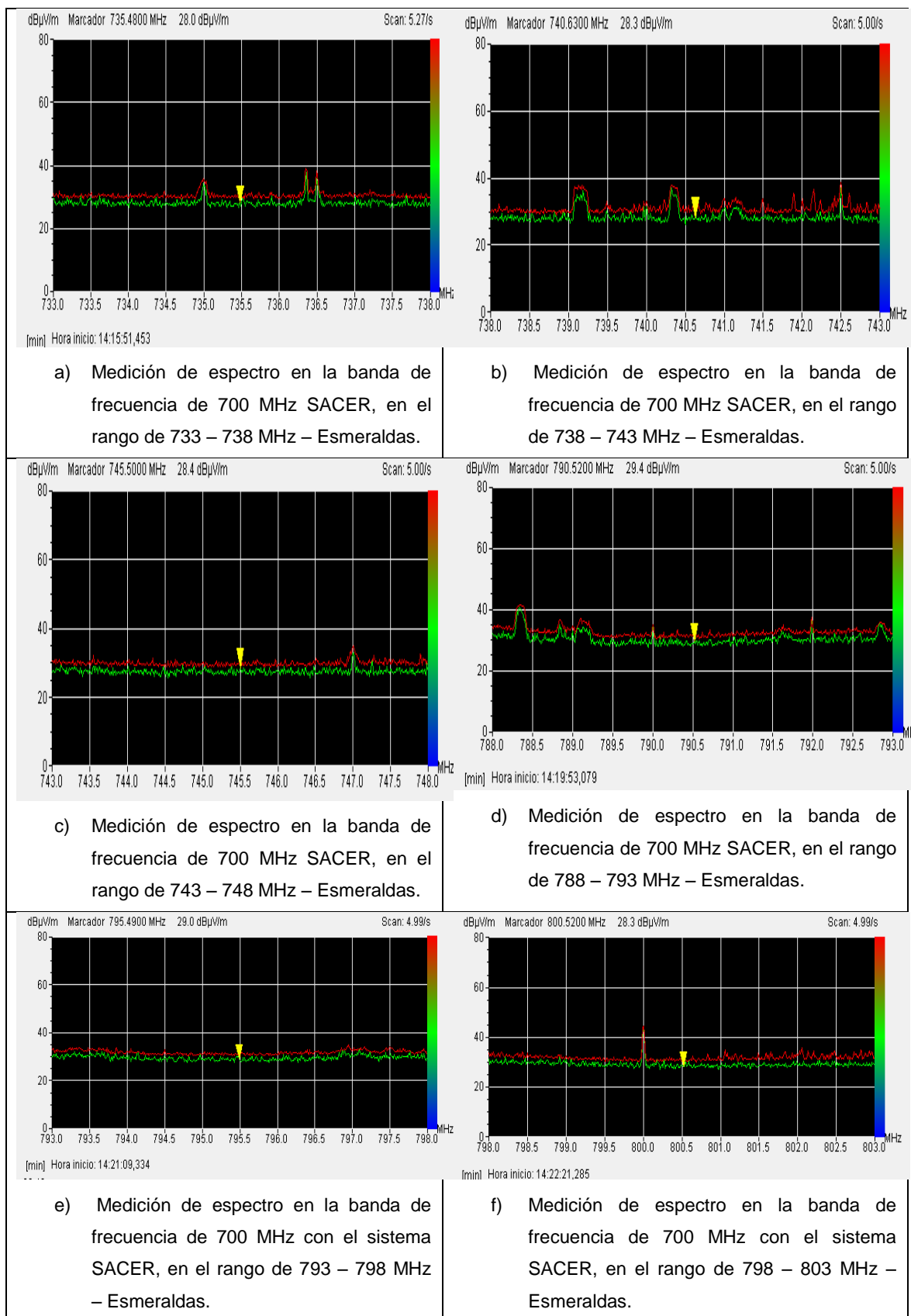


Figura 45. Monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Esmeraldas.

Al realizar la consulta en el mapa de cobertura disponible en la página web oficial de CNT EP, se observa en la figura 46 que no existe cobertura para servicios 4G por parte de la operadora.

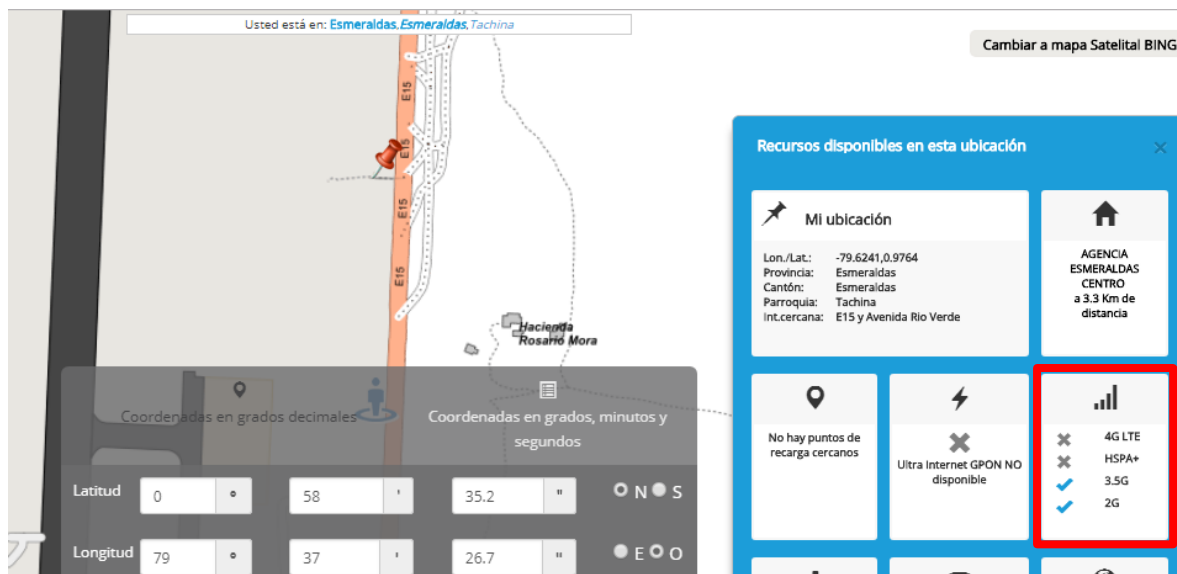
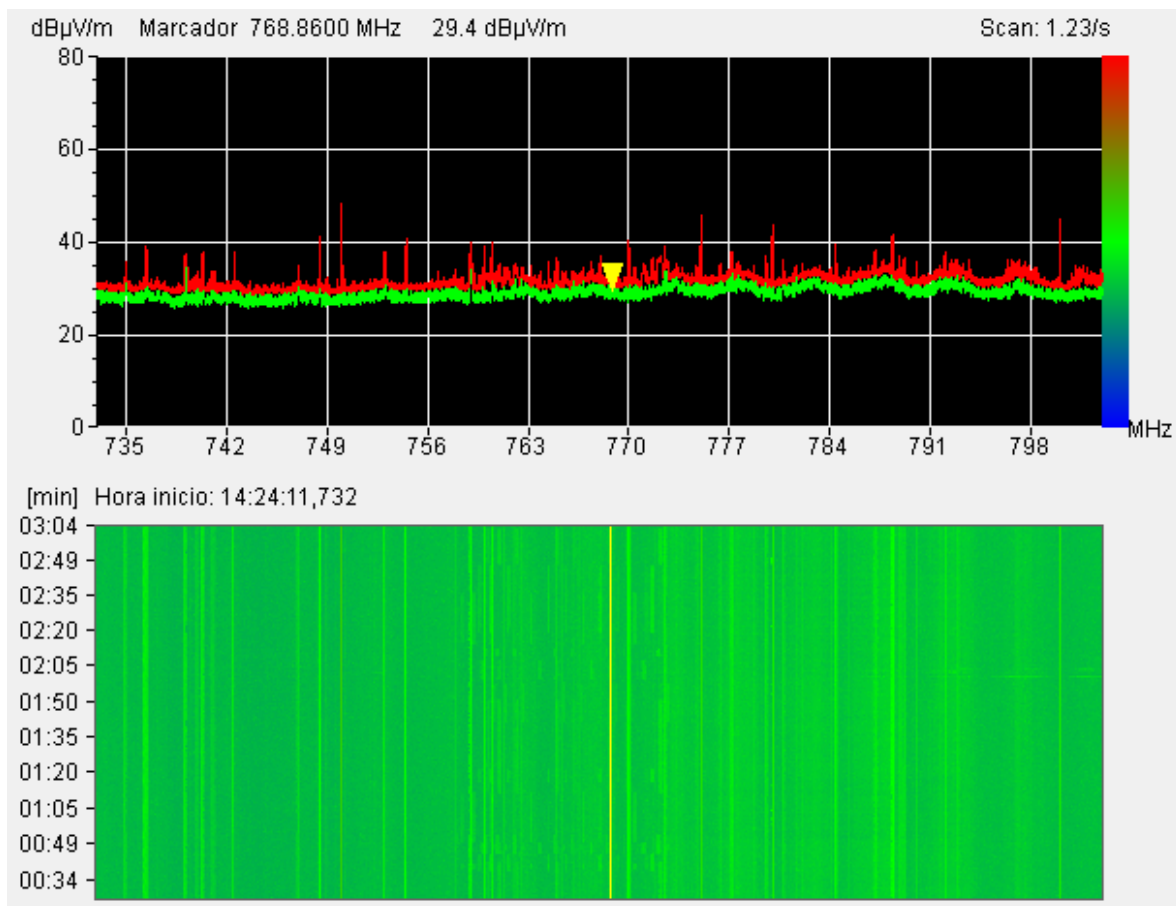


Figura 46. Mapa de cobertura de la operadora CNT EP.

En la Figura 47 se puede observar que no existe ocupación alguna en el rango de frecuencias de 733 – 803 MHz, se tomó un piso de ruido de 40 dB $\mu$ V/m, debido a que en la ciudad de Esmeraldas no existe tanta ocupación del espectro como en la ciudad de Quito, por lo cual no existen muchas señales que puedan interferir.



*Figura 47.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 803 MHz – Esmeraldas.

### 3.1.4 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Ibarra.

En la figura 48 se muestra el monitoreo de 733 – 803 MHz, para este monitoreo se utilizó un piso de ruido de 40 dBμV/m.



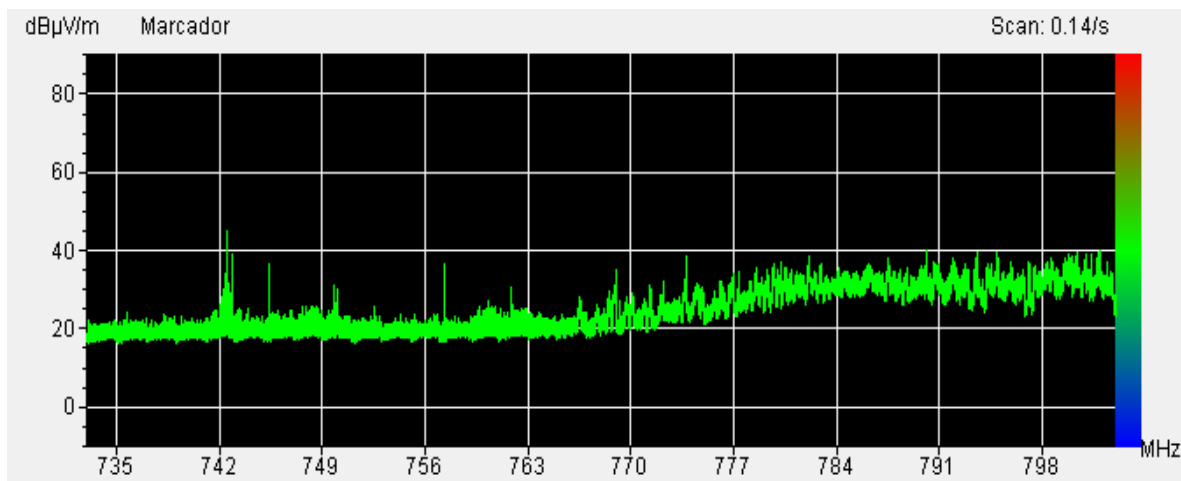
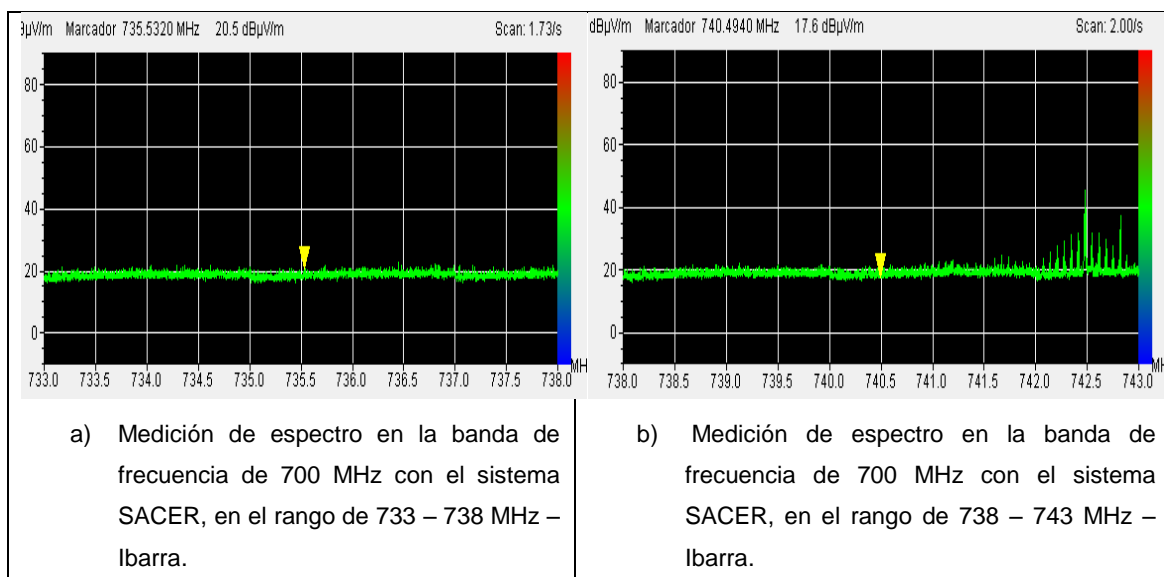


Figura 48. Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 803 MHz – Ibarra.

Como se puede observar en la figura 49 se determina que a pesar que CNT tiene asignación para servicios 4G, al momento de realizar el monitoreo, no existe ocupación alguna en la banda de 700 MHz en la ciudad de Ibarra.



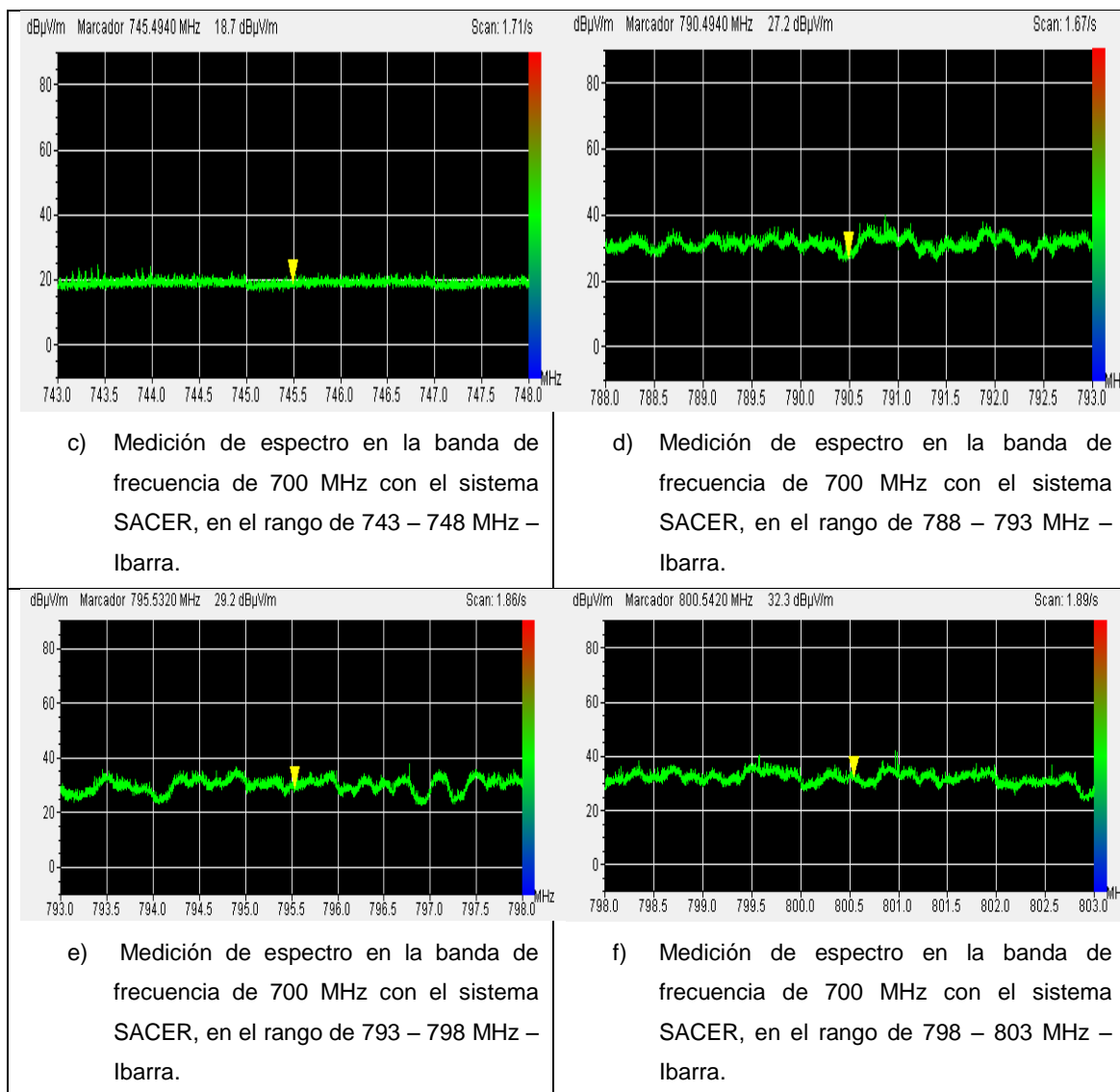


Figura 49. Monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Ibarra.

### 3.1.5 Ocupación del espectro en la banda de 700 MHz en la ciudad de Tulcán.

El monitoreo realizado en la ciudad de Tulcán, mostrado en la Figura 50, indica que no existe ocupación en la banda de 700 MHz, se puede observar varias señales espurias con niveles de ruido inferiores al piso de ruido, que en este caso fue de 40 dBμV /m.

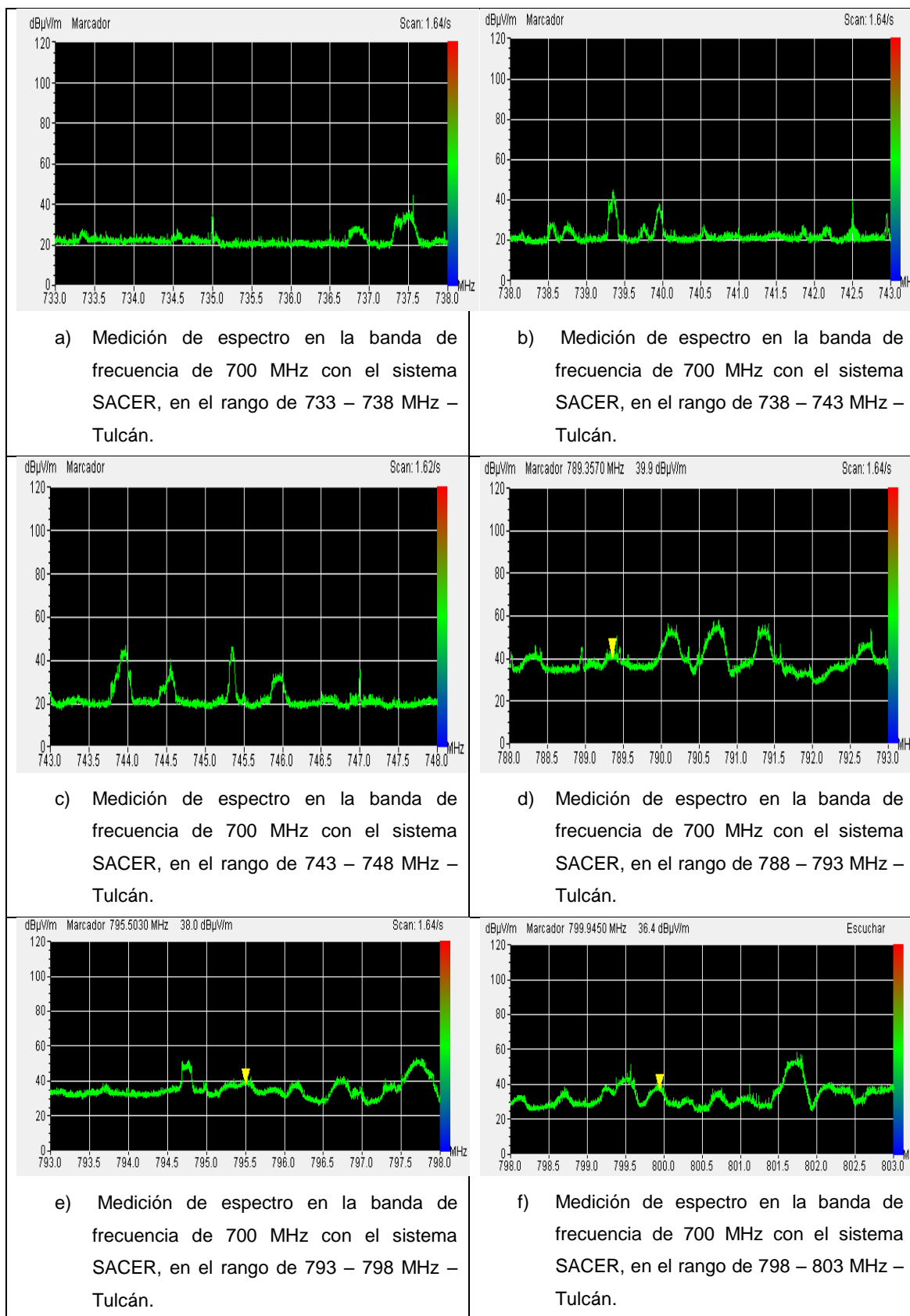
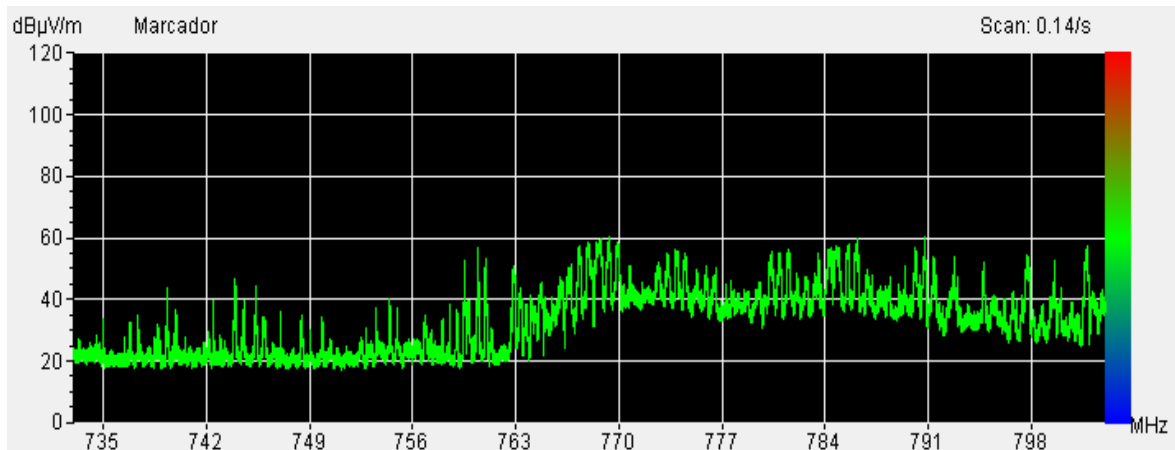


Figura 50. Monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Tulcán.

En la figura 51 se puede observar el resultado del monitoreo realizado al rango de frecuencia de 733 – 748 MHz, el cual tiene asignación para CNT EP para servicios 4G en uplink.



*Figura 51.* Medición de espectro en la banda de frecuencia de 700 MHz con el sistema SACER, en el rango de 733 – 803 MHz – Tulcán.

### 3.2 Monitoreo banda de frecuencia de 3.3 - 3.8 GHz

Debido a que el SACER nos permite monitorear frecuencias hasta de 3 GHz, se optó por utilizar el analizador ANRITSU MS2724B, el cual tiene una capacidad de medir Frecuencias hasta los 18 GHz, por lo cual este dispositivo nos permitirá verificar la ocupación del espectro para la banda de 3.3 – 3.8 GHz.

Como se indicó en el capítulo 2, únicamente existe asignación de 71.5 MHz que equivale al 35,75% del espectro en el rango de 3.4 a 3.6 GHz, según el Plan Nacional de Frecuencias se encuentra atribuido para comunicaciones fijo por satélite (espacio-tierra). Al ser frecuencias SHF (Súper Alta Frecuencia) no existe ningún otro tipo de asignación dentro de este rango, motivo por el cual el monitoreo de esta frecuencia se lo realizó únicamente en el edificio de la Coordinación Zonal 2 de ARCOTEL en la ciudad de Quito, la razón por la que se eligió este sitio es que se encuentra ubicado en una de las zonas más importantes de la ciudad donde se sitúan las principales operadoras de SMA, además de instituciones públicas y privadas.

Para este monitoreo se utilizó un piso de ruido de -80 dBm como se observa en la figura 52 no existe ocupación en la banda de frecuencia de 3.3 GHz a 3.8GHz.

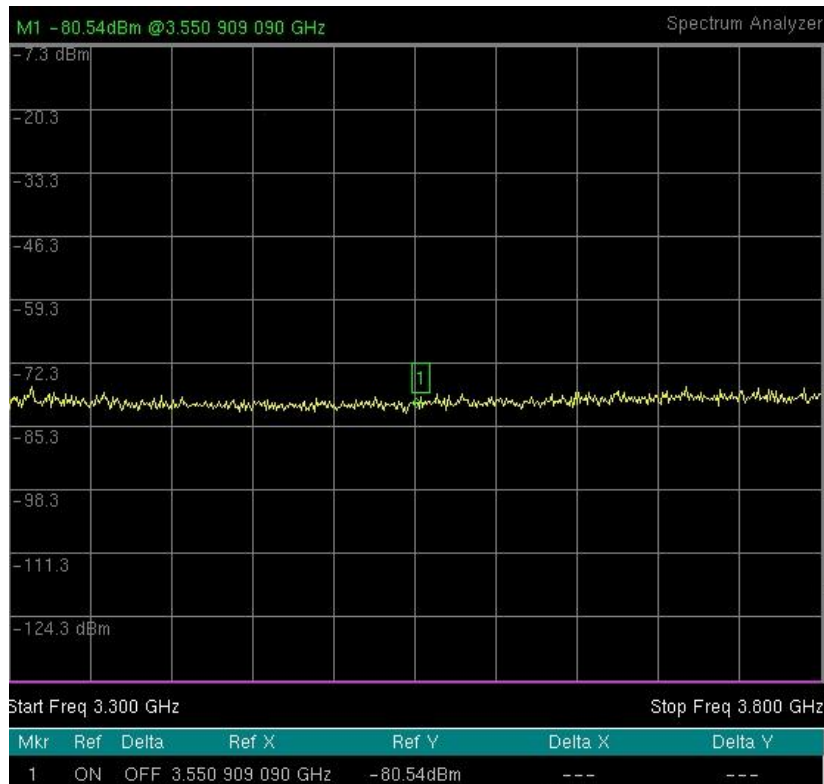


Figura 52. Monitoreo del espectro con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 3.3 – 3.8 GHz – Quito.

### 3.3 Monitoreo banda de frecuencia de 4.4 – 5.0 GHz

Debido a que existe un gran interés para el desarrollo de 5G en Asia en las bandas de frecuencia de 4.8 – 5.0 GHz, y de 4.4 - 4.9 GHz, por parte de China y Japón respectivamente, se decidió realizar un monitoreo en el rango de 4.4 – 5.0 GHz el cual abarca ambos rangos, se comprobó que no existe asignación alguna para su explotación en los rangos mencionados, únicamente la atribución según el Plan Nacional de Frecuencias es para Fijo por satélite (espacio-tierra).

En la Figura 53, se observa el rango de frecuencias de 4.4 – 5.0 GHz, el cual se encuentra sin ocupación en sus totalidad, el piso de ruido es de -80dBm

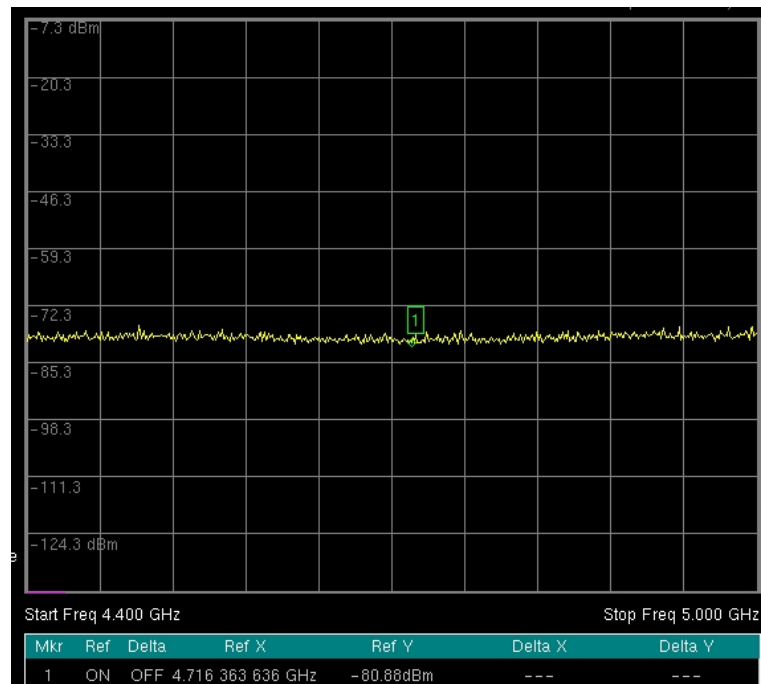


Figura 53. Monitoreo del espectro con el analizador ANRITSU MS2724B, en el rango de 4.4 – 5.0 GHz – Quito.

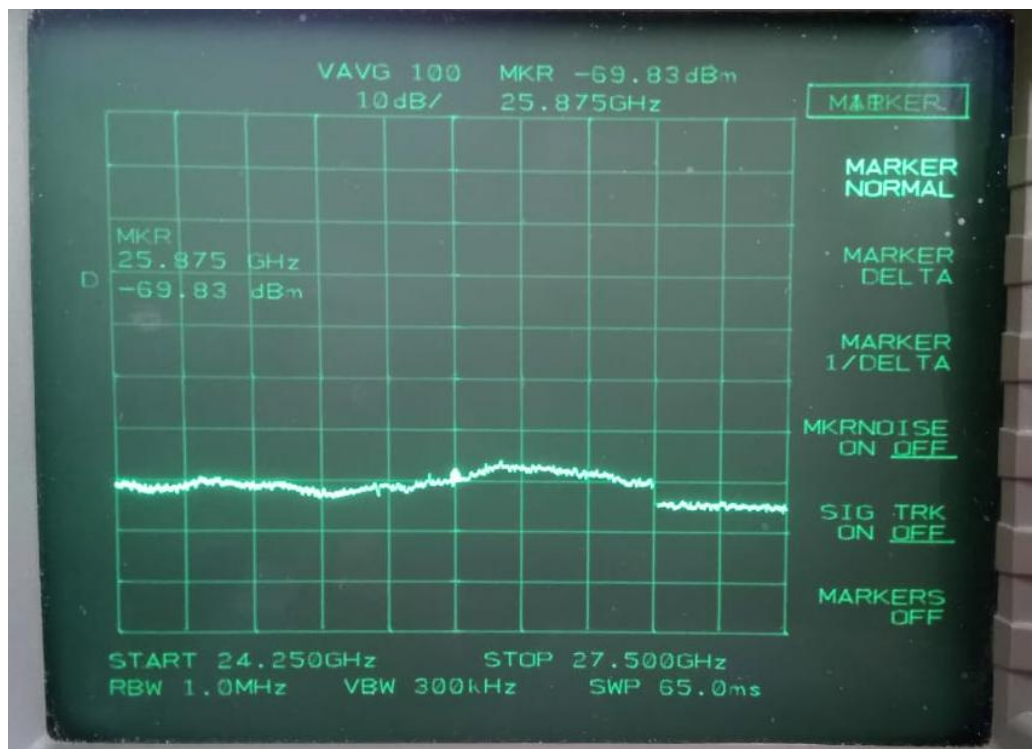
### 3.4 Monitoreo banda de frecuencia de 24.25 - 27.5 GHz

Para poder monitorear las bandas de frecuencia de 24.25 a 27.5 GHz, se tuvo que utilizar el analizador de espectros HP 8546E, y una antena ETS 3116 la cual nos permite realizar monitoreo del espectro en un rango de 18 – 40 GHz, la antena en mención se la indica en la figura 54.



Figura 54. Antena ETS 3116 rango de operación de 18 – 40 GHz.

En la Figura 55 se observa que en el rango de frecuencia indicado no existe ocupación del espectro, en el rango de 26.8 – 27 GHz se observa una variación, la cual no indica que sea una interferencia u ocupación del espectro sino que se debe al filtro interno pasa banda, el cual se encarga de dejar pasar un determinado rango de frecuencias y atenúa el paso del resto.



*Figura 55.* Monitoreo del espectro con el analizador de espectro HP 8546E, en el rango de 24.25 a 27.5 GHz – Quito.

Con la finalidad de observar con más claridad este rango de frecuencias, se optó por realizar la medición también por rangos. En la figura 56 se visualiza el monitoreo realizado al rango correspondiente de 24 – 25 GHz.

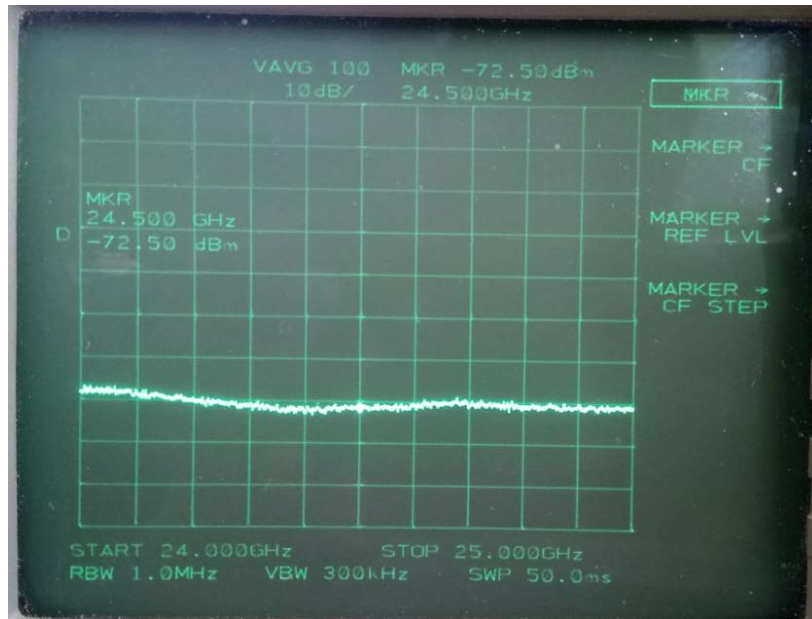


Figura 56. Monitoreo del espectro con el analizador de espectro HP 8546E, en el rango de 24 a 25 GHz – Quito.

Una vez realizado el monitoreo del rango de 26 a 27 GHz, tal y como se indica en la figura 57, es aquí donde se observa una caída de la señal, como se explicó con anterioridad corresponde al filtro paso banda el mismo que se caracteriza por atenuar las frecuencias que no están determinadas para su medición.

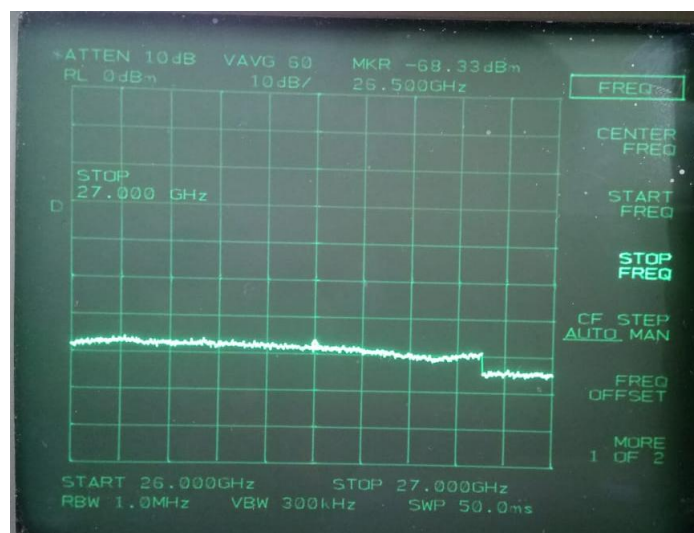


Figura 57. Monitoreo del espectro con el analizador de espectro HP 8546E, en el rango de 26 a 27 GHz – Quito.



Finalmente se realiza el monitoreo al rango de 27 – 28GHz, encontrándose al igual que a los rango anteriores que no existe ocupación del espectro para dicha frecuencia, como se observa en la Figura 58.



Figura 58. Monitoreo del espectro con el analizador de espectro HP 8546E, en el rango de 27 a 28 GHz – Quito.

#### 4. CAPÍTULO IV. Análisis de Resultados

En el presente capítulo se realiza el análisis de resultados obtenidos en el capítulo 3, los cuales corresponden al monitoreo realizado a las bandas de frecuencia de 700 MHz, 3.3 - 3.8 GHz y 24.25 - 27.5 GHz, a través de los equipos descritos en el capítulo 2.

##### 4.1 Análisis de la banda de frecuencia de 700 MHz.

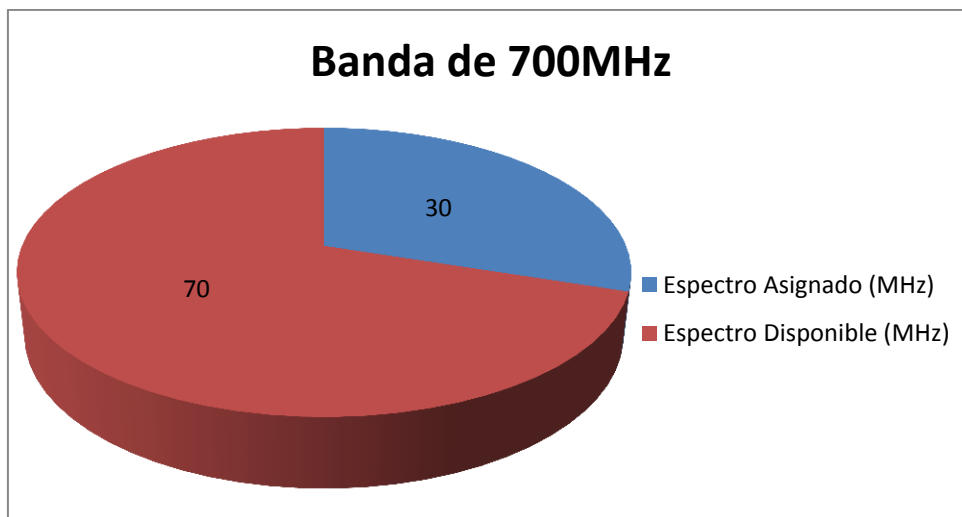
En la situación actual de la banda de 700 MHz en el Ecuador (la cual va de los 703 a 803 MHz), de un total de 100 MHz se encuentra una asignación de 30 MHz para la operadora CNT EP, en los rangos de 733 – 748 MHz y de 788 – 803 MHz para la prestación de Servicio Móvil Avanzado SMA con tecnología 4G LTE, lo cual equivale al 30% de asignación. En la tabla 8 se encuentra detallada la situación actual de la canalización dicha banda de frecuencia.

Tabla 8.

*Situación actual de la banda de 700MHz en el Ecuador.*

RANG O	BANDA LTE 3GPP	BLOQUE S	LIMITE INFERIOR (MHz)	LIMITE SUPERIOR (MHz)	AB (MHz )	PRESTADO R	ENLACE	
700 MHz	28	A	703	708	5	Sin Asignación	UPLINK	
		B	708	713	5			
		C	713	718	5			
		D	718	723	5			
		E	723	728	5			
		F	728	733	5			
		G	733	738	5	CNT		
		H	738	743	5			
		I	743	748	5			
		A'	758	763	5	Sin Asignación	DOWNLIN K	
		B'	763	768	5			
		C'	768	773	5			
		D'	773	778	5			
		E'	778	783	5			
		F'	783	788	5			
		G'	788	793	5	CNT		
		H'	793	798	5			
I'	798	803	5					

En la figura 59 se puede observar en color azul la cantidad de espectro asignado y en color rojo la cantidad de espectro disponible en la banda de 700 MHz.



*Figura 59.* Gráfico de espectro disponible y asignado en la banda de 700 MHz.

#### **4.1.1 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Quito.**

Para el análisis de monitoreo de ocupación de la banda de 700 MHz en la ciudad de Quito, se realizó el monitoreo en las oficinas de la coordinación zonal 2 de ARCOTEL, esta ubicación se encuentra vecina a las instalaciones de CNT EP que es la operadora con asignación de frecuencias en la banda de 700 MHz, lo cual nos permite obtener resultados más íntegros.

En el rango de frecuencias de 733 – 738 MHz con el analizador de espectros ANRITSU MS2724B, se detectó que existe una señal espuria que superaba el piso de ruido de -100 dBm, la cual correspondía a interferencia generada por una emisora de radio FM.

Con el monitoreo realizado a la banda de 700 MHz en la ciudad de Quito, cuyo monitoreo fue registrado el capítulo 3, se observa que únicamente existe ocupación del espectro en los canales de 788 – 793 MHz, 793 – 798 MHz y 798 – 803 MHz.

#### **4.1.2 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Nueva Loja.**

En el monitoreo realizado en la ciudad de Nueva Loja se tomó un piso de ruido de 40 dB $\mu$ V/m, debido a que existe menor ocupación del espectro que en las

ciudades principales, se observa que en toda la banda de 700 MHz no existen señales que superen este piso de ruido, por lo cual se puede determinar que no existe ocupación de la banda de 700 MHz, cabe mencionar que al verificar la cobertura de la operadora CNT EP, no existe cobertura de servicios 4G LTE en la ciudad mencionada.

#### **4.1.3 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Esmeraldas.**

Al analizar los resultados obtenidos en el monitoreo realizado en la ciudad de Esmeraldas, se determina que no existe ocupación en toda la banda de 700 MHz, igualmente se procedió con la consulta a través de la página web oficial de la operadora CNT EP, y se valida que tampoco tienen desplegados servicios 4G en dicha ciudad por lo que no se observa ocupación en esta banda.

#### **4.1.5 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Ibarra.**

Con los resultados al monitoreo en el ciudad de Ibarra, tomando un piso de ruido de 40 dB $\mu$ V/m, no se observa ocupación en dicha banda de frecuencia, a pesar que al consultar la cobertura con la operadora CNT EP, se observa que si dispone de cobertura 4G en la ciudad, probablemente por los pocos abonados de la operadora es que no se observó ocupación al momento de realizar el monitoreo.

#### **4.1.6 Análisis de monitoreo de la banda de 700 MHz en la ciudad de Tulcán.**

En el monitoreo realizado en la ciudad de Tulcán se observa que no existe ocupación de la banda de 700 MHz, tomando un piso de ruido de 40 dB $\mu$ V/m, únicamente se observa en el rango de 743 – 748 MHz ciertas señales espurias las cuales no superan el piso de ruido. Al verificaren la página web de CNT EP si existe cobertura 4G, se observa que no cuentan con cobertura LTE en la ciudad de Tulcán.

#### 4.2 Análisis de monitoreo a la banda de frecuencia de 3.3 - 3.8 GHz.

En el monitoreo realizado a la banda de 3.3 a 3.8 GHz, se pudo determinar que no existe ocupación en este rango de frecuencias, debido a ser una frecuencia superior a los 3 GHz, se utilizó el analizador de espectros ANRITSU MS2724B para dicho monitoreo, a pesar de existir una asignación en los rangos de 3400 – 3425 MHz, 3500 – 3525 MHz para CNT EP y para ETAPA en los 3475 - 3485,75 MHz y 3575 - 3585,75 MHz, dando así un total de 71,5 MHz asignados, se pudo observar que se detectó ocupación al momento de realizar el monitoreo, determinado así que no existe ocupación en el todo el rango de 3.3 a 3.8 GHz para este monitoreo se utilizó un piso de ruido de -80 dBm.

En la figura 60 se indica la cantidad de espectro disponible y asignado en el rango de 3.3 a 3.8 GHz.

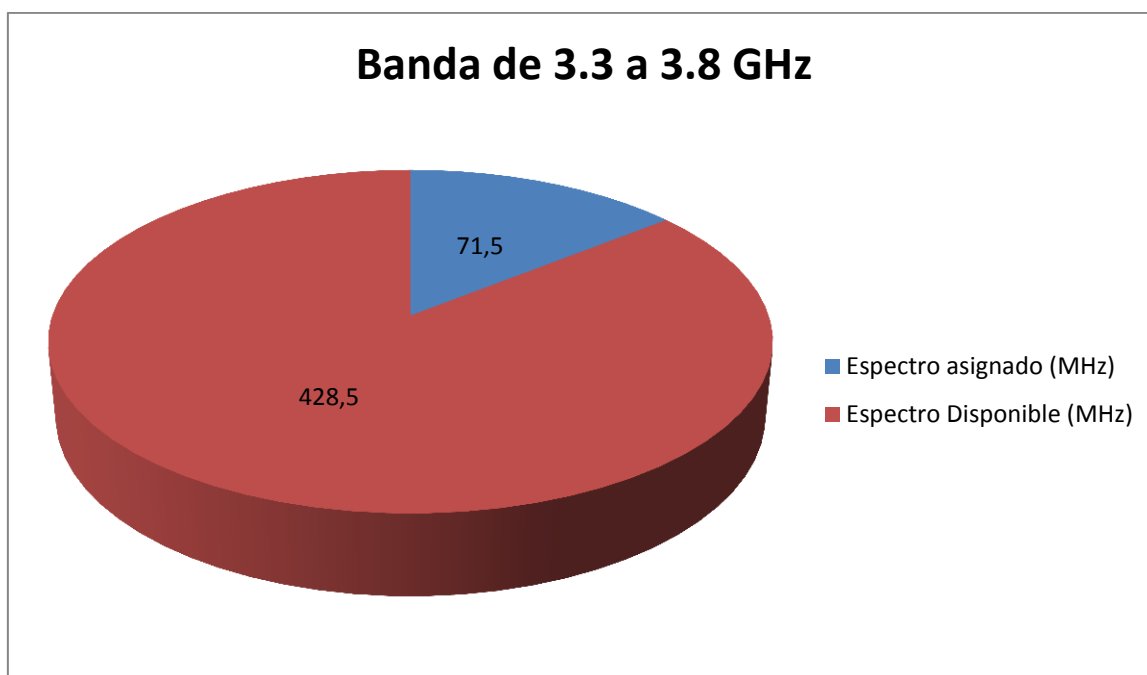


Figura 60. Gráfico de espectro disponible y asignado en la banda de 3.3 a 3.8 GHz.

#### 4.3 Análisis de Monitoreo banda de frecuencia de 4.4 – 5.0 GHz

El Plan Nacional de Frecuencias determina que el rango de 4.4 a 5.0 GHz corresponde a servicios Fijo por satélite (espacio-tierra), al analizar el

monitoreo realizado a dicho rango de frecuencias con el analizador ANRITSU MS2724B, no se encuentra ningún tipo de ocupación en el espectro, y tampoco se tiene asignado este rango a ninguna operadora para su explotación, para el monitoreo de este rango de frecuencias se utilizó un piso de ruido de -85 dBm.

#### **4.4 Análisis de monitoreo a la banda de frecuencia de 24.25 - 27.5 GHz.**

Al tratarse de frecuencias muy altas, se utilizó el analizador de espectros HP 8564E, con los datos obtenidos en el capítulo 3, tomando como referencia un piso de ruido de -69.83 dBm, se puede observar que no existe ocupación alguna del espectro mencionado, con la finalidad de observar de una mejor manera se realizó el monitoreo en tres rangos de frecuencia entre los 24.25 – 27.5 GHz, y se observa el mismo comportamiento en el espectro, cabe recalcar una mínima caída en el nivel del piso del ruido entre los 26.8 – 27 GHz, la cual corresponde al filtro interno pasa banda del analizador de espectros, el cual deja transitar un determinado rango de frecuencias y atenúa el paso del resto.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

En el trabajo realizado se utilizó analizadores de espectro con la capacidad de medir las bandas de frecuencia en estudio, para el monitoreo de frecuencias de hasta 3 GHz el *Sistema Automático de Control del Espectro Radioeléctrico* (SACER) permitió un monitoreo remoto en las ciudades dentro de la competencia de la Coordinación Zonal 2 de ARCOTEL, para el monitoreo de bandas de frecuencias hasta los 20 GHz el analizador de espectro ANRITSU MS2724B proporcionó datos fiables y fáciles de interpretar; finalmente, para el monitoreo de frecuencias mayores a los 20 GHz el analizador de espectros HP 8564E junto con la antena ETS 3116, proporcionaron la capacidad de monitorear frecuencias de hasta 40 GHz.

En la banda de 700 MHz, que va de 703 – 803 MHz, existe una asignación de 30 MHz para la operadora CNT EP en los rangos de 733 - 748 MHz y de 788 – 803 MHz, únicamente se evidenció ocupación de 15 MHz en la ciudad de Quito en el rango comprendido de 788 – 803 MHz, en el resto de ciudades donde se realizó el monitoreo no se observó ocupación en los 100 MHz que componen esta banda.

De acuerdo a la investigación realizada, la operadora CNT EP es la única que tiene asignación en la banda de 700 MHz, basada en informes de la ARCOTEL. La operadora en mención tiene la participación más baja en el mercado ecuatoriano (4,70%), lo cual se evidenció en el monitoreo realizado. Con los resultados obtenidos se observa que las frecuencias asignadas a la operadora se encuentran subutilizadas.

Las mediciones determinaron que las bandas de frecuencias propuestas para 5G en el Ecuador, tiene una mínima ocupación, razón por la cual sería apropiado atribuir las bandas de 3.3 – 3.8 GHz y de 24.25 – 27.5 para Servicio Móvil Avanzado (SMA) en redes 5G.

En la zona urbana de la ciudad de Quito se determinó el valor del piso de ruido en -80 dBm. Este efecto es causado por señales de otros sistemas o por agentes externos como el ruido cósmico, atmosférico y térmico, que se encuentran continuamente en el ambiente.

La banda de 700 MHz se considera una de las principales para iniciar con la implementación de 5G, actualmente muchos países consideran la posibilidad de liberar esta banda para en un futuro implementar los primeros servicios en 5G, en el caso de Ecuador se tiene asignación en esta banda para LTE, en cierto modo se considera una ventaja porque permitiría realizar una migración más sencilla hacia 5G.

## **5.2 Recomendaciones**

La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 (CMR-19) será esencial para definir espectro armonizado para servicios 5G, por esta razón se

recomienda que el gobierno ecuatoriano inicie su planificación con suficiente anticipación, en preparación a los resultados que se obtengan en la CMR-19.

El espectro de la banda de 700 MHz será utilizado para extender la cobertura de 5G en zonas más allá de los principales centros urbanos y edificios, en los cuales se llegaría a utilizar las frecuencias más altas (3.3 – 3.8 GHz y 24.5 – 27.5 GHz), dichas frecuencias no podrían proveer grandes zonas de cobertura, y como se pudo demostrar en el presente estudio, ya existen servicios LTE trabajando en el espectro de 700 MHz, lo que permitiría que este rango sea utilizado a futuro con mayor facilidad para servicios 5G.

Se confirmó con las mediciones que las frecuencias más altas presentan menores problemas de interferencia y, por consiguiente, son idóneas a una mayor compartición del espectro, pero su desventaja es que proporcionan áreas de cobertura más pequeñas, lo cual las limita a proporcionar servicios en áreas urbanas o para cobertura Indoor.

Al realizar el monitoreo del rango de 733 -738 MHz con el analizador ANRITSU MS2724B, se observa una señal espuria que supera el piso de ruido, al analizar dicha señal se determina que corresponde a interferencia provocada por una emisora de radio FM, por consiguiente se recomienda que cuando los operadores detecten este tipo de interferencia notifiquen al ente regulador ARCOTEL, con la finalidad que pueda inspeccionar y fiscalizar el uso del espectro radioeléctrico.

Debido a que este tipo de monitoreo requiere de equipos especializados, los cuales no son de fácil acceso, se recomienda gestionar con suficiente tiempo de anticipación las respectivas autorizaciones por parte de las instituciones que vayan a prestar dichos equipos.



## REFERENCIAS

- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2012). Resolución TEL-804-29-CONATEL-2012. Recuperado el 4 de abril de 2018 de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/0804-TEL-29-CONATEL-2012.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2016). LA ARCOTEL. Recuperado el 24 de junio de 2018 de <http://www.arcotel.gob.ec/la-arcotel/>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2017). Plan Nacional de Frecuencias: Recuperado el 2 de mayo de 2018 de [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1\\_DOCUMENTO-PNF..pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/ANEXO-1_DOCUMENTO-PNF..pdf) .
- Agilent Technologies. (2000). Agilent 8560 E-Series Spectrum Analyzers Frequency specifications , Agilent 8560 E-series, 1–12. Recuperado el 2 de junio de 2018 de <http://www.testequipmenthq.com/datasheets/Agilent-8564E-Datasheet.pdf>
- Agredo-Méndez, G. L., Jojoa-Gómez, P. E., & Almenar-Terré, V. (2015). Sistemas MIMO con un elevado número de antenas: clave para la 5G inalámbrica. Recuperado el 24 de junio de 2018 de <http://www.redalyc.org/pdf/2654/265443638019.pdf>.
- ARCOTEL. (2018). *informe de canalización bandas 3300-3400 mhz y 3400-3600 mhz 0186558001523042831.pdf*. Recuperado el 2 de junio de 2018 de [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/informe\\_de\\_canalización\\_bandas\\_3300-3400\\_mhz\\_y\\_3400-3600\\_mhz0186558001523042831.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/informe_de_canalización_bandas_3300-3400_mhz_y_3400-3600_mhz0186558001523042831.pdf)
- Arias, L., & Crespo, C. (2016). La Capa Física de los Futuros Sistemas de Superior de Ingeniería 5<sup>a</sup> Generación, Sevilla, España: Universidad

de Sevilla.

Company, J. (2013). Redes de Acceso. *Redes Ópticas*. Recuperado el 24 de abril de 2018 de <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/viewFile/13517/14143>.

Comisión Europea. (2017). *Digital Single Market Spectrum in the European Union*. Recuperado el 11 de marzo de 2018 de <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/spectrum-european-union>.

Filián, M. (2013). SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL CONTROL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO (SACER). Recuperado el 4 de marzo de 2018 de [https://issuu.com/cieepi.ecuador/docs/revista\\_n\\_\\_31pdf](https://issuu.com/cieepi.ecuador/docs/revista_n__31pdf)

Fraticegli, I. (2017). Cinco tendencias que transformarán los negocios en 2017. *El Nuevo Día*. Recuperado el 6 de junio de 2018 de <https://www.elnuevodia.com/negocios/economia/nota/cincotendenciasquetransformaranlosnegociosenel2017-2284711/>

Gallegos, D. (2014). Ecuador es un país óptimo para aplicar un Servicio Móvil Avanzado. *El Ciudadano*. Recuperado el 4 de junio de 2018 de <http://www.elciudadano.gob.ec/ecuador-es-un-pais-optimo-para-aplicar-un-servicio-movil-avanzado/>

GSMA. (2016). Espectro 5G. Recuperado el 4 de abril de 2018 de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2017/02/Espectro-5G-Posicion-de-la-GSMA-sobre-politicas-p%C3%BAblicas.pdf>

Handheld, H. P., & Analyzer, S. (s.f.). Spectrum Master <sup>TM</sup> High Performance Handheld, Recuperado el 2 de julio de 2018 de <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/08560-90171.pdf>.

- Huawei. (2016). *5G spectrum: Public Policy Position*: Recuperado el 31 de mayo de 2018 de <https://www.huawei.com/en/about-huawei/public-policy/5g-spectrum>
- Huawei Technologies. (2015). *5G: New Air Interface and Radio Access Virtualization*. Recuperado el 1 de abril de 2018 de [https://www.huawei.com/minisite/has2015/img/5g\\_radio\\_whitepaper.pdf](https://www.huawei.com/minisite/has2015/img/5g_radio_whitepaper.pdf)
- Huidrobo, J. M. (2013). *Comunicaciones Móviles. Sistemas GSM, UMTS y LTE*. Madrid: RA-MA Editorial.
- La Vanguardia. (2018). Telefónica se adjudica espectro en Reino Unido por 600 millones de euros. *La Vanguardia*. Recuperado el 6 de junio de 2018 de <http://www.lavanguardia.com/economia/20180405/442198805781/telefonica-espectro-reino-unido-5g.html>
- Larsson, E. G., Edfors, O., Tufvesson, F., & Marzetta, T. L. (2013). *Massive MIMO for Next Generation Wireless Systems*. Recuperado el 6 de marzo de 2018 de <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6736761>
- Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2017). *El Ministerio*. Recuperado el 8 de mayo de 2018 de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/?s=ministro+de+telecomunicaciones>
- National Instruments. (2017). *5G Massive MIMO Testbed: From Theory to Reality*. Recuperado el 26 de julio de 2018 de <http://www.ni.com/white-paper/52382/en/>
- Ofcom. (2017). *Update on 5G spectrum in the UK*, Recuperado el 20 de junio de 2018 de <https://www.capacitymedia.com/articles/3660831/Ofcom-reveals-more-details-about-5G-roadmap>

- Palacios, P. (2017). *Análisis de cognitive radio en redes móviles*. Universidad de Chile. Recuperado el 6 de abril de 2018 de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/146359/Analisis-de-cognitive-radio-en-redes-moviles.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Parales, D. (2017). Ondas milimétricas para las futuras redes 5G. Recuperado el 2 de julio de 2018 de <https://www.nobbot.com/otros-medios/5g-ondas-milimetricas/>
- Pignataro, N. (2013). Redes de Acceso. Recuperado el 4 de abril de 2018 de [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/63810/mod\\_resource/content/2/Ingeniería de Acceso Celular-2013.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/63810/mod_resource/content/2/Ingeniería%20de%20Acceso%20Celular-2013.pdf)
- R & S ® DDF255 Digital - Direction Finder Accurate direction - finding with measurement and analysis capabilities in a single unit R & S ® DDF255 Digital Direction Finder At a glance. (s.f.).
- UNAD. (s.f.). Tecnología Celular. Recuperado el 4 de julio de 2018 de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208017/ContLin2/leccin\\_12\\_tecn](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208017/ContLin2/leccin_12_tecn)

