



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“MEDICIÓN, CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DEL RANGO DE FRECUENCIAS ASIGNADO A SERVICIOS FIJOS – MOVILES (698 - 960 MHZ) DE LA BANDA UHF DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN LA FIEC, CAMPUS PROSPERINA”

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Omar Andrés Larrea Rodríguez

María Fernanda Hidalgo García

Guayaquil - Ecuador

2014 – 2015

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestras familias y amigos por darnos el apoyo y confianza necesaria para culminar el informe.

A nuestros compañeros de curso por la cooperación mutua en el transcurso de la materia.

Al Ing. Washington Medina, profesor de la materia de graduación, por la ayuda y soporte constante, y por la oportunidad de obtener nuestros títulos.

Omar y Fernanda

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Washington Medina

PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACIÓN

Ing. Fernando Vásquez

PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADÉMICA

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este informe nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”. (Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

Omar Andrés Larrea Rodríguez

María Fernanda Hidalgo García

RESUMEN

La sociedad actual se caracteriza por el uso de las tecnologías en sus actividades diarias, lo cual se ha visto reflejado en los últimos años en donde las telecomunicaciones ha experimentado unos de los mayores cambios de su historia teniendo como resultado la creciente migración de servicios fijos hacia los servicios inalámbricos móviles, además la tecnología ofrece herramientas que estimulan todo un conjunto de beneficios para la sociedad que contribuye al desarrollo económico.

La necesidad de cubrir la gran demanda del espectro para la consolidación de nuevos servicios inalámbricos móviles en la actualidad representa un problema de impacto social-económico debido al incremento de usuario haciendo que las operadoras vigentes no satisfacen por completo las exigencias de los usuarios. Lo que se trata de conseguir es poder optimizar el uso del espectro utilizando las frecuencias que se encuentre desocupadas como es el caso de la televisión analógica, que dentro de unos años será remplazada para la implementación de nuevas tecnologías, por ejemplo LTE, ofreciéndole al consumidor un buen servicio.

Lo que se quiere lograr es un modelo que ayude a predecir el comportamiento de un rango de frecuencias determinado, este servirá como información base para mejorar el uso del espectro.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	I
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	II
DECLARACIÓN EXPRESA	III
RESUMEN	IV
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ABREVIATURAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	1
1.1. PROBLEMA	1
1.2. OBJETIVOS GENERALES	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4. METODOLOGÍA.....	2
1.5. RESULTADOS ESPERADOS	3
1.6. OBSERVACIONES	4
2. REFERENCIAS TEÓRICAS	5
2.1. INTRODUCCIÓN	5
2.1.1. Espectro Electromagnético.....	6
2.1.2. Espectro Radioeléctrico.....	7
2.1.3. División del Espectro en Regiones.....	8
2.1.4. Onda electromagnética.....	9
2.1.5. Onda radioeléctrica.....	10
2.1.6. Tipos de ondas según la propagación.....	10

2.1.7.	Propagación.....	12
2.1.8.	Regiones de propagación.....	12
2.1.9.	Factores que afectan el recibimiento de la señal	14
2.1.10.	Frecuencia	16
2.1.11.	Capacidad de la banda de frecuencia	17
2.1.12.	Gestión del espectro radioeléctrico.....	18
2.1.13.	Principios fundamentales para la gestión del Espectro.....	18
2.1.14.	Eficiencia en el uso del Espectro Radioeléctrico	19
2.1.15.	Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias.....	20
2.1.16.	Asignación de frecuencias.....	20
2.2.	BANDA DE FRECUENCIAS	21
2.2.1.	División de las bandas de frecuencias.....	22
2.2.2.	Unidades de las frecuencias.....	23
2.2.3.	Servicios de las bandas.....	23
2.3.	SISTEMAS TRONCALIZADOS	29
2.4.	COMUNICACIONES INALÁMBRICAS	31
2.4.1.	Telefonía móvil.....	31
2.4.2.	Dispositivo móvil	32
2.4.3.	Celdas	32
2.4.4.	Estaciones base.....	33
2.4.5.	Antenas	34
2.4.6.	Generaciones de teléfonos móviles.....	34
2.4.7.	Primera Generación (1G).....	36
2.4.8.	Segunda Generación (2G).....	36
2.4.9.	Tercera Generación (3G).....	39
2.4.10.	Cuarta Generación (4G)	41
3.	MEDICIONES.....	43

3.1.	EQUIPOS UTILIZADOS	43
3.2.	PROGRAMAS UTILIZADOS.....	46
3.3.	MONTAJE.....	50
3.4.	ESPECIFICACIONES	50
3.4.1.	Número de muestras.....	51
3.4.2.	Tiempo entre muestras	53
3.4.3.	Piso de ruido	54
3.5.	OBTENCIÓN DE DATOS.....	59
3.6.	ORDENAMIENTO DE LOS DATOS.....	62
3.6.1.	Macros	63
3.6.2.	Canales	65
4.	ANÁLISIS	67
4.1.	ESPECTRO TOTAL	67
4.2.	SERVICIO CELULAR.....	71
4.3.	DIVISIÓN POR DÍA	74
4.4.	SUBDIVISIÓN DEL SERVICIO CELULAR.....	85
4.5.	ESPACIO MAYORMENTE OCUPADO.....	90
4.6.	PORCENTAJES DE OCUPACIÓN	92
4.6.1.	Espectro total	93
4.6.2.	División por día	94
4.6.3.	Espacio mayormente ocupado	96
5.	MODELACIÓN	98
5.1.	GENERALIDADES DEL MODELADO	98
5.2.	LÍNEA DE ESPERA	99
5.3.	PROCESOS MARKOVIANOS.....	100
5.4.	ANÁLISIS DEL MODELO.....	103
5.4.1.	Banda Downlink	104

5.4.2. Banda Uplink.....	106
CONCLUSIONES	120
RECOMENDACIONES	124

ABREVIATURAS

AMPS:	Advance Mobile Phone System
CDMA:	Acceso Múltiple por División de Código
CDMA2000 1xEVDO:	Evolution Data-Optimized
CDMA2000 1xEV-DV:	Evolution Data/Voice
CONATEL:	Comisión Nacional de Telecomunicaciones
CONECEL:	CONSORCIO ECUATORIANO De TELECOMUNICACIONES
EDGE:	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EHF:	Frecuencia Extremadamente Alta
FDD:	Duplexación por división de frecuencia
FDMA:	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
GHz :	Gigahertz
GPRS:	Servicio General de Paquetes Vía Radio
GSM:	Sistema Global para las Comunicaciones Móviles
HF:	Frecuencia Alta
HSPA:	High Speed Packet Access
HSDPA :	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA :	High Speed Uplink Packet Access
Hz :	Hertz
Kbps:	Kilo Bits por segundos

KHz:	KiloHertz
Km :	Kilómetros
Km/s :	Kilómetros por segundo
LF:	Frecuencia Baja
LTE:	Evolución a Largo Plazo
MF:	Frecuencia Media
MHz:	MegaHertz
Mbps:	Mega Bits por segundos
OTECCEL:	Operadora Telefónica Celular
OEM:	Ondas Electromagnéticas
OFDMA:	Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal
PDC:	Comunicación Personal Digital
QoS:	Calidad de Servicio
SHF:	Frecuencia Súper Alta
SMS:	Servicio de Mensajes Cortos
SIM:	Módulo de Identificación del Suscriptor
SUPERTEL:	Superintendencia de telecomunicaciones
TDT:	Televisión Digital Terrestre
TDMA:	Multiplexación por División de Tiempo
TD-SCDMA :	Acceso Múltiple por División de Código
UHF:	Frecuencia ultra alta

UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UMTS:	Sistema universal de telecomunicaciones móviles
VLf:	Frecuencia muy bajas
VHF:	Frecuencia muy altas
WiMax:	Interoperabilidad mundial para acceso por microondas

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: DIAGRAMA DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO [9]	7
FIGURA 2.2: DISTRIBUCIÓN DE LAS FRECUENCIAS POR REGIONES [11].....	9
FIGURA 2.3: CAPAS DE LA ATMOSFERA TERRESTRE [15]	11
FIGURA 2.4: ESPECTRO DE FRECUENCIAS PARA DIFERENTES MEDIOS DE TRANSMISIÓN [18]	17
FIGURA 2.5: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO MOSTRANDO EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO [20]	21
FIGURA 2.6: REPRESENTACIÓN DE CELDAS CON SU RESPECTIVA ESTACIÓN BASE [26]	33
FIGURA 2.7: EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS [26]	35
FIGURA 3.8: ANALIZADOR DE ESPECTRO E4404B [38].....	44
FIGURA3. 9: ANTENA SIRIO SD2000U [39]	45
FIGURA 3.10: BARRA DE HERRAMIENTAS INTUILINK [40].....	47
FIGURA 3.11: HOJA DE CÁLCULO IMPORTADA DESDE MICROSOFT EXCEL A MATLAB [41]	48
FIGURA 3.12: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL REALIZADA EN MATLAB [41]	49
FIGURA 3.13: GRÁFICA DE LA FIGURA DE RUIDO DE LOS ANALIZADORES DE ESPECTRO AGILENT [42]	57
FIGURA 3.14: VISUALIZACIÓN DE TOMA DE DATOS EN MICROSOFT EXCEL	61
FIGURA 3.15: CÓDIGO DE LA MACRO USADA PARA LA AGRUPACIÓN DE LOS DATOS	64
FIGURA 3.16: FÓRMULA PARA CONSEGUIR POTENCIAS POR CANALES	66
FIGURA 4.17: GRÁFICO DE LA SEÑAL DIRECTO DEL ANALIZADOR DE ESPECTRO ...	68

FIGURA 4.18: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL ESPECTRO TOTAL DURANTE EL TIEMPO COMPLETO	69
FIGURA 4.19: VISTA SUPERIOR DEL ESPECTRO TOTAL DURANTE EL TIEMPO COMPLETO	70
FIGURA 4.20: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DE SERVICIO CELULAR DURANTE EL TIEMPO COMPLETO	73
FIGURA 4.21: VISTA SUPERIOR DE SERVICIO CELULAR DURANTE EL TIEMPO COMPLETO	73
FIGURA 4.22: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL PRIMER DÍA EN EL SERVICIO CELULAR	75
FIGURA 4.23: VISTA SUPERIOR DEL PRIMER DÍA EN EL SERVICIO CELULAR.....	76
FIGURA 4.24: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL SEGUNDO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR.....	77
FIGURA 4.25: VISTA SUPERIOR DEL SEGUNDO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR	77
FIGURA 4.26: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL TERCER DÍA EN EL SERVICIO CELULAR.....	78
FIGURA 4.27: VISTA SUPERIOR DEL TERCER DÍA EN EL SERVICIO CELULAR.....	79
FIGURA 4.28: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL CUARTO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR.....	80
FIGURA 4.29: VISTA SUPERIOR DEL CUARTO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR	80
FIGURA 4.30: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL QUINTO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR	81
FIGURA 4.31: VISTA SUPERIOR DEL QUINTO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR.....	82
FIGURA 4.32: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL SEXTO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR	83
FIGURA4. 33: VISTA SUPERIOR DEL SEXTO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR	83

FIGURA 4. 34: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL SÉPTIMO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR.....	84
FIGURA 4.35: VISTA SUPERIOR DEL SÉPTIMO DÍA EN EL SERVICIO CELULAR	85
FIGURA 4.36: GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DEL SERVICIO CELULAR EN EL TIEMPO MAYORMENTE OCUPADO	91
FIGURA 4.37: VISTA SUPERIOR DEL SERVICIO CELULAR EN EL TIEMPO MAYORMENTE OCUPADO.....	92
FIGURA 4.38: PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DEL ESPECTRO TOTAL DURANTE EL TIEMPO COMPLETO	94
FIGURA 4.39: SEMEJANZA DEL PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DE LOS PRIMEROS 6 DÍAS	95
FIGURA 4.40: PORCENTAJE DE OCUPACIÓN DEL SERVICIO CELULAR EN EL TIEMPO MAYORMENTE OCUPADO	96
FIGURA 5.41: ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE LÍNEA DE ESPERA	100
FIGURA 5.42: OCUPACIÓN DE BANDA DOWNLINK DURANTE EL TIEMPO COMPLETO	105
FIGURA 5.43: MODELO DE MARKOV INICIAL DE OCUPACIÓN EN LA BANDA “UPLINK” EN UN HORARIO NORMAL.....	109
FIGURA 5.44: MODELO PARA BANDA “UPLINK” EN HORARIO NORMAL.....	115
FIGURA 5.45: MODELO DE LA BANDA “UPLINK” EN HORARIO INACTIVO	117

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: TRAYECTO DE PROPAGACIÓN PARA DIFERENTES BANDAS DE FRECUENCIA [2].....	13
TABLA 2: DIVISIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO [2]	22
TABLA 3: SERVICIOS EN EL RANGO DE FRECUENCIAS DE 698 MHZ A 960 MHZ [21] .	24
TABLA 4: DEFINICIONES DE LAS NORMAS NACIONALES DE LAS BANDAS. [2]	26
TABLA 5: DEFINICIONES DE LAS NORMAS INTERNACIONALES DE LAS BANDAS. [2]	28
TABLA 6: MEJORAMIENTO DE ALGUNOS SISTEMAS CON SU RESPECTIVA GENERACIÓN [30] [31] [32] [34].....	42
TABLA 7: CORRELACIÓN DE LAS SEÑALES DENTRO DE LA ZONA 2 DE ANÁLISIS.....	88
TABLA 8: VALORES DE PORCENTAJES DE OCUPACIÓN Y POTENCIAS PROMEDIO EN BANDA DEL SERVICIO CELULAR.....	97
TABLA 9: VALORES DEL VECTOR DE PROBABILIDADES DE ESTADO INICIAL DE LA BANDA “UPLINK” EN UN HORARIO NORMAL.....	108
TABLA 10: VALORES DE LA MATRIZ DE PROBABILIDAD CON MODELO DE MARKOV INICIAL.....	109

INTRODUCCIÓN

El espectro radioeléctrico es definido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones como un conjunto de ondas electromagnéticas por debajo de los 3000 GHz que se propagan por el espacio sin necesidad de una guía artificial, que puede ofrecer una gran variedad de servicios de telecomunicaciones, y lo más importante es que es considerado un recurso natural limitado. [1]

En la actualidad existe una gran demanda creciente en el espectro para la implementación de nuevos servicios inalámbricos, una posible utilización inadecuada de frecuencias puede ser la causante de este problema, esto representa un gran impacto social- económico debido a que las compañías no satisfacen por completo el requerimiento de los usuarios.

Dentro del REGLAMENTO GENERAL A LA LEY ESPECIAL DE TELECOMUNICACIONES que trata sobre los principios que deberán observar el espectro, el literal (a) del artículo 48 nos dice “El Estado debe fomentar el uso y explotación del espectro radioeléctrico y de los servicios de radiocomunicación, de una manera racional y eficiente a fin de obtener el

máximo provecho”, por lo cual queda en nuestro deber hacer respetar la eficiencia máxima de la utilización del espacio radioeléctrico. [2]

Analizando meticulosamente podemos encontrar que la banda de 700 MHz pronto dejara de ser utilizada debido a la migración de la televisión analógica a la televisión digital terrestre (TDT) lo cual dejara a esta banda desocupada y se tendrá acceso a nuevos servicios. [3]Se debe tener en cuenta que el espectro por debajo de 1 GHz es ideal para ampliar la cobertura de servicios móviles de banda ancha a zonas rurales. [4]

La siguiente banda a analizar es la de 800 MHz, el problema que se encuentra en este rango es que está completamente ocupado por las dos operadoras que poseen más usuarios refiriéndonos a CONECEL S.A. y OTECEL S.A. lo cual ha llevado a que estas concesionarias se le asigne un rango de frecuencia extra en la banda 1900 MHz [3]. Cabe recalcar que debido a la saturación del espacio de la misma ya no se pueden incorporan nuevas operadoras. Por lo tanto debería existir una mejor organización debido a la ocupación extrema de dicho espacio. Con un uso óptimo del espectro se podría llegar a incorporar inclusive nuevos servicios

En la banda de 900 MHz en el Ecuador se conoce que no está siendo utilizada por completo en la actualidad, hay fragmentos que no han sido asignados. Al igual que en la banda de 800 MHz, los servicios fijos y móviles son los predominantes en esta porción del espectro. [5]

Con respecto a la porción del espectro que se encuentra ocupada, se necesita ofrecer nuevos servicios que no interfieran con los actuales para mejorar su eficiencia. En cambio con las frecuencias que no están siendo ocupadas, se debe conocer que algunas frecuencias son de uso libre, es decir que no existe un servicio permanente en éstas, sino que pueden ser usadas para diferentes servicios [6].

CAPÍTULO 1

1.CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

1.1. Problema

Teniendo en cuenta la escasez y posible mala utilización de las frecuencias a analizar, es necesario determinar la eficiencia del espectro. Existen anchos de banda que no están siendo utilizados por completo, y otros que no aprovecha al cien por ciento el uso de su capacidad.

1.2. Objetivos Generales

Medir, caracterizar y modelar el rango de frecuencia asignado a servicios (698 – 960 MHz) de la banda UHF.

1.3. Objetivos Específicos

1. Aprender acerca del uso y servicios que se encuentra en el Espectro Radioeléctrico dentro del rango 698 – 960 MHz.
2. Elaborar graficas a partir de la obtención y análisis de datos con el software INTUILINK, complemento de Microsoft Excel, y el programa Matlab.
3. Determinar la diferencia en los porcentajes de eficiencia de diferentes servicios.
4. Crear un modelo probabilístico a partir de los datos obtenidos y el análisis de los mismos que permita determinar de manera equivalente el uso eficiente del espectro.

1.4. Metodología

Se comenzará obteniendo la información necesaria acerca de la banda, para esto recurriremos a la SUPERTEL (Superintendencia de telecomunicaciones) para averiguar servicios que se ofrecen, el rango

de frecuencias que están concesionadas, así como datos relacionados y relevantes.

Determinar el tipo de antena para el proyecto y configurar los equipos necesarios para la recolección de datos como el tiempo de muestreo y la banda de frecuencia que se va analizar.

Transferir los datos al software INTUILINK habiendo realizado las mediciones para luego analizar dichos datos y determinar el uso de eficiencia que se encuentra en el espectro en el rango determinado.

Una vez obtenidos los datos y el análisis de los mismos, elaborar el método probabilístico o estocástico dependiendo de los resultados.

1.5. Resultados esperados

Con las pruebas realizadas se podrá tomar muestras que permitan obtener el porcentaje de uso de frecuencia, lo cual ayudará a saber la capacidad del espectro que se está utilizando, y poder mejorar dicho porcentaje con la ayuda de diferentes métodos.

Obtener un modelo semejante que ayude a predecir el comportamiento real del rango de frecuencias asignado, lo cual servirá como información

inicial para tomar la decisión de tratar de mejorar la eficiencia del espectro.

1.6. Observaciones

Se debe tener en cuenta que las mediciones a realizar pueden tener un margen de error, esto sucede debido a varios inconvenientes que se pueden presentar los cuales a la final de los cálculos van a representar pérdidas en la recepción de la señal. Las dificultades pueden presentarse desde la señal que se recibe debido al ruido, interferencias de otras frecuencias adyacentes, clima, y otras opciones. Al momento de pasar los datos al equipo analizador de espectros, por medio del cable, también pueden existir ciertas pérdidas, llamadas pérdidas longitudinales y pérdidas por acoplamiento. Por esta razón es necesario tener configurado el analizador de espectros para minimizar los posibles percances de la señal.

El proyecto será realizado en las proximidades de la antena ya instalada, la cual se encuentra en la FIEC, campus Prosperina, los datos recolectados serán únicamente de este sitio y no podrán ser utilizados para otros lugares, así sea analizando los mismos rangos de frecuencias.

CAPÍTULO 2

2.REFERENCIAS TEÓRICAS

2.1. Introducción

En este capítulo se analiza de forma detallada todos los aspectos necesarios para comprender el espectro radioeléctrico en general, siendo la primera parte todas las definiciones relacionadas a este tema.

Se habla de las divisiones del espectro radioeléctrico, pero se está enfocando especialmente en el rango de frecuencias desde 698 MHz a 960 MHz de la banda UHF, dentro del cual se comenta sobre los

servicios que se ofrecen y las frecuencias concesionadas que se encuentran en el Ecuador.

Se menciona sobre el plan nacional de frecuencias y las asignaciones dentro del cuadro que presenta el Estado, así como cambios, reformas, y decisiones que se han tomado para el beneficio de las empresas y los usuarios.

2.1.1. Espectro Electromagnético.

El Espectro Electromagnético se lo puede definir como el conjunto de todas las ondas electromagnéticas las cuales se encuentran en el universo organizadas dependiendo exclusivamente de sus frecuencias o longitudes de onda.[7]

Inicialmente se definió espectro a la separación de la luz blanca en varios segmentos en los cuales se muestran varios colores, dependiendo de sus diferentes longitudes de onda (como el paso de la luz blanca por un prisma); luego, el término se generalizó para todas las ondas electromagnéticas, como las ondas radioeléctricas (largas, medias, cortas, ultracortas, microondas), la luz infrarroja, la luz visible, la ultravioleta, los rayos X, los rayos

gamma y los rayos cósmicos [8]. La distribución del espectro electromagnético se muestra en la FIGURA2.1.

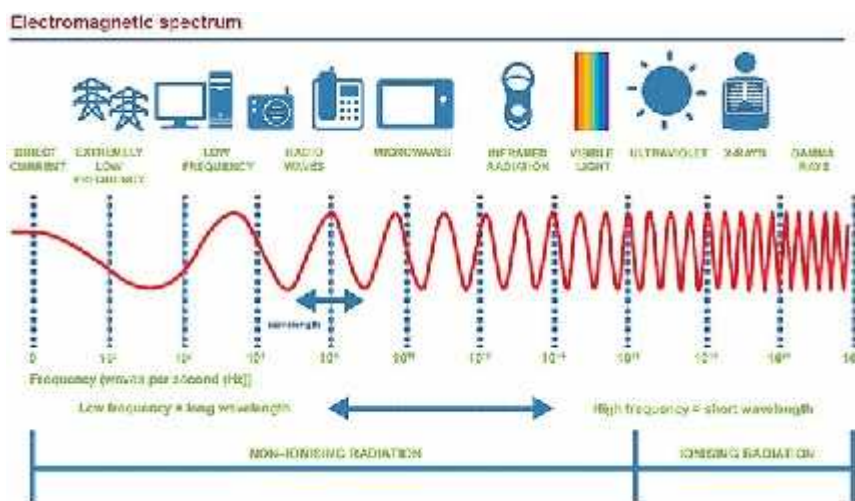


Figura2.1: Diagrama del espectro electromagnético [9]

2.1.2. Espectro Radioeléctrico.

El Espectro Radioeléctrico se lo define como el conjunto de ondas electromagnéticas cuyas frecuencias se encuentran por debajo de los 3000 Gigahertz y que se transmiten por el espacio sin guía artificial. [10]

El Espectro Radioeléctrico pertenece al Espectro Electromagnético, siendo este el conjunto de las ondas electromagnéticas utilizadas en las radiocomunicaciones [8].

2.1.3. División del Espectro en Regiones.

De acuerdo al reglamento de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), se dividen en tres regiones a nivel mundial donde se encuentra distribuida las frecuencias por zonas. La región 1 está formada por Europa, Medio Oriente, África, Republicas de las ex Unión Soviética y Mongolia. La región 2 está conformada únicamente por el continente Americano, la región 3 está formada por Oceanía, ciertos países del continente Asiático y los países del resto del mundo. [10]

En la FIGURA 2.2 se muestran las tres regiones del planeta en las que se divide las frecuencias de acuerdo a UIT. Nuestro país se encuentra en la Región dos.

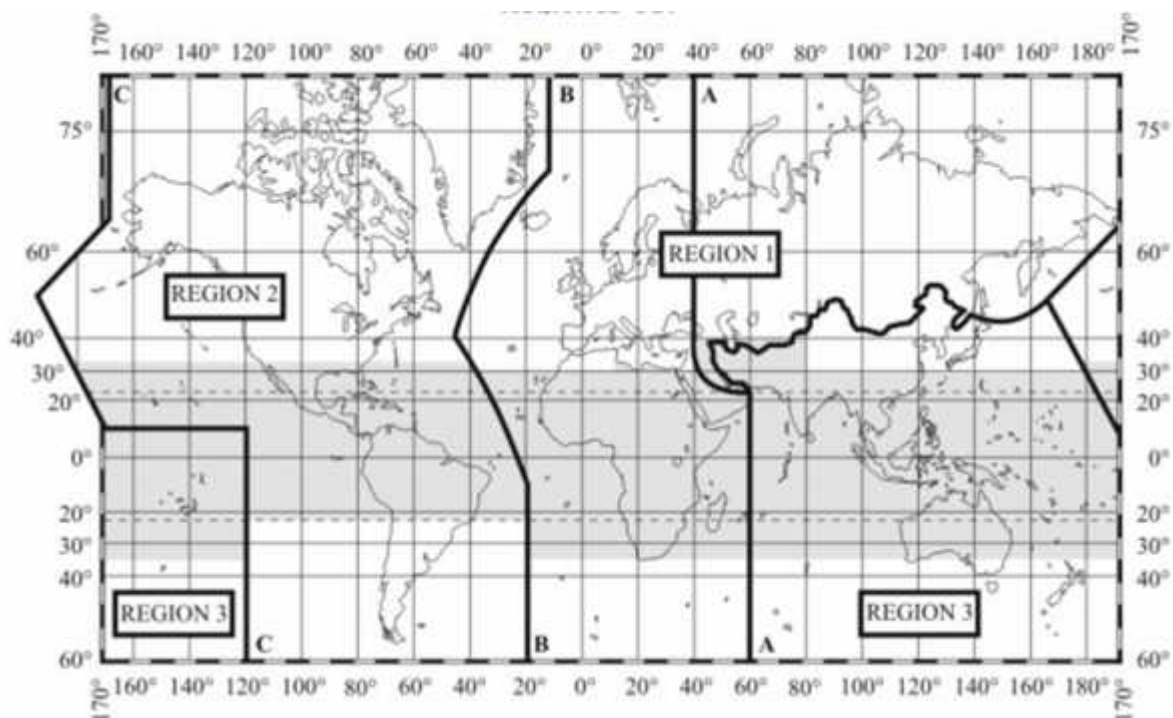


Figura2.2: Distribución de las frecuencias por regiones [11]

2.1.4. Onda electromagnética.

Las ondas de radio, la televisión, telefonía, hasta la luz visible son una parte del grupo de las ondas electromagnéticas, las cuales son aquellas que no necesitan un medio material para transmitirse. [13]

Su propagación se realiza mediante la oscilación de campos magnéticos y eléctricos, en el vacío se transmite a una velocidad muy alta pero constante (aproximadamente 300000 km/s). Se

puede decir que estas ondas electromagnéticas (OEM) son la base de las telecomunicaciones y del funcionamiento del mundo moderno. [14]

2.1.5. Onda radioeléctrica.

Se encuentran dentro del grupo de ondas electromagnéticas, y se las define como impulsos de energía que pueden viajar por el espacio alejándose continuamente sin usar algún soporte material. [14]

2.1.6. Tipos de ondas según la propagación.

Los modos de propagación de una onda electromagnética necesitan de su frecuencia y de las características eléctricas del terreno en el que se encuentra y de la atmosfera. Las capas de la atmosfera terrestre como se muestra en la FIGURA2.3.

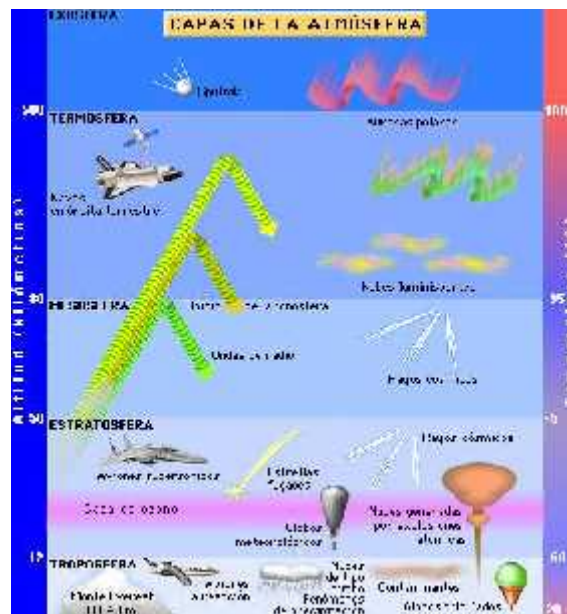


Figura2.3: Capas de la Atmósfera Terrestre [15]

Ondas unidimensionales: Son aquellas ondas que viajan en una dirección espacial específica. Por esta razón sus frentes son planas y paralelas. [14]

Ondas bidimensionales: Este tipo de onda viaja en dos trayectorias cualquiera de una determinada superficie. [14]

Ondas tridimensionales: Acerca de estas ondas se pueden decir que viajan en tres direcciones formando un frente de

esférico que resulta de la fuente de perturbación desplazándose en todas las direcciones. [14]

2.1.7. Propagación.

Se llama propagación al conjunto de fenómenos físicos que conducen a las ondas de radio con el mensaje del transmisor al receptor. [14]

2.1.8. Regiones de propagación.

Existen tres zonas con diferentes características por las cuales se puede transmitir una señal radio eléctrica.

- **Ionosférica:** Es la que se encuentra en la región más alta de la atmósfera, esta se localiza entre 60 y 400 km de altura para frecuencias inferiores a 30 MHz, los detalles principales son los largos alcances y la estabilidad de las señales. [16]
- **Troposférica:** Se fundamenta en reflexiones causadas por discontinuidad debidas a los cambios turbulentos de las constantes físicas de la troposfera. Produce pérdidas muy altas sujetas a desvanecimientos profundos. [16]

- **Onda de suelo:** Es la que sigue el perímetro de la Tierra, es decir la curvatura del planeta, y puede propagarse a largas distancias, aún más grandes que la línea de horizonte visual. Estas ondas no pueden penetrar la atmosfera superior [14]. En la Tabla 1 se muestra los distintos modos de propagación de cada una de las bandas del espectro radioeléctrico con su respectivo alcance.

TABLA 1: Trayecto de propagación para diferentes bandas de Frecuencia [2]

Banda	Modos de propagación	Alcance
VLf	Ionosfera	
Lf	Onda superficial	>1000 Km(sobre agua)
Mf	Onda superficial Onda ionosférica	<100 Km >500Km
Hf	Onda ionosférica (3- 8MHz) (3- 25MHz) Onda superficial (3- 30 MHz)	<300 Km >500 Km <100 Km
Vhf	Onda espacial Disp. Ionosférica f< 50 MHz	50 Km 2000 Km
Uhf	Onda espacial Disp. Ionosférica f>500 MHz	40 Km 600 Km
SHf	Onda espacial	40 Km

2.1.9. Factores que afectan el recibimiento de la señal

La señal puede transmitirse por dos medios únicamente, puede ser alámbrica e inalámbrica; de ambas maneras, esta señal sufre pérdidas, lo que causa una disminución de intensidad y puede llegar a afectar por completo la transmisión.

Las pérdidas por cable pueden ser:

- **Pérdidas en el conductor:** Todo cable posee una resistencia finita, esto produce una pérdida de la señal que es proporcional a la longitud del cable.
- **Pérdidas por acoplamiento:** Ligeras discontinuidades debido a características físicas y eléctricas en la interconexión de diferentes líneas de transmisión.
- **Perdidas por radiación:** En ciertas circunstancias, los cables pueden comportarse como antenas dependiendo de la longitud del cable, frecuencia de la señal, distancia de los conductores y el material dieléctrico.

- **Ondas incidentes y reflejadas:** Una línea de transmisión es considerada bidireccional, y emite propagación de ondas en ambos sentidos.

Las pérdidas por medios inalámbricos se clasifican en:

- **Atenuación:** Ocurre cuando la fuerza de la señal decrece con la distancia, esta señal debe ser siempre mayor que el ruido, para ser interpretada correctamente por el receptor.[18]
- **Absorción:** Ocurre cuando una señal es “absorbida” cuando choca con una superficie, penetra en el material del objeto, incluso cuando viaja por vapor.
- **Reflexión:** Ocurre cuando una onda se encuentra con un medio diferente el cual no puede traspasar y por lo tanto debe cambiar de dirección, dando un efecto de rebote.

- **Refracción:** Ocurre cuando una onda se encuentra con un medio diferente que puede traspasar, pero por diferentes propiedades del medio, sufre un cambio de dirección.
- **Difracción:** Ocurre cuando una onda rodea a un objeto al topar con su borde, dejando de ir en línea recta.
- **Interferencia:** Ocurre cuando más de una onda se combinan al encontrarse en el mismo punto del espacio. [1]
- **Efecto Doppler:** Ocurre cuando existe un movimiento relativo entre el receptor de las ondas y la fuente emisora de la cual se producen éstas.

2.1.10. Frecuencia

La frecuencia se expresa en unidades denominadas Hertz, e indican las variaciones por segundo de una señal, por ejemplo, la frecuencia de la señal eléctrica domiciliaria en el estado de Ecuador es de 60 Hz. [17]

El ancho de banda o espectro de frecuencias está relacionado directamente con la velocidad de la señal, cada servicio

funciona de forma óptima en cierto rango de frecuencias [17], tal como se ve en la FIGURA2.4.

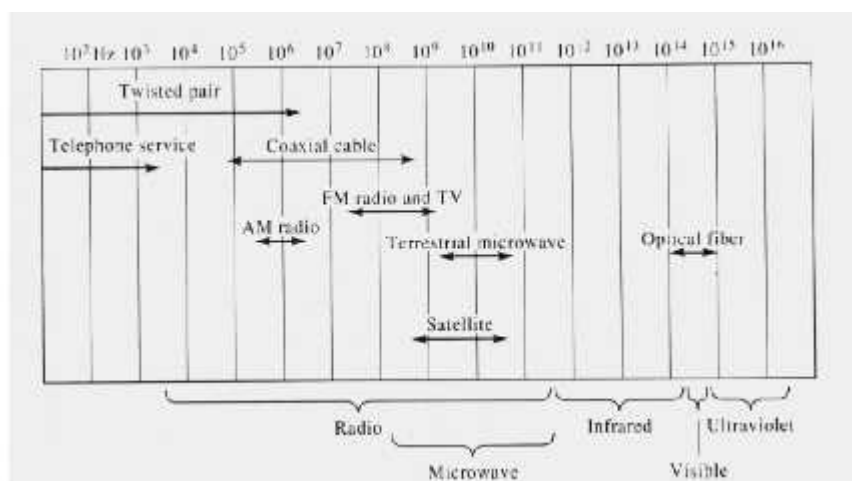


Figura 2.4: Espectro de frecuencias para diferentes medios de transmisión [18]

2.1.11. Capacidad de la banda de frecuencia

Las bandas de cada frecuencia que integran al espectro tiene su correspondiente capacidad de transmisión, por lo tanto en frecuencias más elevadas, el rango de transmisión es superior con varios MHz de ancho de banda, debido a que existe más espectro potencialmente disponible, en cambio a frecuencias menores, el rango se encuentra limitado a unos pocos Khz lo que conduce a una menor cantidad de información a transmitir. [17]

2.1.12. Gestión del espectro radioeléctrico.

Son los procedimientos jurídicos, económicos, científicos, administrativos y técnicos, los cuales garantizan un funcionamiento de manera adecuada entre los canales radioeléctricos, a través de los distintos servicios de radiocomunicaciones, evitando tener interferencias perjudiciales.

[19]

2.1.13. Principios fundamentales para la gestión del Espectro.

- Optimizar el uso eficiente del espectro radioeléctrico
- Certificar que el espectro sea competente para nuevas tecnologías y servicios y que se preserve la flexibilidad para la adaptación de los nuevos requerimientos del mercado.
- Implementar un proceso ecuánime, claro y eficaz en la autorización de licencias
- Establecer las asignaciones de las bandas del espectro y las licencias en las demandas del mercado.
- Fomentar la competencia.
- Tener como prioridad a los beneficios para el público, por ejemplo la salud y seguridad, asegurando la disponibilidad del espectro.

2.1.14. Eficiencia en el uso del Espectro Radioeléctrico

El objetivo de la gestión del espectro radioeléctrico es alcanzar la mayor eficiencia posible en su uso.

El espectro radioeléctrico mencionado es considerado un sector estratégico por lo cual hay mucha competencia por este rango de frecuencias. De acuerdo a la Constitución del Ecuador del año 2008, el Estado tiene jurisdicción exclusiva sobre el espectro para administrar, controlar, regular y gestionar pensando principalmente en la sostenibilidad ambiental, precaución, preservación y eficiencia, lo que convierte este último atributo en un aspecto primordial en la gestión del espectro.[17]

La eficiencia técnica óptima se obtiene usando como base Cuadro de Atribución de Bandas de Frecuencias de acuerdo al ámbito internacional, en cuanto a términos nacionales, se utiliza el Plan Nacional de Frecuencias, así como los Planes de Adjudicación Aplicables, de esta manera se cumple los requisitos técnicos para prevenir los casos de interferencias entre diferentes servicios del espectro radioeléctrico. [17]

La eficiencia técnica implica el desarrollo eficiente y eficaz de las prácticas de ingeniería del espectro, sobre todo, en lo relativo a las especificaciones y certificación de equipos, la correcta selección de los modelos de propagación, el análisis de interferencias, la aplicación de criterios técnicos de compartición de bandas de frecuencias, el control de los límites de radiación y las consideraciones sobre ingeniería de emplazamientos. [17]

2.1.15. Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencias.

El Reglamento de Radiocomunicaciones del Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) da pauta para establecer El Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, la cual es una herramienta que organiza el espectro radioeléctrico permitiendo la utilización del espectro sobre la base de prioridades nacionales.

2.1.16. Asignación de frecuencias.

La administración de un país es la encargada de autorizar las asignaciones de frecuencias o de un canal radioeléctrico, en el cual estas se asignan en condiciones especificadas. [2]

2.2. Banda de frecuencias

El espectro electromagnético es el conjunto de todas las ondas electromagnéticas como las ondas eléctricas, ondas de radio, infrarrojo, la luz visible, ultravioleta, rayos X, rayos Gamma y rayos cósmicos; por lo tanto comprende todas las frecuencias del espacio. [8]

El segmento de las ondas de radio contiene el espectro radioeléctrico, que a su vez posee una subdivisión como se muestra en la FIGURA 2.5.

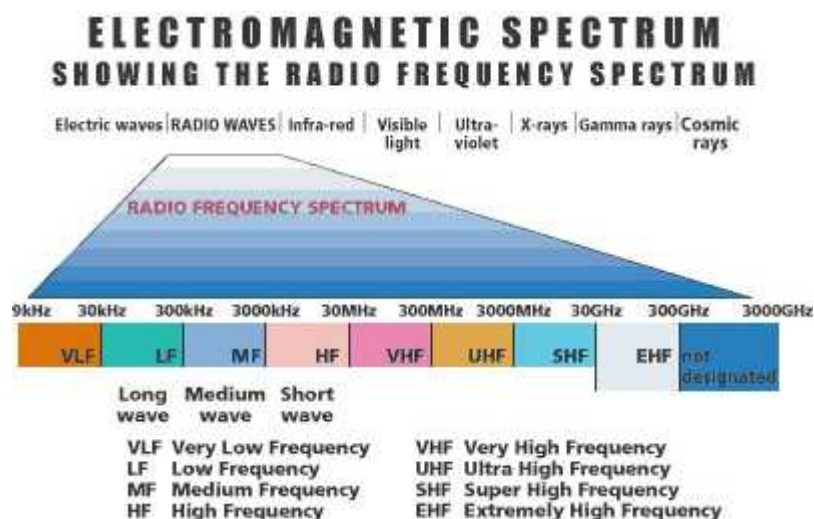


Figura2.5: Espectro electromagnético mostrando el espectro radioeléctrico [20]

2.2.1. División de las bandas de frecuencias.

El espectro radioeléctrico se reduce a 9 bandas de frecuencias las cuales están divididas de forma proporcional logarítmicamente, comenzando desde 3 KHz hasta los 3000GHz y cada una se encuentra dentro de una categoría.

Como se muestra en la TABLA 2, de menor a mayor, las sub-bandas recorren el espectro siendo estas: VLF (very low frequency), LF (low frequency), MF (medium frequency), HF (high frequency), VHF (very high frequency), UHF (ultra high frequency), SHF (super high frequency), EHF (extremely high frequency) y la última banda que se encuentra sin un nombre definido. [2]

TABLA 2: División de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico [2]

Numero de la banda	Simbología (ingles)	Gama de Frecuencia (incluido límite superior, excluido límite inferior)	Subdivisión métrica correspondiente
4	VLF	3 a 30 KHz	Ondas milimétricas
5	LF	30 a 300 KHz	Ondas kilométricas
6	MF	300 a 3000 KHz	Ondas hectométricas

7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas
12		300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas

2.2.2. Unidades de las frecuencias.

Según la UIT, las frecuencias se notifican con diferentes unidades, dependiendo únicamente de un límite establecido para cada rango de frecuencias, como se muestra a continuación [2]:

- kHz para frecuencias de hasta 28 000 kHz inclusive
- MHz para frecuencias superiores a 28 000 kHz y hasta 10 500 MHz inclusive
- GHz para frecuencias superiores a 10 500 MHz

2.2.3. Servicios de las bandas.

El rango de frecuencias que se va a analizar detalladamente en este proyecto se encuentra en la banda UHF, específicamente comenzando desde los 698 MHz hasta los 960 MHz, donde los servicios fijos y móviles son los que se ofrecen primordialmente, esta información se lo puede ver en la Tabla 3.

TABLA 3: Servicios en el rango de frecuencias de 698 MHz a 960 MHz [21]

Rango desde 698MHz hasta 960MHz	Frecuencia inicial. – Frecuencia final
<p align="center">RADIODIFUSIÓN</p> <p>Notas Nacionales: <u>EQA.75</u></p> <p>Notas Internacionales: <u>MOD5.317A</u></p>	<p align="center">698 MHz - 806 MHz</p>
<p align="center">FIJO MÓVIL</p> <p>Notas Nacionales: <u>EQA.80</u> <u>EQA.85</u> <u>EQA.140</u></p> <p>Notas Internacionales: <u>MOD5.317A</u></p>	<p align="center">806 MHz - 890 MHz</p>
<p align="center">FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico Radiolocalización</p> <p>Notas Nacionales: <u>EQA.80</u> <u>EQA.85</u> <u>EQA.100</u></p> <p>Notas Internacionales: <u>MOD5.317A</u></p>	<p align="center">890 MHz - 902 MHz</p>
<p align="center">FIJO</p> <p>Notas Nacionales: <u>EQA.50</u> <u>EQA.90</u></p>	<p align="center">902 MHz - 928 MHz</p>

<p>Notas Internacionales: <u>5.150</u></p>	
<p>FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico</p> <p>Notas Nacionales: <u>EQA.45</u> <u>EQA.50</u> <u>EQA.80</u> <u>EQA.95</u> <u>EQA.100</u></p> <p>Notas Internacionales: <u>MOD5.317A</u></p>	<p>928 MHz - 942 MHz</p>
<p>FIJO MÓVIL</p> <p>Notas Nacionales: <u>EQA.45</u> <u>EQA.50</u></p> <p>Notas Internacionales: <u>MOD5.317A</u></p>	<p>942 MHz - 960 MHz</p>

Según la CONATEL, se tiene las siguientes definiciones de algunos tipos de servicios.

- **Servicios fijos:** Servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados.[2]
- **Servicio móvil:** Servicio de radiocomunicación entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles (CV).[2]

- **Servicio móvil aeronáutico:** Servicio móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave, o entre estaciones de aeronave, en el que también puede participar las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros que operen en las frecuencias de socorro y de urgencia designadas.[2]
- **Servicio de radiolocalización:** Servicio de radio determinación para fines de radiolocalización.[2]

En la Tabla 4 y Tabla 5 se explica detalladamente el significado de las notas nacionales e internacionales.

TABLA 4: Definiciones de las normas nacionales de las bandas. [2]

Notas Nacionales	Descripción
EQA.45	Las bandas 222 – 235 MHz, 246 – 248 MHz, 417,5 – 430 MHz, 937 – 940 MHz, 941-951 MHz, 956 - 960 MHz y 1670 – 1690 MHz, están utilizadas por el servicio FIJO para la operación de enlaces radioeléctricos auxiliares para el servicio de radiodifusión

	con emisiones sonoras.
EQA.50	Fijo
EQA.70	En la banda 614 – 698 MHz, se utilizan para el servicio de RADIODIFUSIÓN con emisiones de televisión (canales de televisión 38 al 51). Los sistemas de audio y video por suscripción bajo la modalidad de televisión codificada terrestre (UHF Codificado) concesionados en la banda 686-698 MHz, podrán continuar su operación hasta la vigencia de su contrato de concesión.
EQA.80	Fijo y Móvil (Troncalizado)
EQA.85	Fijo y Móvil (IMT)
EQA.90	En las bandas 902 – 928 MHz, 2400 – 2483,5 MHz, 5150 – 5350 MHz, 5470 –5725 MHz y 5725 – 5850 MHz, también operan sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha y enlaces auxiliares de radiodifusión sonora que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha sin protección contra interferencias perjudiciales.

EQA.95	En la banda 929 – 932 MHz operan sistemas Buscapersonas Unidireccional para los servicios FIJO y MOVIL.
EQA.100	En las bandas 901 - 902 MHz y 940 - 941MHz, operan sistemas Buscapersonas Bidireccional para los servicios FIJO y MOVIL.

TABLA 5: Definiciones de las normas internacionales de las bandas. [2]

Notas Internacionales	Descripción
MOD5.317A	Las partes de la banda 698-960 MHz en la Región 2 y de la banda 790-960 MHz en las Regiones 1 y 3 atribuidas al servicio móvil a título primario se han identificado para su utilización por las administraciones que deseen introducir las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) – Véanse las Resoluciones 224 (Rev.C M R-12) y 749 (Rev.C M R-12), según proceda. La identificación de estas bandas no excluye que se utilicen para otras aplicaciones de

	los servicios a los que están atribuidas y no implica prioridad alguna en el Reglamento.
5.150	902-928 MHz en la Región 2(frecuencia central 915 MHz), están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM). Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones.

2.3. Sistemas Troncalizados

La Unión Internacional de Telecomunicaciones define a un sistema de telecomunicación como: “toda emisión, transmisión y recepción de signos, señales, escritos e imágenes, sonidos e informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.” [36]

Según la CONATEL se define al sistema troncalizado como el “sistema de radiocomunicación de los servicios fijo y Móvil terrestre, que utiliza múltiples pares de frecuencias, en que las estaciones establecen

comunicación mediante el acceso en forma automática a cualquiera de los canales que estén disponibles.”[2]

A partir del año 70 los sistemas de troncalización fueron desarrollada en Norte América utilizando protocolo propietarios y más tarde Europa la implemento con la tecnología MTP1327. En las redes telefónicas la técnica de troncalización se ha venido utilizando a través de los años. Unas de las ventajas principales es que permiten compartir de manera dinámica y automática un reducido número de canales para un gran número de usuarios haciendo uso eficiente del espectro comparándose a otros tipos de sistema.[37]

Otras de las ventajas que ofrece un sistema troncalizado son:Llamada de grupo, llamada individual, Llamada telefónica, llamada de alerta, modo claro y encriptado bandas de frecuencias. [37]

Las bandas de frecuencias atribuidas en Ecuador para este tipo de sistemas son: 806 – 824 MHz, 851 – 869 MHz, 896 – 898 MHz, 932 – 934 MHz y de 935 – 937 MHz [2]

2.4. Comunicaciones Inalámbricas

El mundo moderno se ha actualizado y progresivamente se va dejando el uso de los cables como medios principales para establecer conexiones entre usuarios. La introducción de redes inalámbricas ha sido de gran uso y actualmente posee un gran número de aplicaciones, a tal punto que la utilización de cables para la transferencia de voz y datos se ha ido reduciendo drásticamente. [22]

Entre las ventajas de las comunicaciones inalámbricas se tiene la interconexión a largas distancias, un menor uso de cables y por lo tanto menor costo en instalaciones, y además brinda la opción de movilidad a los usuarios. Mientras que entre las desventajas se tiene una baja seguridad de las comunicaciones en comparación a su contraparte alámbrica, un limitado ancho de banda espectral y potencia de transmisión. [23]

2.4.1. Telefonía móvil

La telefonía móvil es un servicio de telecomunicación que mediante un canal permite la comunicación entre los diferentes usuarios, a través del uso de equipos dentro de un área definida, logrando mantenerse una comunicación establecida, sin importar

que las personas en los terminales móviles se estén desplazando. [22]

2.4.2. Dispositivo móvil

Dispositivo móvil o teléfono celular, es un equipo inalámbrico que permite acceder y utilizar los servicios de la red móvil, permitiendo comprimir y descomprimir señales digitales codificadas. Estos terminales pueden ser utilizados en distintos tipos de aplicación como mensajería, conexión y navegación en internet, los cuales pueden ser de distinta generación en empleo de la tecnología utilizada. [22]

2.4.3. Celdas

Las celdas, consisten en la división de la ciudad en pequeñas células o secciones [24]. Situación que ayuda la re-utilización de frecuencias a través de la ciudad, permitiendo que millones de usuarios puedan conectarse a sus dispositivos móviles al mismo tiempo, mostrando la eficiencia del uso del espectro. Las celdas generalmente son diseñadas como hexágonos, estas varían dependiendo de la ubicación de la antena, del terreno y de los edificios que puedan interferir, puntos de mediciones y

obstáculos [25]. Se encuentran divididas por las operadoras móviles. Cada una posee una estación base que está formada por una torre y un pequeño edificio que contiene el equipo de radio como se puede observar en la FIGURA 2.6.

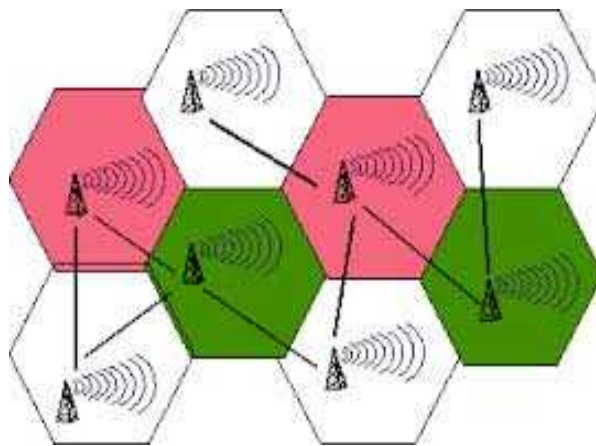


Figura2.6: Representación de celdas con su respectiva estación base [26]

2.4.4. Estaciones base

Una estación base de telefonía móvil, es una infraestructura dedicada a la transmisión y recepción situada en un lugar fijo, compuesta de una o más antenas mediante una torre de soporte, con un conjunto de circuitos electrónicos y un centro de conmutación. Permitiendo gestionar las comunicaciones que se genera en una zona de cobertura específica y enlazarla con los demás sistemas, logrando el acceso de los beneficiarios a la red móvil. [22]

2.4.5. Antenas

Las antenas son emisores que reciben y envían ondas electromagnéticas de todos los dispositivos móviles, cuando están dentro de su radio de influencia, para luego transmitir la señal a través de radioenlace y así comunicarse con las otras estaciones bases [23]. Encontramos antenas de tipo: sectoriales estas se caracteriza por irradiar señal en una área específica con un ángulo determinado; las antenas omnidireccionales poseen un radio de cobertura de 360 grado

2.4.6. Generaciones de teléfonos móviles.

La telefonía móvil ha mostrado en las últimas décadas un gran avance y acogida en sus servicios, esto es debido al gran desarrollo de las tecnologías inalámbricas [28]. Actualmente los usuarios dependen considerablemente de los celulares, se han convertido en una herramienta básica y esencial, por lo tanto la tecnología que usan debe estar a la par con sus requerimientos.

Aproximadamente a finales de la década de los 70, los celulares se introdujeron en el mercado brindando únicamente servicios de voz, lo cual satisfacía a los usuarios de esa época [22]. A través

de los años se ha ido mejorando, y en la actualidad se ofrecen utilidades como datos, audio, video, televisión móvil, entre otras aplicaciones, los cuales son más convenientes para las exigencias de las personas modernas.

En la FIGURA2.7 se puede ver como la tecnología ha ido evolucionando y se han implementado nuevos servicios.

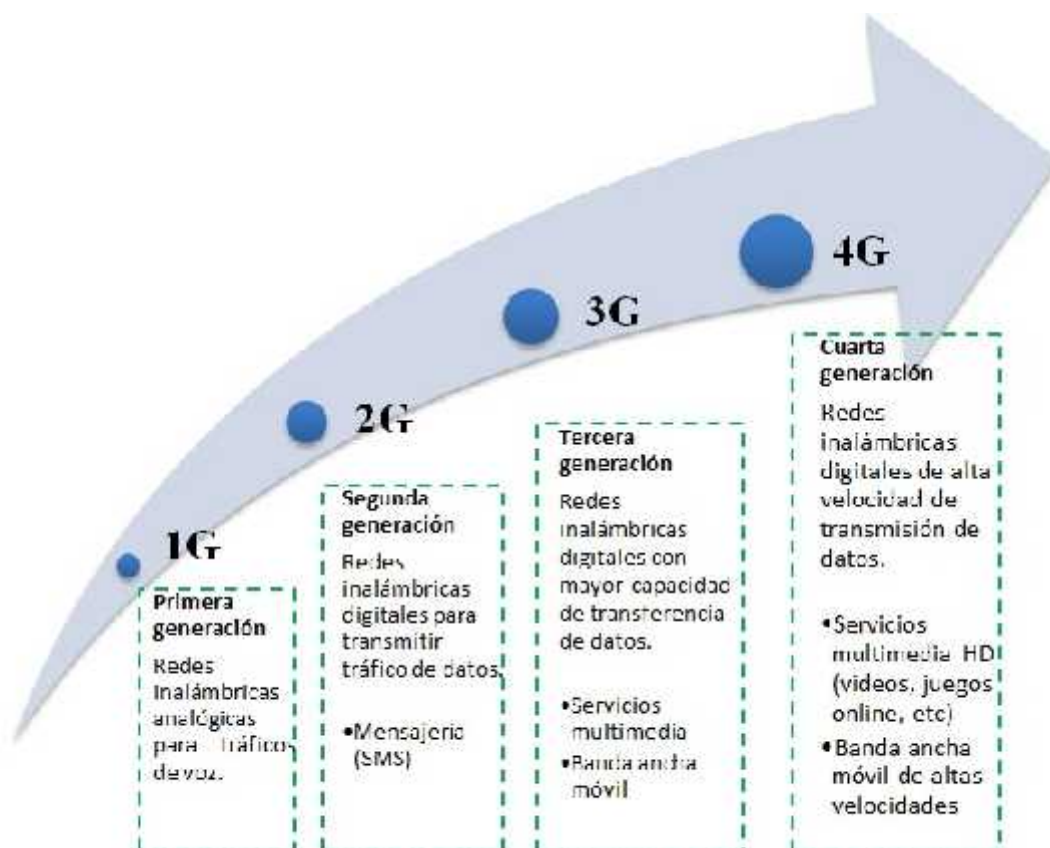


Figura2.7: Evolución de las tecnologías[26]

2.4.7. Primera Generación (1G)

En el año 1979 apareció la tecnología móvil 1G, esta se caracterizó por ser analógica y utilizada para servicio de voz la cual era de baja calidad debido a las bajas velocidades (2400 baudios), además el cambio entre celdas era muy impreciso. Estaban basadas en FDMA (Frequency Division Multiple Access) [28], y utilizaban modulación FM (Frecuencia Modulada) lo que concedía ciertas ventajas como robustez frente al ruido, interferencias, y desvanecimientos. En cambio las desventajas que presentaba eran una relación limitada con el número de usuario, y su falta de seguridad en la comunicación.

La tecnología predominante es AMPS (Advance Mobile Phone System), Sistema Americano desarrollada por los laboratorios Bell.

2.4.8. Segunda Generación (2G)

La tecnología móvil 2G apareció en 1990, la diferencia principal con su predecesor es su nueva forma de comunicación, de analógico se convirtió en digital, esto sirvió especialmente para mejorar la calidad, cobertura y capacidad de los servicios de voz

[29]. Aunque también poseía servicios de datos, estos tenían bajas velocidades. Otras ventajas que presentó fue la reducción de tamaño, costo y consumo de potencia en sus dispositivos terminales. Entre los sistemas más representativos de esta tecnología se tiene:

- **GSM (Global System for Mobile Communications):** Fue introducido en 1992, permitía la transmisión de la información por medio de conmutación de circuitos, y con esto llegaba también los SMS (Short Message Service) [29], que eran mensajes cortos, así mismo se construyó la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) la cual es útil al momento de cambiar de terminal móvil [30]. Además, fue el primer estándar disponible que permitía itinerancia (roaming), o capacidad de desplazarse entre celdas sin interrupciones de servicios u otros problemas.

- **IS-95:** Empleado mayormente en Corea del Sur y Norte América, utiliza la tecnología de Acceso Múltiple por División de Código de banda estrecha, más conocido por sus siglas en ingles CDMA puede soportar 10 veces más que el AMPS, opera en la forma dual band. [31]

- **TDMA IS-136:** Este sistema ha sido utilizado en parte de Norte América, América Latina, Europa del Este y la parte asiática del Océano Pacífico, y proviene del sistema de primera generación AMPS. Como sus siglas en inglés, TDMA, este sistema utiliza Acceso Múltiple por División de Tiempo. Este puede operar automáticamente en la banda 800 y 1900 MHz. [31]

- **PDC (Personal Digital Communications):** Este sistema estándar digital es el principal que se utiliza en Japón.[32]

Aunque la UIT solo considera como generaciones a números enteros, las tecnologías inalámbricas 2.5G se las puede tomar como intermediarios entre la evolución de 2G a 3G. Aquí aparecen sistemas importantes como EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), GPRS (General Packet Radio System), y CDMA 2000 1x, que presentan una mejora en el mecanismo de transmisión de datos. [27]

2.4.9. Tercera Generación (3G)

La tecnología 3G se caracteriza por estar basada en las especificaciones IMT-2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Comparándolo con la generación anterior [31], aquí se destaca la constante conectividad virtual a la red, sus nuevas formas de tarifación, el ancho de banda asimétrico en enlaces ascendentes y descendentes, integración de la tecnología y estándares de redes fijas y móviles, configuración de la calidad de servicio (QoS), entorno de servicios personalizados, entre otros [33]. Los principales sistemas que se presentan son:

- **UMTS (Universal Mobile Telecommunications System):** Se desarrollan a partir del sistema GSM para tener una transición suave desde las redes 2G hasta ésta. Utiliza CDMA como tecnología de comunicación, y permite una transmisión de datos a altas velocidades, ya sea por conmutación de paquetes (384Kbps), o por conmutación de redes (2Mbps).[31]

- **CDMA2000:** Esta tecnología se divide en varios estándares, los cuales son CDMA2000 1x, CDMA2000 1xEV-DO (Evolution

Data-Optimized) y CDMA2000 1xEV-DV (Evolution Data/Voice). También ofrece velocidades altas de transmisión de datos, hasta 3.1 Mbps [34], además de una capacidad de voz mejorada, y una mayor duración de baterías.

• **TD-SCDMA (Time Division – Synchronous CDMA):** Tecnología desarrollada por Siemens y la Academia China de Tecnologías de Telecomunicaciones [32].

Al igual que la tecnología 2.5G, existen transiciones no reconocidas por la UIT, como las redes 3.5G y 3.8G. HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) y HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) se presentan aquí con cambios significativos en las velocidades de transmisión de datos, 14 Mbps de bajada y 5.8 Mbps de subida, respectivamente. Aunque no pertenecen a la tecnología 4G, son un paso previo para esta siguiente generación.

2.4.10. Cuarta Generación (4G)

En la norma IMT-Avanzadas de la UIT se presentan las normas para que una tecnología sea considerada 4G. El objetivo es integrar la banda ancha móvil y fija con la ayuda de tres directrices que serían la evolución hacia una red basada completamente en IP usando conmutación por paquetes, también la integración de distintos tipos de acceso, fijo y móvil, y una capa de servicios común para los usuarios finales. [32]

La principal mejora en la tecnología 4G es la velocidad de transferencia de datos que llega a ser de 100 Mbps desde una estación móvil, y de 1Gbps desde una estación fija. Logrando servicios de videos de muy alta calidad[35]. El sistema que se emplea es OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) el cual utiliza un esquema de modulación muy eficiente.

La UIT-R ha establecido algunos puntos claves para esta tecnología, como un alto grado de coincidencia de la funcionalidad mundialmente y a un costo eficiente, una capacidad de interconexión con otros sistemas de radio, una alta calidad en los servicios móviles, capacidad de conexión mundial

o roaming, y aplicaciones, servicios y equipos amigables al usuario.

Las tecnologías 4G consideradas así por la UIT son WiMax 4G (Worldwide interoperability for Microwaves Access), LTE-Avanzadas (Long Term Evolution) y HSPA+ (High Speed Packet Access).

En la Tabla 7 se puede ver algunos ejemplos de sistemas con sus respectivos anchos de banda y su tasa de transmisión, para notar su mejora durante la evolución de las tecnologías.

TABLA 6: Mejoramiento de algunos sistemas con su respectiva generación [30] [31] [32] [34]

Generación	Sistema	Tasa de transmisión pico teórica	Ancho de Banda
1G	AMPS	48.6 Kbps	30 KHz
2G	GSM	14.4 Kbps	200 KHz
2.5G	GPRS	171.2 Kbps	200 KHz
2.5G	EDGE	473.6 Kbps	200 KHz
3G	UMTS	2 Mbps	5 MHz
3.5G	CDMA EV-DO	2.4 Mbps	1.25 MHz
3.5G	HSDPA	14.4 Mbps	5 MHz
4G	HSPA+	84 Mbps	5-20 MHz
4G	LTE-AVANZADO	1 Gbps	5-20 MHz

CAPÍTULO 3

3.MEDICIONES

3.1. Equipos utilizados

Analizador de Espectro: Agilent ESA Series E4404B. En la FIGURA3.8 se puede ver el analizado de espectro que se usara para realizar las mediciones.



Figura3.8: Analizador de Espectro E4404B[38]

Características:

- Rango de frecuencia: 9 kHz-6.7 GHz
- Precisión: $\pm 1\%$
- Tiempo de muestreo: 1msg-4000 sg (span \geq 100 Hz)
- Máximo 401 número de puntos por muestra.

Antena SIRIO SD2000U

En la FIGURA3.9 se puede observar el tipo de antena que se usara en las pruebas.

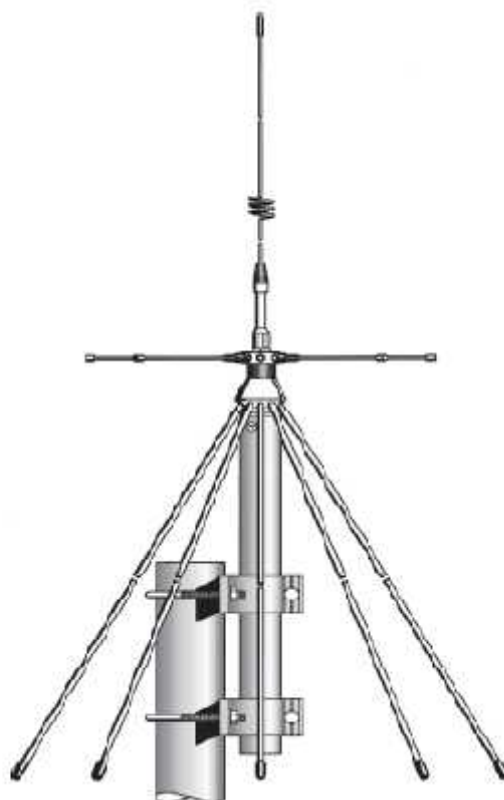


Figura3.9: Antena SIRIO SD2000U[39]

Características:

- Tipo : Discono

- Rango de frecuencia: 100-2000 MHz
- Impedancia : 50 Ω no balanceado
- Radiación: (H-plane) : 360° Omnidireccional
- Polarización : Vertical
- Ganancia : 0 dBd - 2.2 dBi
- Máxima Potencia: 200 Watts
- Conexión : SD 2000 N = N-Hembra
- SD 2000 U = UHF- Hembra

3.2. Programas utilizados

Uno de los programas utilizados para el proyecto se llama INTUILINK, el cuales un complemento de MICROSOFT EXCEL, este permite importar de manera sencilla los datos que se recolectan por el analizador de espectro al computador.

Como se muestra en la FIGURA 3.10, en la barra de herramientas usada por el equipo AGILENT se pueden observar pocos comandos, entre estos se tiene: un botón para comenzar a recibir los datos tomados del analizador del espectro, un botón para poder configurar la lectura de los datos, esencialmente el número de muestras y el tiempo entre cada una, un botón para imprimir en pantalla una gráfica en la que se muestra el comportamiento de la

señal en ese preciso momento, un botón de ayuda que muestra información del software INTUILINK, entre otros.

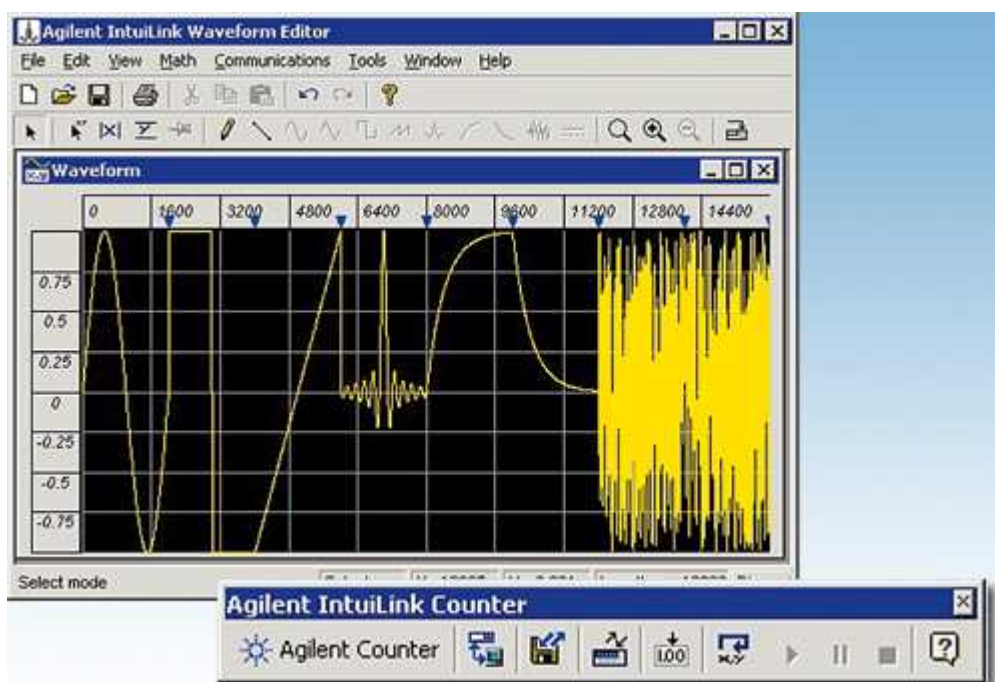


Figura3.10: Barra de herramientas INTUILINK[40]

Otro programa utilizado es la plataforma de MATLAB, es el lenguaje de alto nivel y el entorno interactivo utilizado por millones de ingenieros y científicos en todo el mundo. Le permite explorar y visualizar ideas, así como colaborar interdisciplinariamente en procesamiento de señales e imagen, comunicaciones, sistemas de control y finanzas computacionales. [41]

MATLAB permite acceder a datos de archivos, otras aplicaciones, bases de datos y dispositivos externos. Es posible leer datos con formatos populares como el de Microsoft Excel, archivos de texto o binarios, archivos de imagen, sonido y vídeo o archivos científicos tales como netCDF y HDF. Las funciones de E/S de archivos permiten trabajar con archivos de datos de cualquier formato.[41]

En la FIGURA3.11 se puede observar un archivo que combina números y texto para su importación a MATLAB mediante la herramienta de importación, se genera automáticamente un script o una función para importar el archivo de forma programática.

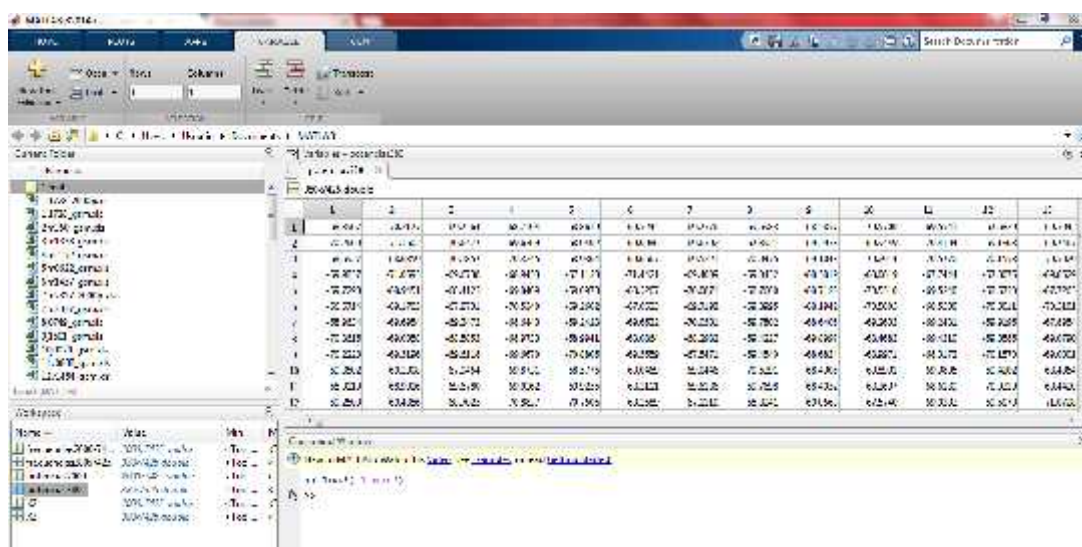


Figura3.11: Hoja de cálculo importada desde Microsoft Excel a Matlab [41]

Además permite gestionar, filtrar y pre-procesar los datos. Es posible realizar análisis de datos exploratorios a fin de descubrir tendencias, probar suposiciones y elaborar modelos descriptivos proporcionando funciones para filtrado y suavizado, interpolación[41]. Como se puede observar en la FIGURA3.12.

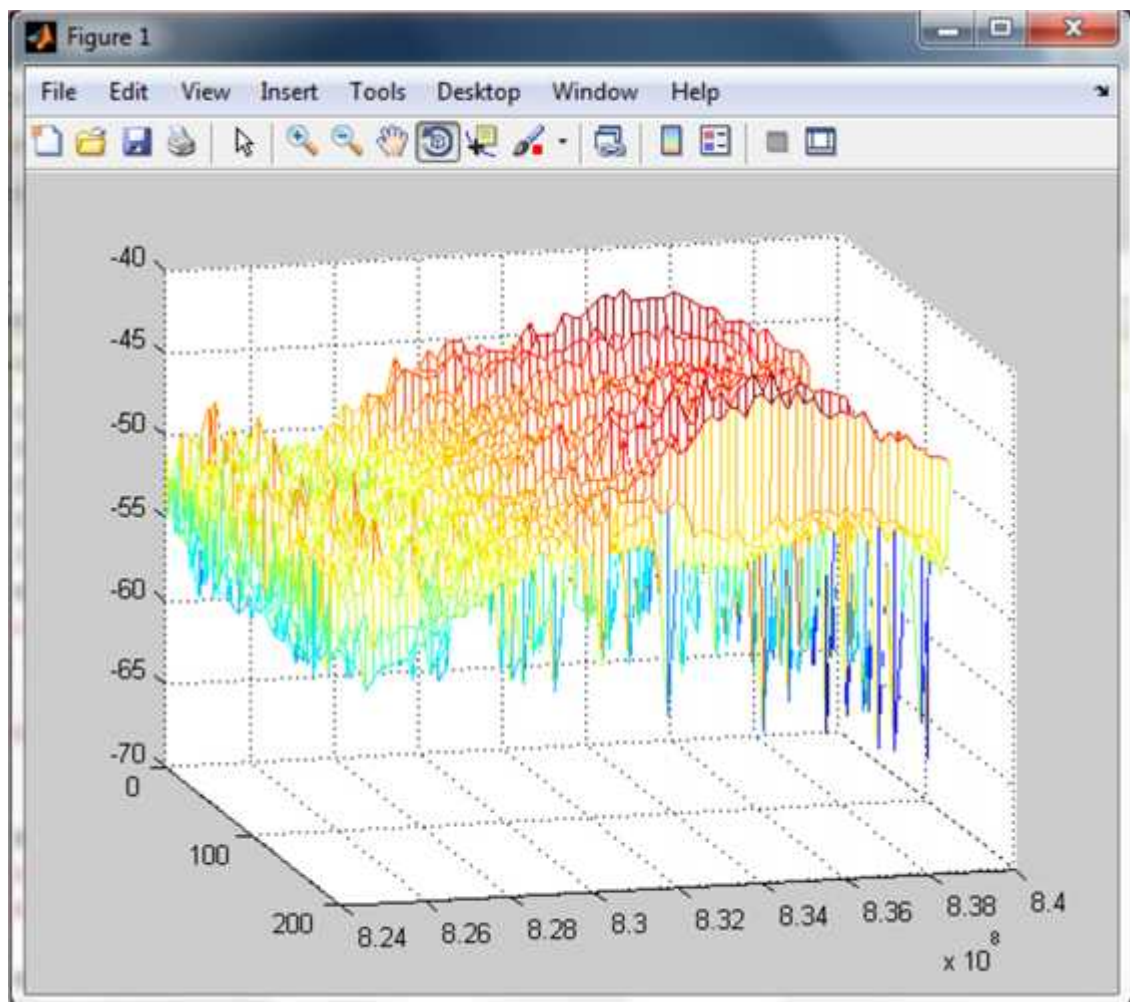


Figura3.12: Gráfica tridimensional realizada en MATLAB [41]

3.3. Montaje

La antena SIRIO SD 2000 U está colocada en la parte superior del edificio de la FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACION, se encuentra conectado al analizador de espectro AGILENT E4404B en el segundo piso del edificio por medio de un cable coaxial.

Los datos del analizador de espectro se comparten a la computadora a través de un cable N-N, esta última utiliza el software INTULINK para la visualización de los datos, los cuales posteriormente se los puede manipular para mejor entendimiento de lo que representa la información obtenida.

3.4. Especificaciones

El analizador de espectro es el equipo utilizado para recolectar los datos de la antena y enviarlos al computador para poder visualizarlos ordenadamente. Para la lectura de esta información, es necesario configurar el dispositivo AGILENT E4404B y el programa a utilizar de acuerdo a los especificaciones que se necesitan, en este caso, con el

ancho de banda de la señal a capturar, se puede calcular el número de muestras y el tiempo entre cada muestra.

3.4.1. Número de muestras

La fórmula para sacar el número de muestras es [43]:

$$m = \frac{N}{(N-1)K^2+1} \quad (3.1)$$

Donde

K: Porcentaje de error

N: Ancho de banda

m: Número de muestras

Las frecuencias a analizar se encuentran entre los 698MHz hasta los 960MHz. Por lo tanto el ancho de banda sería la diferencia entre estos límites. Con esta información se tiene que N=262MHz.

Hay que tomar en cuenta que para la fórmula mencionada al principio, deben omitirse las unidades para el ancho de banda, por lo que en realidad, $N=262$.

El porcentaje de error mínimo para una buena lectura es del 5%, se ha establecido que para este cálculo, se usará un porcentaje de error del 4% para obtener más precisión en la información recolectada.

Con estos datos, se tiene que el número de muestras es:

$$n = \frac{262}{(262 - 1)0.04^2 + 1}$$

$$m = 185$$

Para un análisis más profundo se toma el doble de muestras para obtener más precisión en los datos, es decir que el tiempo entre dos mediciones disminuye a la mitad, logrando que m sea el doble del valor original, consiguiendo un valor de $m = 370$. Además se aumenta 10 muestras extras en el caso de que no se pueda realizar la siguiente medición a tiempo.

3.4.2. Tiempo entre muestras

El tiempo entre muestras, al igual que el número de muestras, es otro campo requerido que se debe llenar en el software INTUILINK para su correcta lectura. Para obtener este dato es necesario conocer también el valor sacado en el literal anterior: $m=380$.

Habiendo obtenido este valor como el número de muestras, y teniendo en cuenta que el equipo permite hasta 401 puntos máximos por medición, se puede determinar que el número de muestras no excede el límite de puntos, por lo tanto una lectura de tres veces por día es necesaria para que la recolección de datos se realice de forma correcta.

Sabiendo que un día entero que tiene 24 horas sería igual a 1440 minutos, entonces 8 horas equivaldrían a 480 minutos, con esta información se puede determinar la separación entre muestreos, ya que el número de muestras es 370 y con los las 10 mediciones extras serán 380.

$$480/370 = 1.2973$$

Para transformar el valor anterior a minutos con segundos hay que cambiar los decimales a una escala de 60 segundos.

$$0.2973 \frac{60}{100} = 0.178$$

Redondeando el valor obtenido, se tiene que el tiempo que hay que configurar es de 1 minutos con 18 segundos entre cada muestra para así poder conseguir una lectura confiable de los datos.

3.4.3. Piso de ruido

Las anteriores cifras obtenidas son una información necesaria para ingresar en el programa INTUILINK, los cuales sirven para una correcta lectura de los datos recolectados por el analizador del espectro. En cambio el piso de ruido es un valor que se utiliza para el análisis de estos.

La fórmula del ruido de Johnson-Nyquist [43] mostrada a continuación es la que se utiliza para determinar este valor, esta potencia obtenida se muestra en dbm.

$$P_{dbm} = -174 + 10\log(Bw) \quad (3.2)$$

El servicio que más predomina en este rango de datos es el servicio de telefonía celular el cual comienza en 824 MHz y termina en 894 MHz, por lo cual se obtiene un ancho de banda (Bw) de 70 MHz siendo el valor del piso de ruido:

$$P_{dbm} = -174 + 10\log(70 * 10^6)$$

$$P_{dbm} = -95.549 \text{ dbm}$$

Hay que tener en cuenta que a este valor aún hay que aumentarlo de 10 db debido a recomendaciones de la ITU[45] la cual se expresará con el término " P_{ITU} ". Además hay que tomar en consideración otros factores que afectan al cálculo del piso de ruido, como la figura de ruido del analizador de espectro o

“Nf”; pérdidas en el recibimiento de la señal, que se expresan comúnmente con la letra “L”; y la atenuación al momento de recibir los datos que se expresará con el término “At”. Añadiendo estos factores, la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$P_{dbm} = -174 + 10 \log(70 \cdot 10^6) + P_{ITU} + Nf + L - At \quad (3.3)$$

Las pérdidas que se encuentran al momento de recibir la señal desde la antena hasta la lectura final de los datos están relacionadas con las pérdidas por cable y pérdidas por acoplamiento de los conectores. Con respecto al cable, este mide 10 metros de longitud y tomando en cuenta se pierde 1db por cada metro, entonces se tiene 10db de pérdida. Mientras que con los conectores se sabe que cada uno representa 0.5db de pérdida, ya que existen 4 conectores para la lectura de la señal, se obtienen 2db extras de pérdida. Con estos datos se establece que se tienen 12db de pérdida para añadir a la fórmula

La figura de ruido o “Nf” se averigua de forma diferente, dentro del manual de usuario del analizador de espectro existe una

figura que muestra el valor buscado dependiendo de la frecuencia que se va a utilizar para las mediciones, el cuadro se muestra en la FIGURA3.13, donde la línea punteada es la que se utiliza debido a la versión del equipo, E4404b. Aquí se puede observar que entre 698MHz y 960MHz la figura de ruido tiene un valor de aproximadamente 10db.

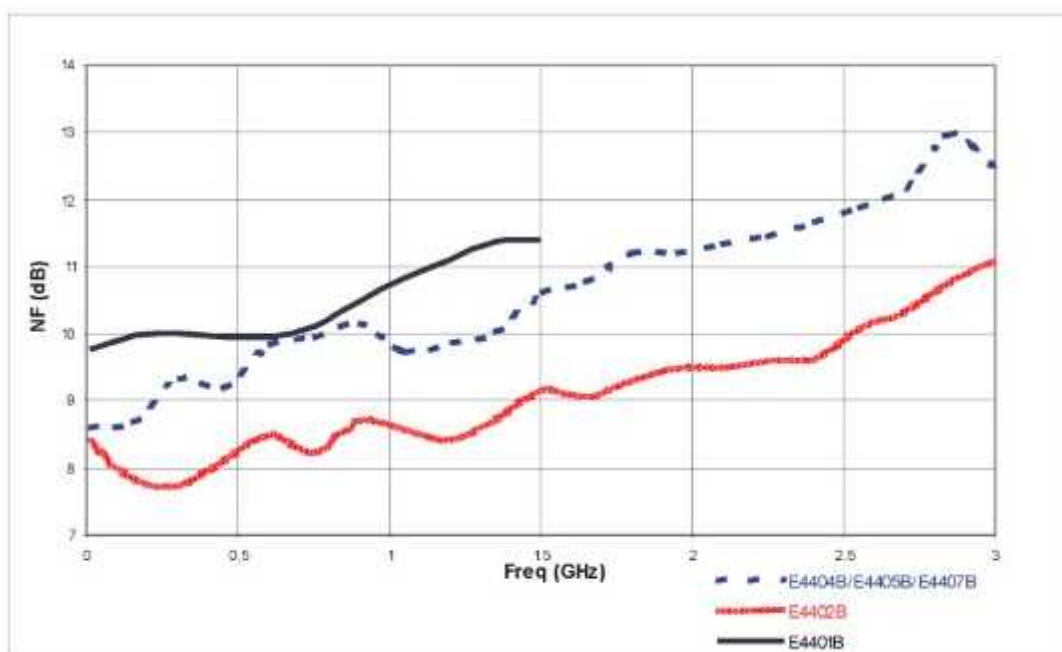


Figura3.13: Gráfica de la figura de ruido de los analizadores de espectro AGILENT [42]

La atenuación es un valor que se puede configurar en el analizador de espectro, el valor que se muestra en las

mediciones es de 5db. Ya con todos los valores de la fórmula establecidos se puede calcular con un poco más de exactitud la potencia del piso de ruido.

$$P_{dbm} = -174 + 10 \lg(70 \cdot 10^6) + P_{ITU} + Nf + L - At(3.4)$$

$$P_{dbm} = -95.55 + 10 + 10 + 12 - 5$$

$$P_{dbm} = -68.55 \text{ dbm}$$

El último valor que habría que especificar sería la potencia umbral, este es un valor que sirve como límite para determinar las frecuencias que están siendo ocupadas y las que no lo están. Esta cifra se la establece al observar las gráficas, sin importar cuanto varía la interferencia del ruido la cual se encuentra aproximadamente en -68.55dbm, el umbral sería ligeramente superior, de esta forma se considera como una frecuencia ocupada a cualquier potencia que se encuentre por encima de la señal de ruido.

3.5. Obtención de datos

Para obtener las mediciones se requiere seguir una serie de pasos sencillos para poder visualizar los datos en la pantalla. Después de revisar que las conexiones físicas se encuentren correctamente acopladas, hay que proseguir con la parte del software. El complemento INTUILINK en Microsoft Excel instalado es primordial para comenzar la toma de datos.

En el analizador de espectro se tiene que configurar la frecuencia inicial y frecuencia final, es decir 698MHz y 960MHz respectivamente. Otra especificación necesaria es el número de puntos en los que se va a dividir el ancho de banda, debe ser una cifra considerable para una mejor precisión de las mediciones. Se escogió 2000 puntos, lo cual significa que para los 262 MHz que existen de principio a fin, cada 131065.53Hz o 131KHz habrá un nuevo punto de frecuencia como se ve en la fórmula siguiente. La tecnología conocida con menor ancho de banda dentro del rango de frecuencias asignado es GSM y debido a que su ancho de banda es 200KHz, este valor de separación entre frecuencias es válido para la toma de datos.

$$\frac{262\text{MHz}}{(2000 - 1)} = \frac{262000000}{(1999)} = 131065.53\text{Hz}$$

En el analizador de espectro existen otras especificaciones que se podrían configurar, como la resolución de la banda, el tipo de escala, la fecha, el tiempo de muestreo, aspectos de la visualización en la pantalla, pero algunos de estos se los deja en sus valores por defecto para una óptima recolección de los datos, y otros tampoco se los modifica ya que no causarían ningún cambio para la obtención de las mediciones.

Habiendo ya configurado el analizador de espectro, se prosigue a hacer lo mismo con el programa INTUILINK. Primero hay que inicializar el reconocimiento del equipo Agilent E4404B escogiendo el puerto correcto al cual está conectado. Luego de esto los demás botones se desbloquean y se tiene a la mano la opción de configuración del complemento. Es aquí donde se modifican los valores de número de muestras y tiempo de muestreo establecidos anteriormente en este capítulo. También se puede visualizar una lista de detalles que se mostraran en cada medición, tales como la frecuencia central, fecha, nivel de referencia, tipo de escala, entre otros; se puede escoger cuales de estas especificaciones se quiere ver marcando en la casilla respectiva.

Cuando ya está todo listo se puede comenzar a recolectar las mediciones. Se creará una pestaña cada 1 minuto con 18 segundos como fue configurado, donde se mostrarán 3 columnas, en la primera estarán las 2000 frecuencias en Hertz, en la segunda columna se verán las potencias por cada frecuencia en ese instante de tiempo en decibelios, y la tercera columna se podrán las especificaciones escogidas para mostrarse. En la FIGURA3.14 se observan estos detalles.

	A1	B1	C1
3	Frequency (Hz)	Transceiver	Center Frequency (Hz)
4	8.985+00	-6.9826+01	8.298+00
5	8.985+00	-7.0025+01	
6	8.985+00	-6.5795+01	Data/Time
7	8.985+00	-7.5976+01	15/09/2014 1:44
8	8.985+00	-8.8411+01	
9	8.990+00	-7.1700+01	Reference Level (dBm)
10	8.990+00	-7.0700+01	-4.000+01
11	8.990+00	-7.1100+01	Resolution BW (Hz)
12	8.990+00	-7.1247+01	3.900+00
13	8.990+00	-7.1411+01	
14	8.990+00	-7.0870+01	Scale Type
15	9.000+00	-8.8390+01	LOG
16	9.000+00	-8.8800+01	
17	9.000+00	-7.0376+01	Sweep Frequency (Hz)
18	9.000+00	-8.8800+01	3.420+00
19	9.000+00	-7.1040+01	Start Frequency (Hz)
20	9.000+00	-7.1400+01	8.980+00
21	9.000+00	-7.2300+01	
22	9.000+00	-8.8916+01	Stop Frequency (Hz)
23	9.000+00	-7.1230+01	8.880+00
24	9.000+00	-8.8270+01	
25	9.000+00	-8.9204+01	Sweep Number Of Points
26	9.000+00		5000

Figura3.14: Visualización de toma de datos en Microsoft Excel

Finalmente hay que mencionar que las mediciones se siguen obteniendo automáticamente durante el tiempo configurado, es decir cada 8 horas, luego de esto hay que guardar el archivo final y repetir los pasos desde la configuración del complemento INTUILINK. Para una adecuada obtención de datos, se debe comenzar a configurar una nueva serie de mediciones apenas termine la anterior. Por problemas de los equipos, el tiempo entre archivo y archivo creado no es el óptimo, pero debido a la aleatoriedad de los datos en ciertos rangos de frecuencias y a la continuidad de los datos en otros rangos, no se genera un inconveniente mayor al momento del análisis.

3.6. Ordenamiento de los datos

Como se puede observar en la FIGURA3.14 al final del capítulo anterior, los datos no son útiles con la forma en la que se generan, simplemente una lista de la potencia de cada uno de los 2000 puntos de frecuencia en cada instante de tiempo guardado en cada pestaña no sirve para comenzar a analizarlos. Una mejor organización sería la agrupación total de las columnas de potencias para así poder hacer gráficas involucrando la variable del tiempo.

3.6.1. Macros

Una forma para la agrupación completa de los términos sería copiar y pegar la columna de las potencias pestaña por pestaña en una nueva hoja de cálculo, esta no es una opción viable ya que son 380 pestañas por archivo, y son 20 archivos en total, lo cual equivaldría a hacer esta acción de copiar y pegar 7600 veces.

La función de macros en Microsoft Excel ayuda a reducir considerablemente el número de veces que se debe repetir una serie de pasos, con esta función se puede grabar una acción o una serie de acciones para poder repetirla simplemente con un comando. Además se puede programar con el Editor de Visual Basic para que de esta forma la misma acción de copiar y pegar se repita en cada pestaña reduciendo de forma abundante el proceso de ordenamiento de los datos.

En la FIGURA3.15 se ve el código usado de la macro para el rápido agrupamiento de los datos, antes de ejecutar el código se crea una nueva pestaña al final de las pestañas actuales con el nombre "completo", el nombre se puede cambiar si se cambia en

La matriz final creada no es la apropiada para hacer un análisis exhaustivo, se necesita dividir en grupos menores para poder comparar entre sí los datos obtenidos. Por lo cual una división por día sería adecuado para un mejor estudio. Teniendo la matriz completa de las mediciones y las matrices de cada archivo inicial, crear nuevas matrices para cada uno de los 7 días que se realizó la toma de datos no es difícil, simplemente copiar y pegar las columnas respectivas y se tienen nuevas matrices.

3.6.2. Canales

Se conoce que el servicio primordial en este rango de frecuencias es el servicio de telefonía celular. Los 70 MHz que se dividen entre 25MHz de Uplink, 25MHz de Downlink y 20MHz entre ambos de banda de guarda, se subdividen aún más ya que tienen canales internos. Estos canales tienen un ancho de banda y separación entre ellos de 200 KHz, mientras que la separación entre las frecuencias obtenidas de las mediciones es de 131KHz. Para hacer un ajuste de éstas se hace una interpolación entre las frecuencias inmediatamente superior e inmediatamente inferior para obtener así el valor de la potencia para cada una de las frecuencias centrales de los canales.

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS

4.1. Espectro total

El analizador de espectro puede tomar capturas de pantalla de lo que se muestra en un momento exacto, y así como los datos, mostrarlo directamente en el ordenador para su visualización, pero debido a que son imágenes de un instante de tiempo, estas no se pueden manipular debidamente, la imagen se puede observar en la FIGURA 4.17.

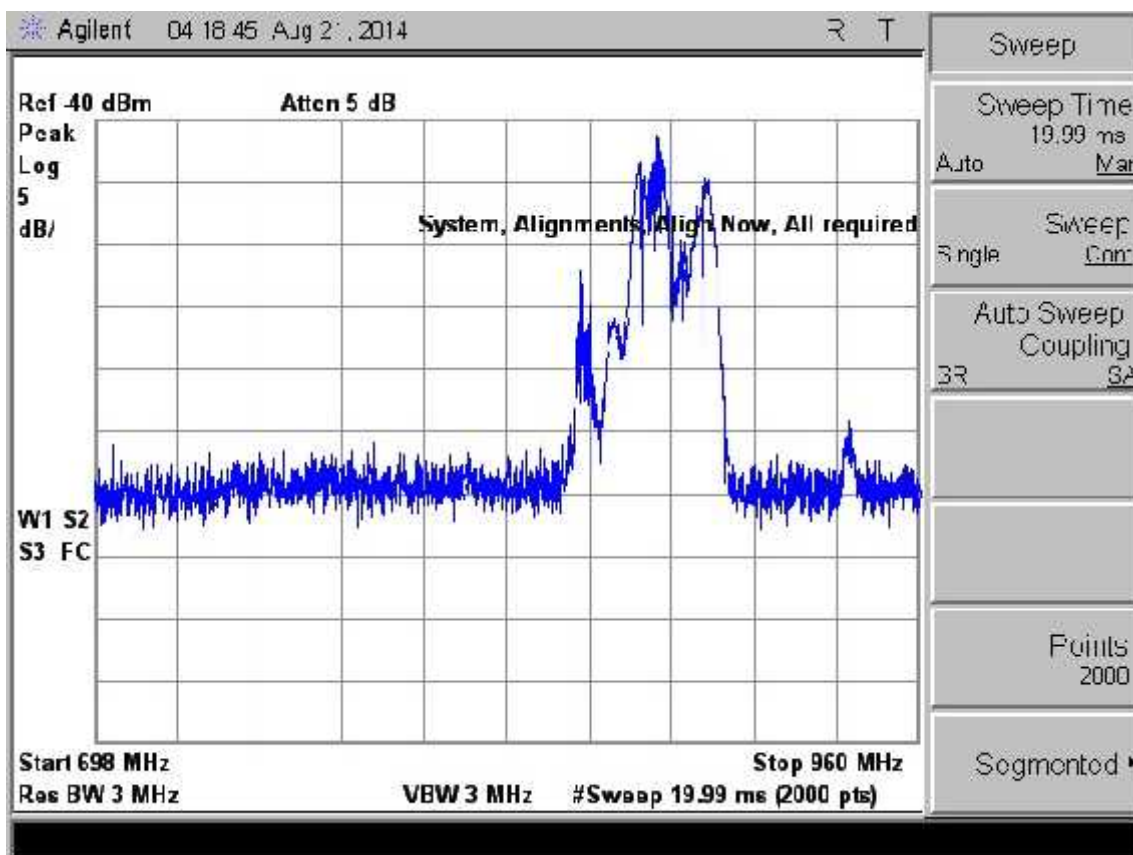


Figura4.17: Gráfico de la señal directo del analizador de espectro

Para esto es necesario el uso del programa MATLAB, con las mediciones organizadas y agrupadas correctamente se pueden obtener imágenes que sirven para el mejor entendimiento de los datos, en pocos pasos se pueden obtener gráficos de tres dimensiones los cuales aportan de forma considerable en el aspecto visual.

En la FIGURA4.18 se observan todas las mediciones tomadas, es decir todas las potencias de los 2000 puntos de frecuencias diferentes entre 698 MHz a 960MHz, durante el tiempo completo que se realizó, exactamente desde el lunes 29 de diciembre del 2014 a las 1:19pm hasta el lunes 5 enero del 2015 a las 4:47pm. Entonces se entiende que el eje “x” representa la frecuencia, el eje “y” representa el tiempo, y el eje “z” representa la potencia de cada punto.

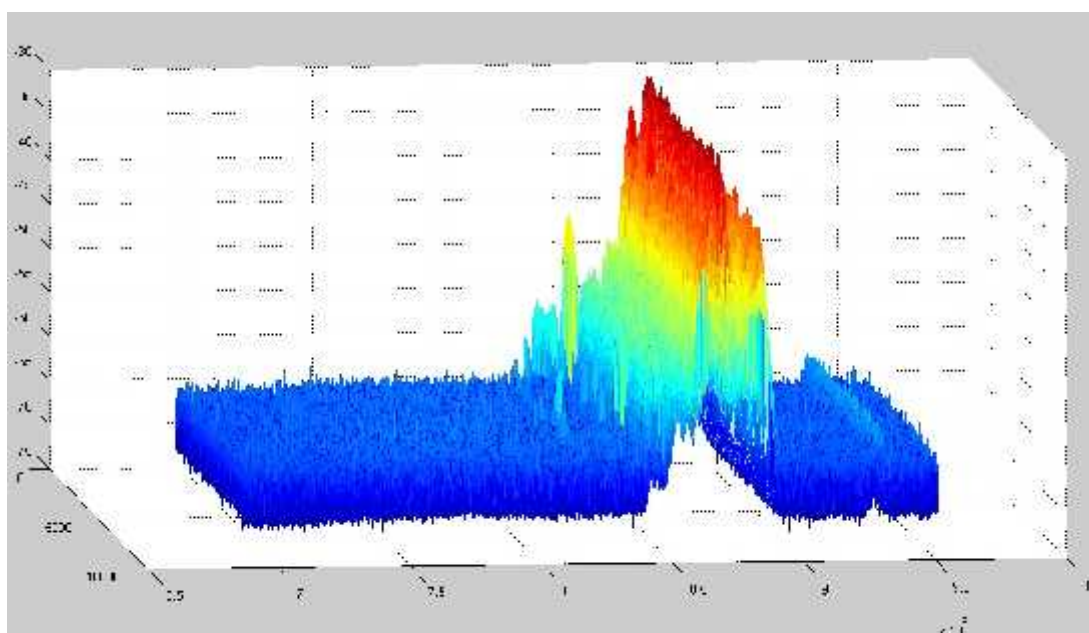


Figura4.18: Gráfica tridimensional del espectro total durante el tiempo completo

Se ha optado por mostrar el espectro de forma tridimensional como en la figura anterior, y también desde una vista superior, lo cual lo transformaría en una gráfica de dos dimensiones simplemente. Pero con la ayuda de una barra de colores a la derecha se pueden representar aproximadamente los valores de potencia que posee cada punto de tiempo y frecuencia, tal como se muestra en la FIGURA4.19. Esta gráfica también contiene todos los puntos de la banda de frecuencias a analizar.

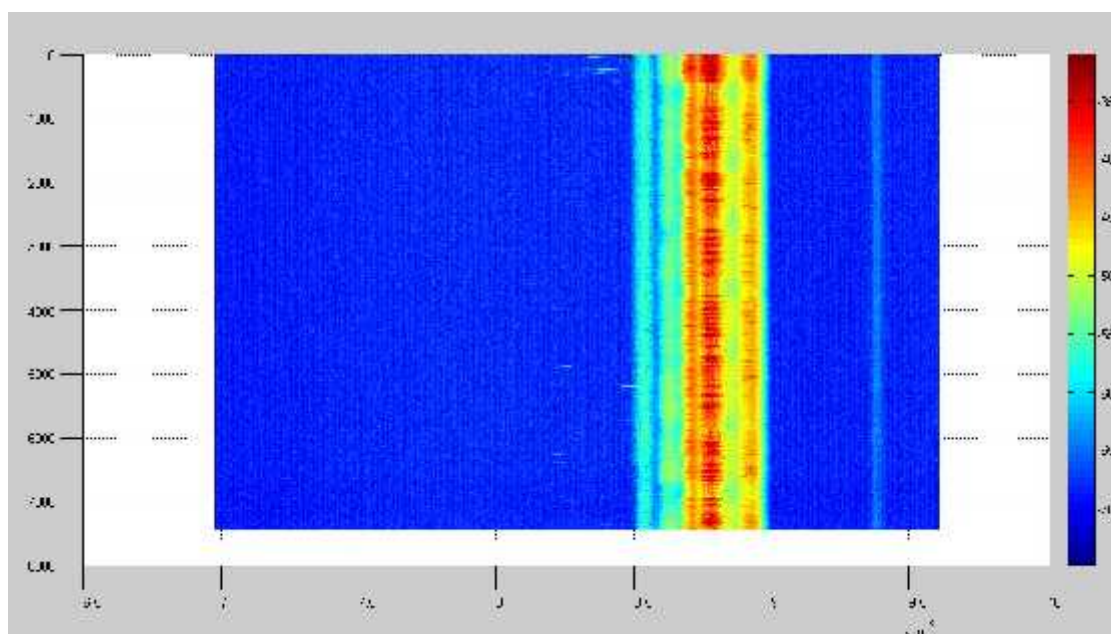


Figura4.19: Vista superior del espectro total durante el tiempo completo

Como se ve en las figuras anteriores, es notable que existe simplemente una parte del espectro donde la señal de potencia se levanta considerablemente, mientras que el resto de las frecuencias se mantienen a la altura del piso del ruido que es -70dbm la mayor parte del tiempo, con pocas excepciones.

Una de las excepciones es en la banda de frecuencias desde 935MHz a 938MHz donde se nota un pequeño levantamiento de la señal, revisando el plan nacional de frecuencias, los servicios que predominan en esta parte son sistemas troncalizados, y se observa un incremento aproximado de 5dbm con respecto al piso de ruido. Además de este servicio existen frecuencias debajo del servicio celular (698MHz – 824MHz) donde la potencia aumenta en consideración a sus frecuencias adyacentes, y debido a que son casos aberrantes, se los toma como interferencias.

4.2. Servicio celular

Debido al comportamiento del ancho de banda total se decide analizar únicamente el servicio celular donde se encuentra la parte del espectro con mayores valores de potencia. Como se ve en la FIGURA4.19, el espectro vuelve a bajar al nivel de piso de ruido justo al llegar a

900MHz, por consiguiente esta porción también es incluida en los nuevos análisis. A la final quedaría un nuevo ancho de banda que observar, con frecuencia inicial en 824MHz y frecuencia final en 900MHz.

Ya que se está tomando la banda del servicio celular como los datos principales para el nuevo análisis, junto con 6MHz extra, es idóneo trabajar con canales en vez de las frecuencias obtenidas originalmente. Es decir que los datos tendrán una separación exacta de 200KHz en vez de los aproximados 131KHz que se usaba inicialmente. Después de la conversión de frecuencias mostrada al final del capítulo 3, se obtiene una nueva matriz con la cual se puede generar gráficos similares a las anteriores, como se puede ver en la FIGURA4.20 y FIGURA4. 21.

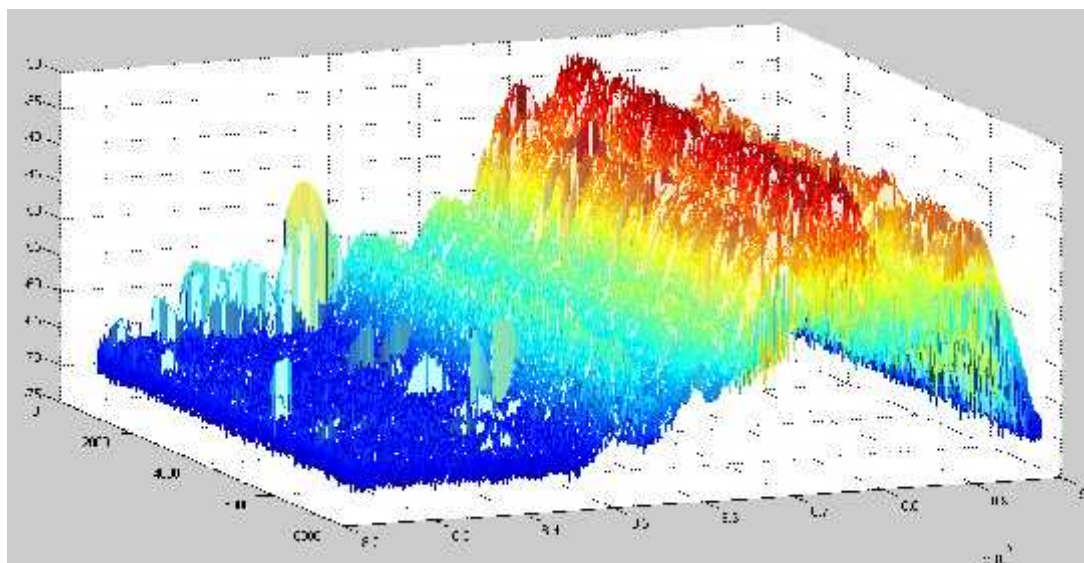


Figura4.20: Gráfica tridimensional de servicio celular durante el tiempo completo

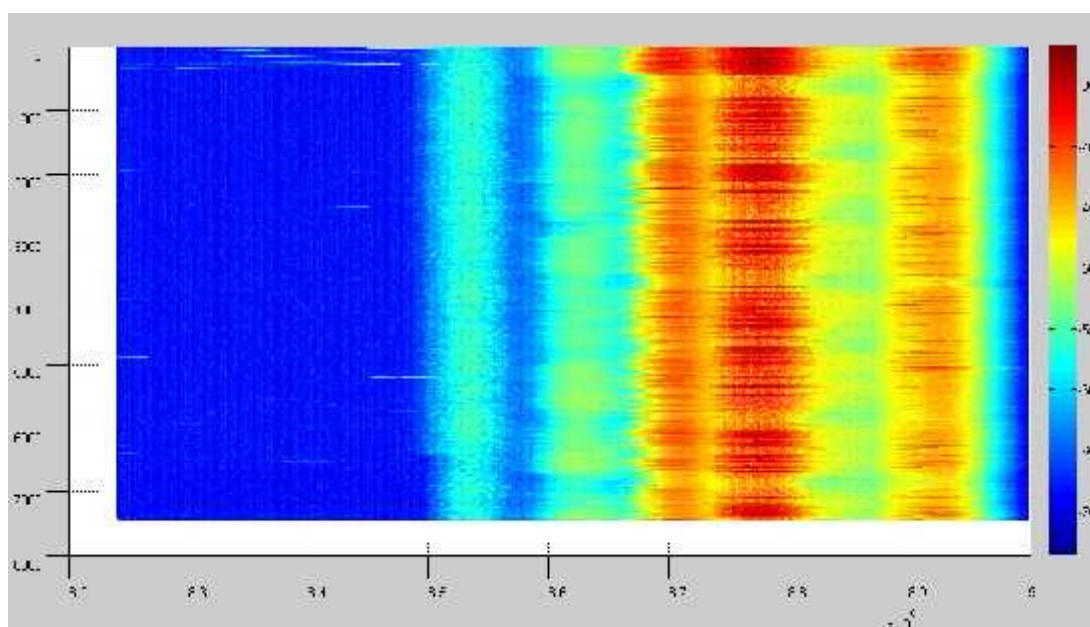


Figura4.21: Vista superior de servicio celular durante el tiempo completo

Se observa claramente una diferencia en los gráficos cuando se trabaja el espectro completo y cuando se trabaja simplemente el servicio celular, especialmente dentro de las frecuencias desde 824MHz a 849MHz donde se proporciona el servicio de “Uplink” o subida de datos.

4.3. División por día

Gracias a la selección exclusiva de ciertas frecuencias se mejoró la visualización del espectro y se puede observar que se encuentra más ocupado en este fragmento debido a las potencias por encima del piso de ruido. Igual es necesario dividir el ancho de banda analizado en más segmentos para que los gráficos queden más reducidos y se note con mayor precisión el uso del espectro. Por lo cual se decide separar los datos ahora en función del tiempo, cada 24 horas, comenzando desde las 16h30 del lunes 29 de diciembre del 2014 hasta el lunes 5 de enero del 2015 se toma una muestra.

La FIGURA 4. 22 muestra el espectro del servicio celular iniciando el primer lunes a las 16:30 por las siguientes 24 horas con una gráfica tridimensional, mientras que la misma imagen vista desde la parte

superior es mostrada en la FIGURA4.23. El periodo tomado para estas primeras ilustraciones subdivididas en el tiempo es considerado como el primer día, las siguientes 24 horas comenzando desde el martes a las 16:30 es considerado como el segundo día, y así sucesivamente, terminando el día 7 el siguiente lunes así mismo a las 16:30.

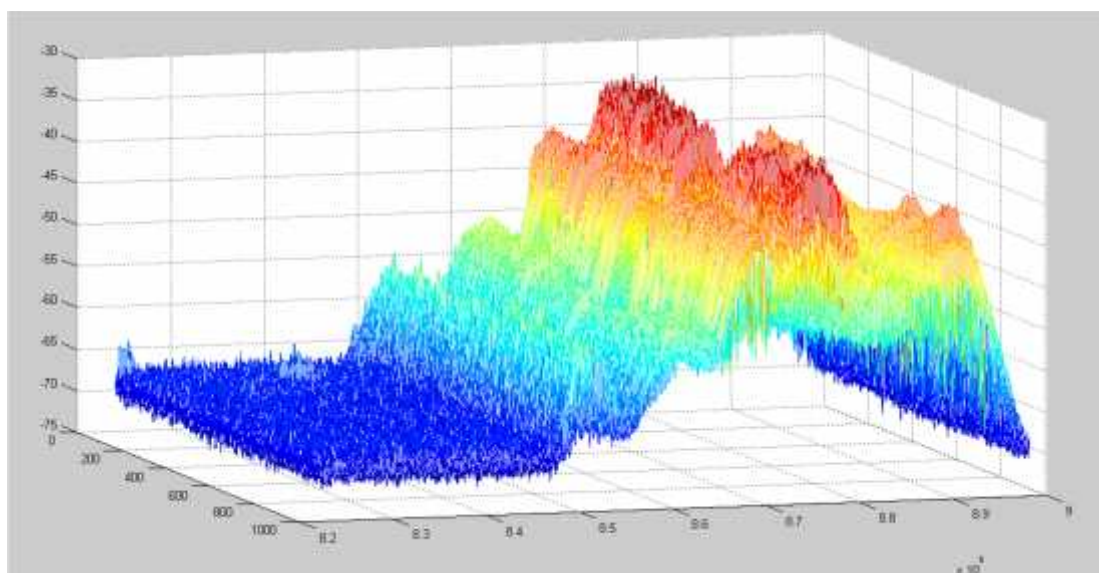


Figura4.22: Gráfica tridimensional del primer día en el servicio celular

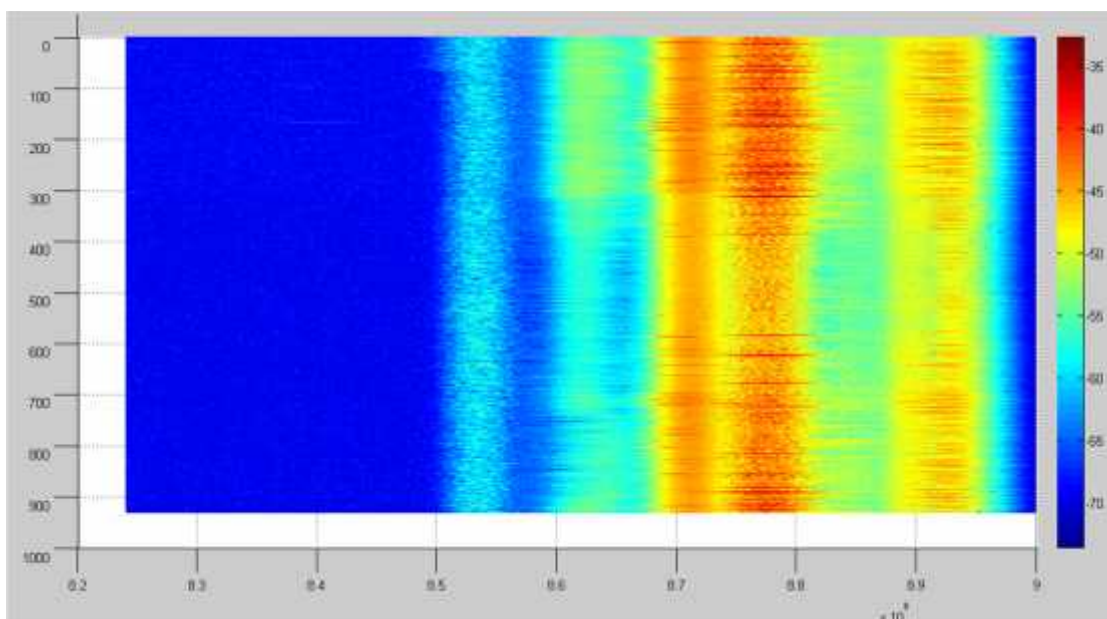


Figura4.23: Vista superior del primer día en el servicio celular

La FIGURA4.24 y FIGURA4.25 muestran el comportamiento del espectro en el servicio celular para el segundo día, de martes a las 16:30 a miércoles a 16:30.

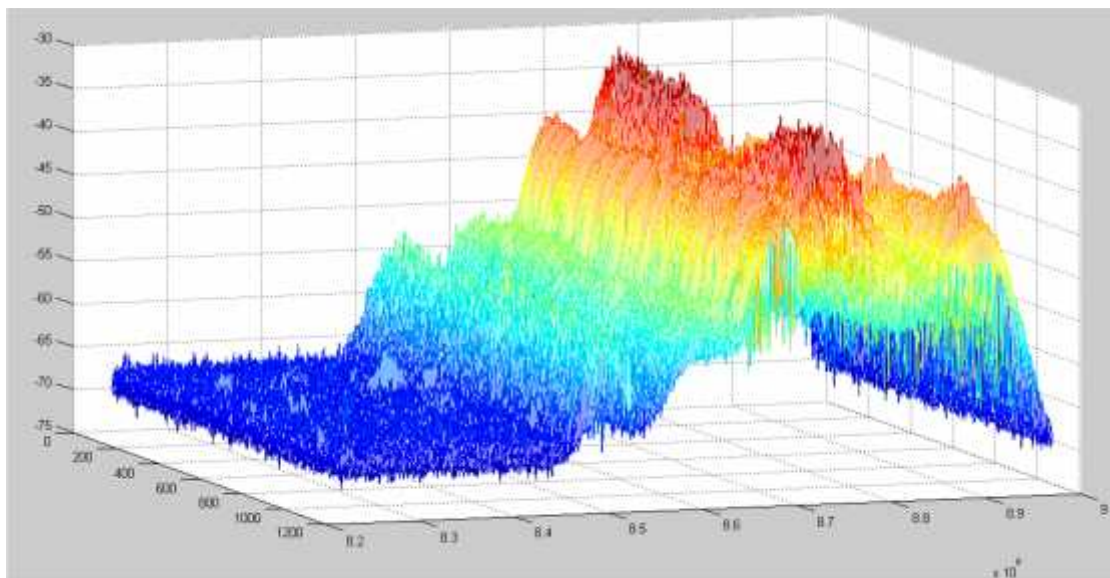


Figura4.24: Gráfica tridimensional del segundo día en el servicio celular

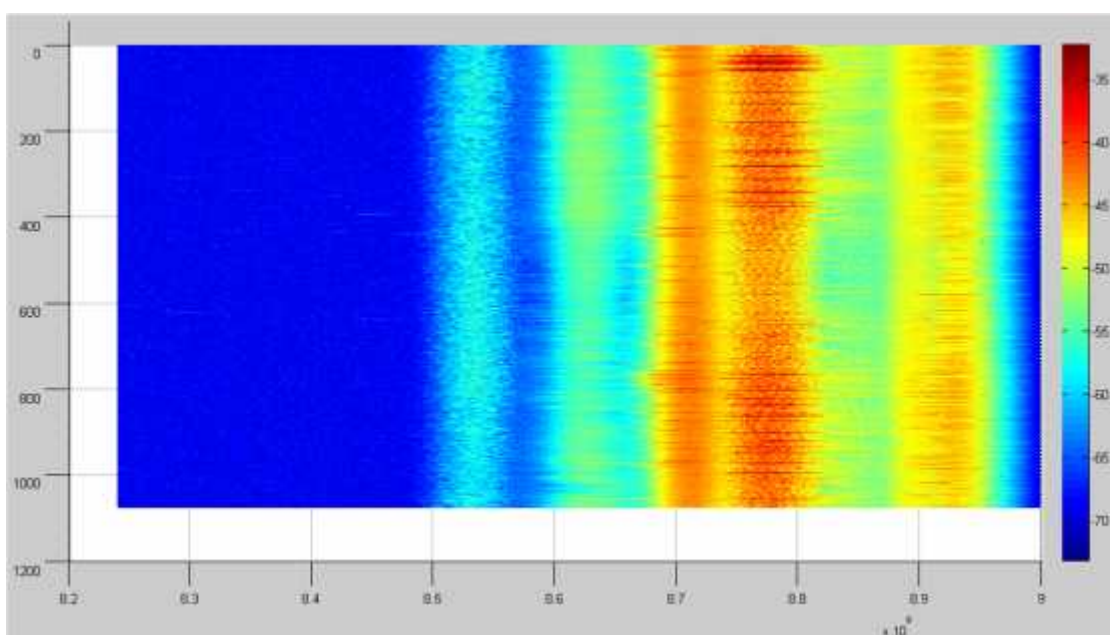


Figura4.25: Vista superior del segundo día en el servicio celular

La FIGURA4.26 y FIGURA 4. 27 muestran los mismos tipos de gráficos, con la diferencia que ahora se toma en cuenta el tercer día, desde miércoles a las 16:30 hasta el jueves a las 16:30.

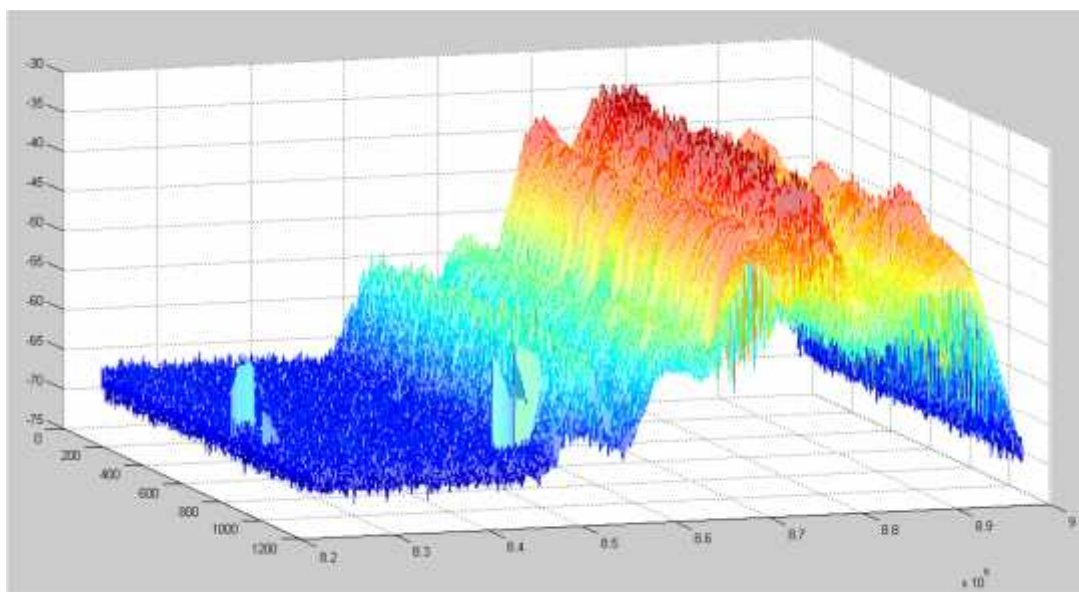


Figura4.26: Gráfica tridimensional del tercer día en el servicio celular

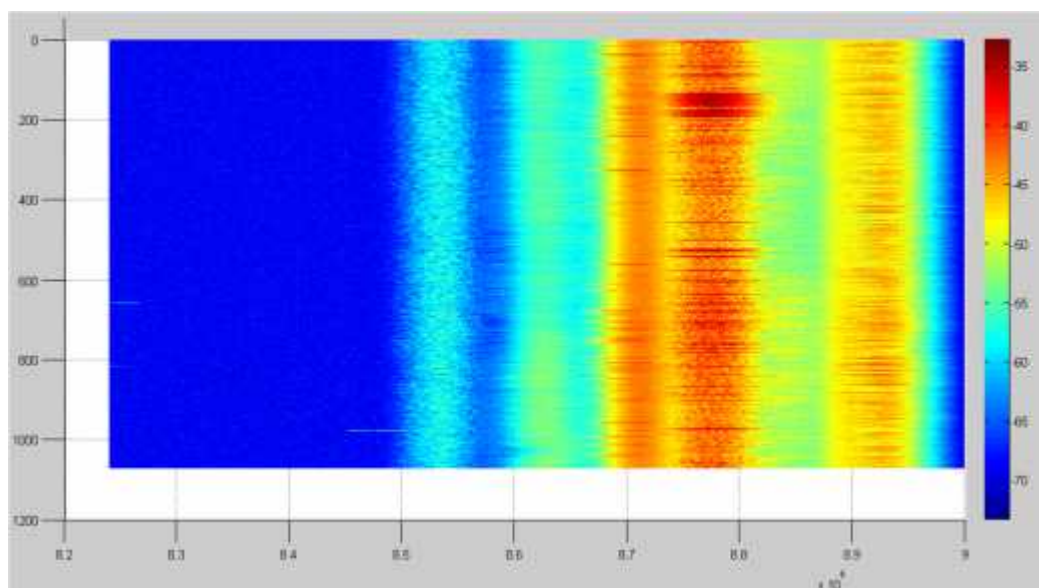


Figura4.27: Vista superior del tercer día en el servicio celular

En la FIGURA4.28 y FIGURA 4. 29 se ve el servicio celular del cuarto día, es decir desde el jueves a las 16:30 por 24 horas más.

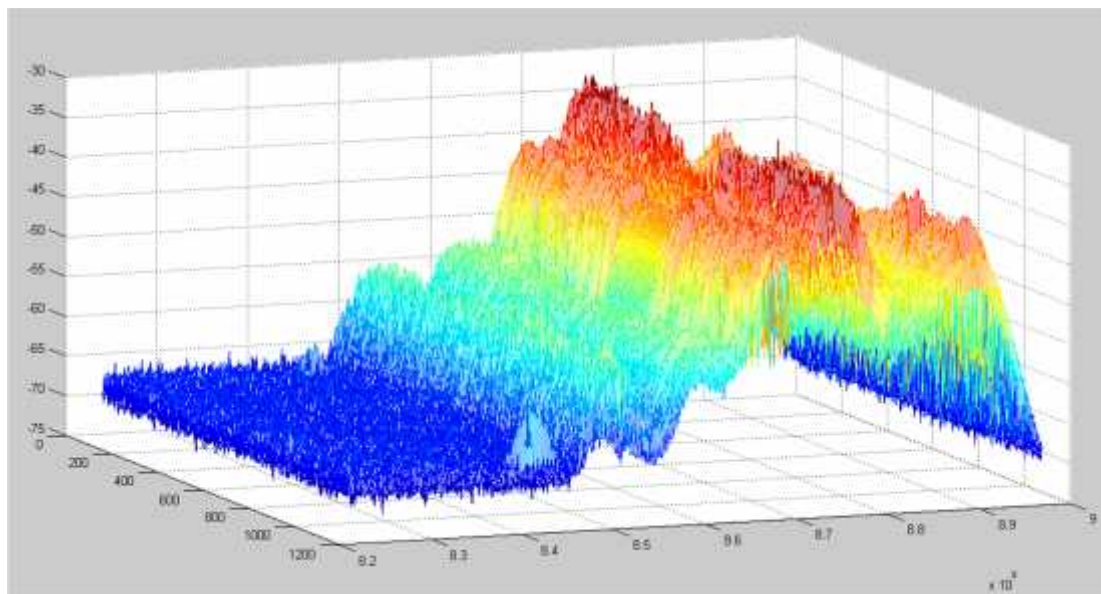


Figura4.28: Gráfica tridimensional del cuarto día en el servicio celular

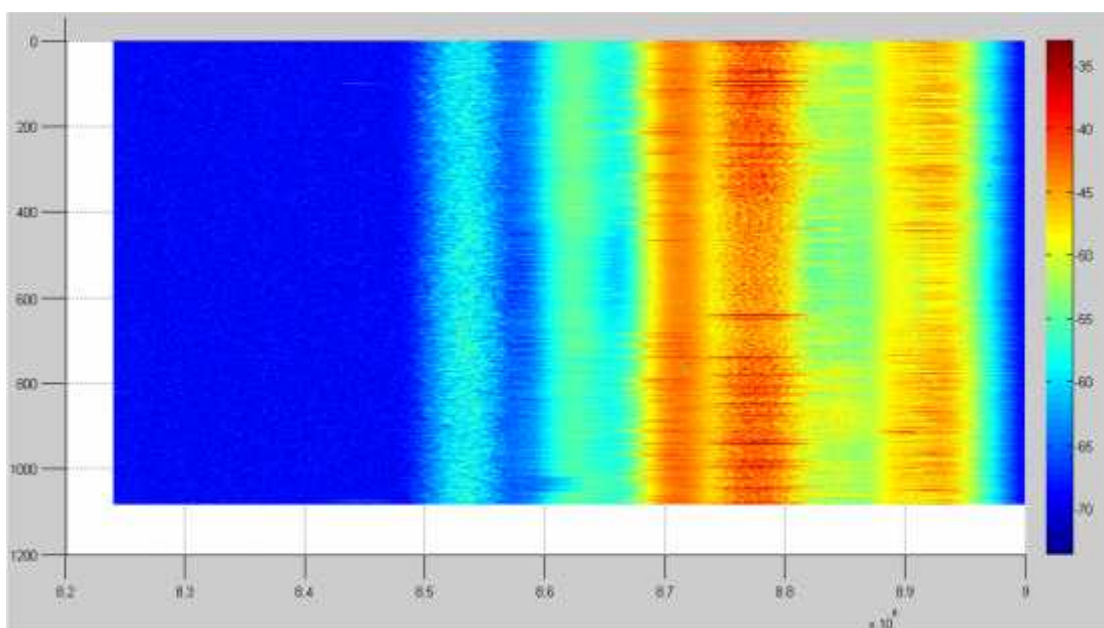


Figura4.29: Vista superior del cuarto día en el servicio celular

La FIGURA4.30 y FIGURA4.31 muestran el espectro del servicio celular durante el quinto día, es decir desde el viernes a las 16:30 hasta el sábado a la misma hora.

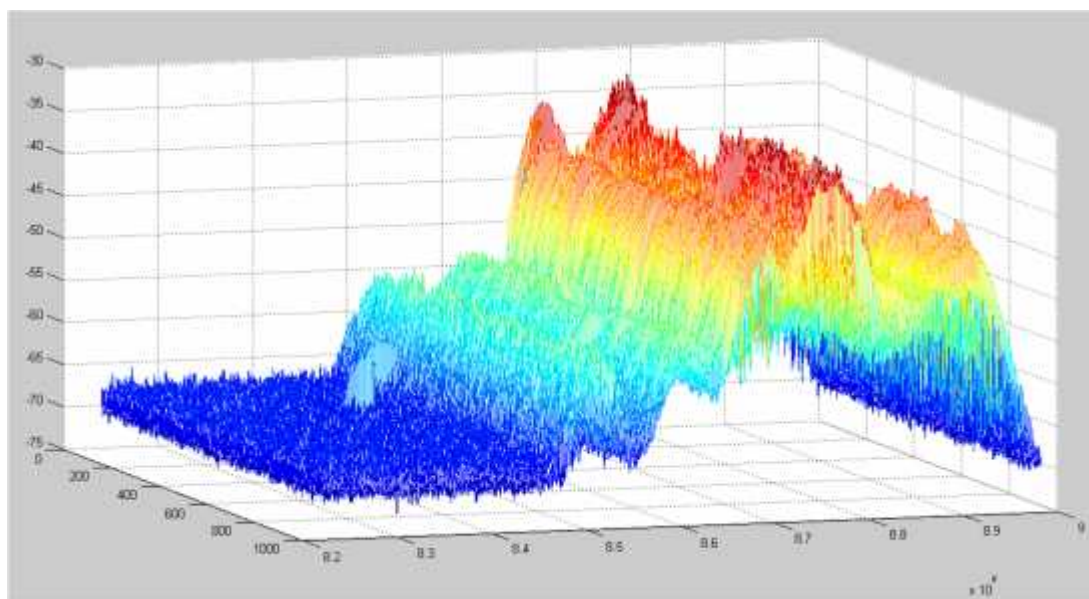


Figura4.30: Gráfica tridimensional del quinto día en el servicio celular

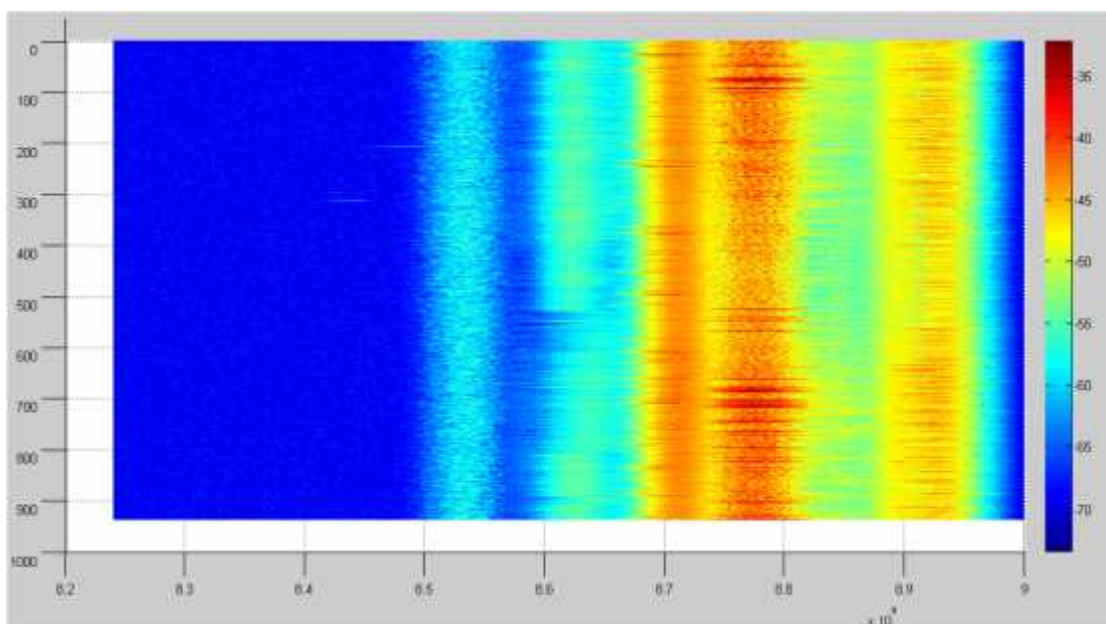


Figura4.31: Vista superior del quinto día en el servicio celular

Las siguientes imágenes son la FIGURA4.32 y FIGURA4.33, el sexto día es el que se ve representado aquí, desde el sábado a las 16:30 hasta el siguiente día con misma hora.

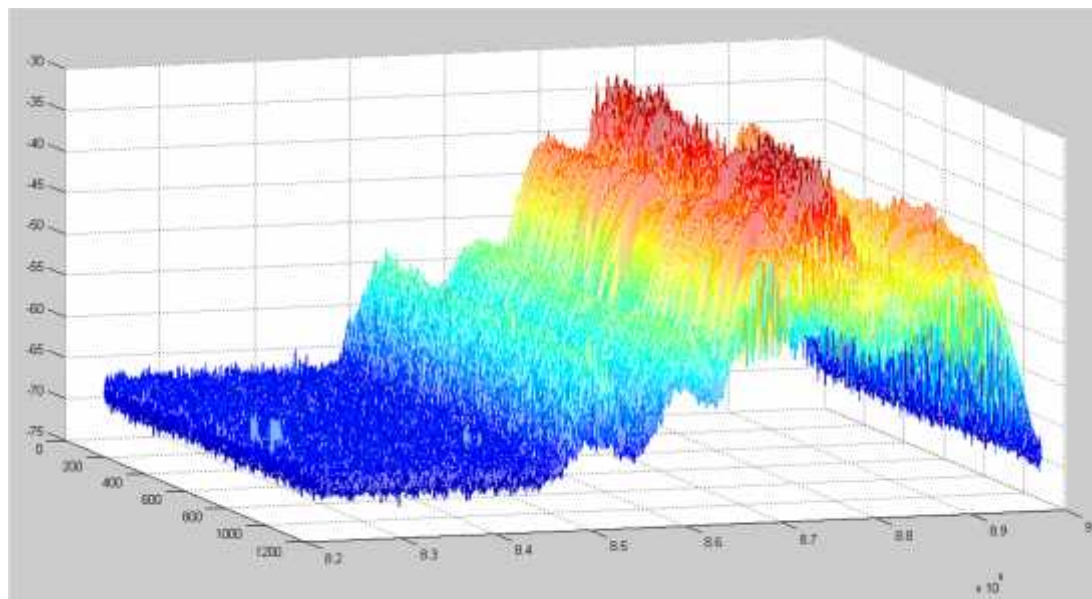


Figura4.32: Gráfica tridimensional del sexto día en el servicio celular

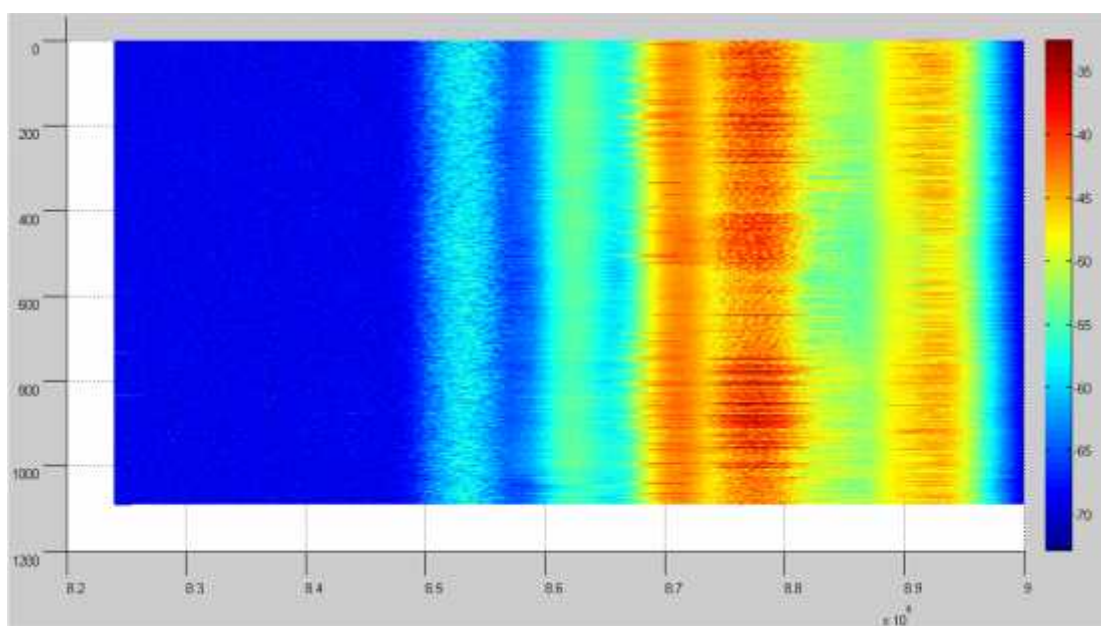


Figura4.33: Vista superior del sexto día en el servicio celular

Finalmente se tienen la FIGURA4.34 y FIGURA4.35 donde se muestra el servicio celular del último día, que sería desde el domingo a las 16:30 hasta nuevamente el lunes a las 16:30.

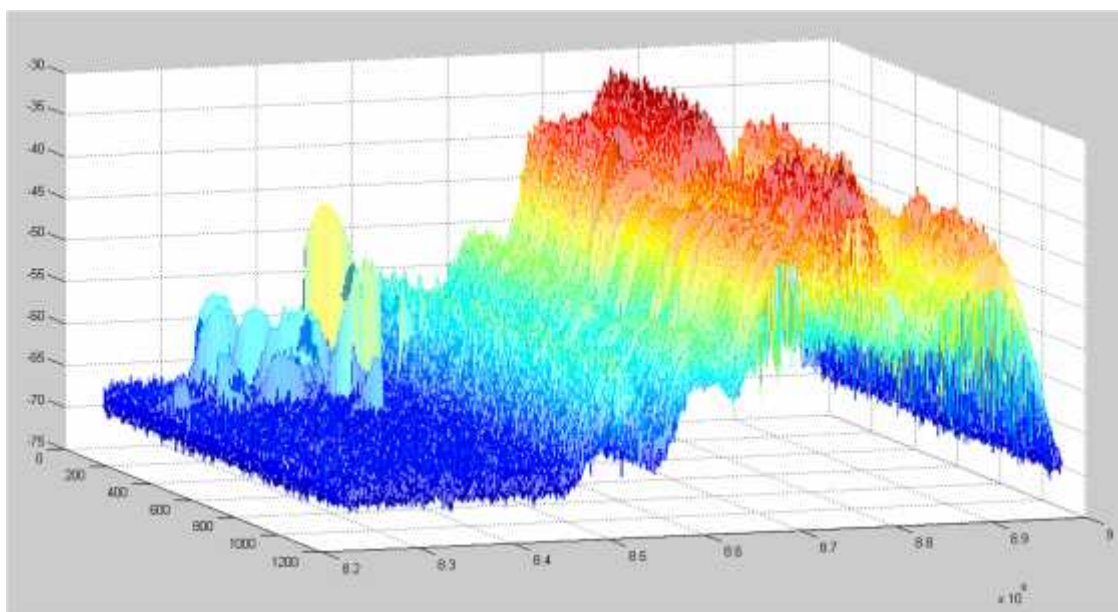


Figura 4.34: Gráfica tridimensional del séptimo día en el servicio celular

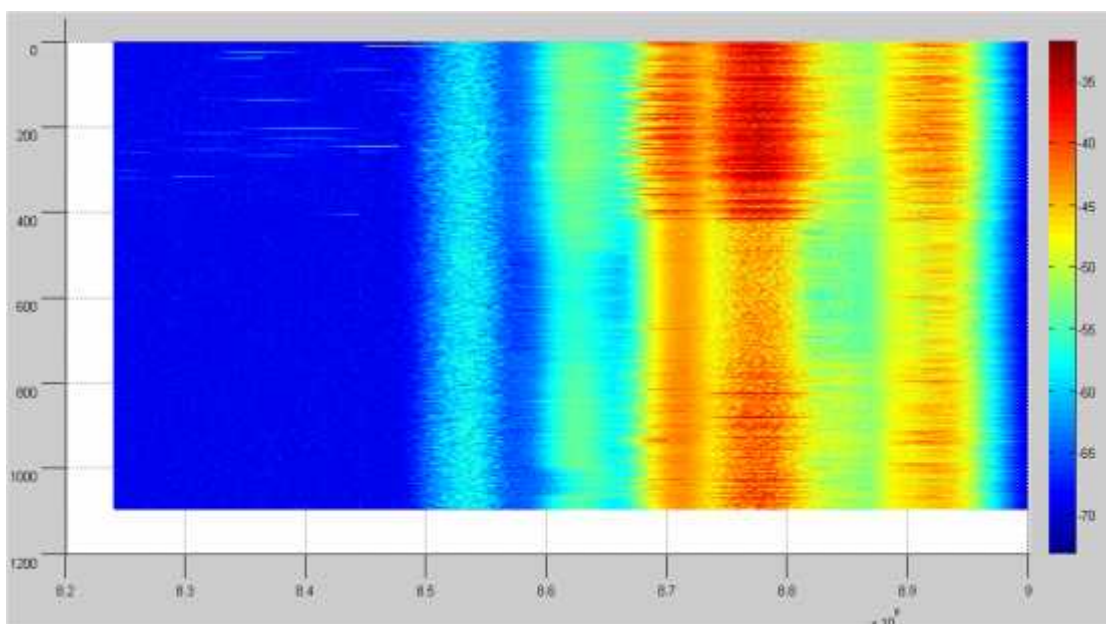


Figura4.35: Vista superior del séptimo día en el servicio celular

4.4. Subdivisión del servicio celular

La división en el tiempo junto con la preselección del servicio celular y frecuencias adyacentes es útil para un mejor análisis de los gráficos. Aquí se pueden analizar 4 zonas diferentes, la primera de 824 MHz a 849 MHz, donde funciona el servicio “Uplink” de telefonía celular. La segunda porción se la toma desde 849 MHz a 869 MHz, la cual es una banda de guarda para el servicio de telefonía celular. La tercera zona se la considera desde 869 MHz a 894 MHz, que se atribuye al servicio celular de “Downlink”. Y por último se tiene una banda de 6 MHz donde la señal regresa a una potencia a la altura del piso de ruido.

La primera zona es donde más se nota una diferencia en el tiempo, es notable que los primeros 6 días tienen un comportamiento semejante, ya que se observa una desocupación casi completa, excepto por ciertos casos puntuales, a diferencia del séptimo día donde existen varios levantamientos de la señal en especial en las últimas horas. Existe una explicación perfecta para esta forma de la señal, hay que tomar en cuenta la fecha y el lugar donde se tomaron los datos, y esencialmente se debe conocer que significa los levantamientos de la señal.

El servicio "Uplink" es donde las estaciones móviles, como celulares o laptops, emiten una señal a las estaciones bases o antenas, ya sea para iniciar llamadas o transferir datos. Son potencias bajas en comparación a su contraparte "Downlink". Se conoce que el periodo en el cual se hizo las mediciones comenzó el lunes 29 de diciembre y terminó el lunes 5 de enero, y también se sabe que la antena se encuentra en la FIEC, facultad de la ESPOL. Durante los 3 primeros días, de lunes a miércoles, hubo muy pocas personas dentro del campus las cuales eran parte del personal administrativo. Y durante los 6 primeros días no hubo actividad estudiantil en este sector por motivo de vacaciones. Simplemente el último lunes existió una asistencia normal de estudiantes a la universidad, es por esto que los gráficos representativos del séptimo día presentan una gran diferencia con los

demás. Al haber una gran cantidad de personas cerca de una estación base, las probabilidades de uso de cierta antena aumentan.

La segunda zona consiste en el espacio de 849 MHz a 869 MHz, como se mencionó antes, aquí no existe servicio celular, se lo usa para que la señal de subida y bajada de datos no interfieran entre sí. Pero existen otros servicios que se los indican en el PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS, aquí se ofrecen servicios internacionales de transmisiones de estaciones aeronáuticas desde 849 MHz a 851 MHz los cuales no muestran un aumento de la potencia. También se ofrecen servicios troncalizados desde 851 MHz a 869 MHz, es decir que se usan algunos pares de frecuencias para la comunicación entre los canales que estén disponibles [5]. Se puede pensar que estas frecuencias que tienen una potencia considerable simplemente son interferencias de la señal que se observa en la siguiente zona de análisis, pero se puede desmentir esta teoría con la ayuda de los coeficientes de correlación, primero entre las portadoras adyacentes y luego entre canales de picos adyacentes

Hay dos porciones ocupadas del espectro dentro de la segunda zona mencionada, la primera está entre las frecuencias 851 MHz y 856 MHz,

y la segunda está entre 860 MHz y 865 MHz aproximadamente, con sus picos máximos en su frecuencia central respectiva. La primera señal alta de la tercera zona también se necesita para estos cálculos, comienza en 869.2MHz y termina en 874.2 MHz. La TABLA 7 muestra los valores estimados, donde se puede ver que es poca la correlación entre estas partes ocupadas del espectro, y por lo tanto se determina que la interferencia entre ellos se desprecia.

TABLA 7: Correlación de las señales dentro de la zona 2 de análisis

	FRECUENCIAS CENTRALES		PORTADORAS	
	PICO CANAL ANTERIOR	PICO CANAL SIGUIENTE	PORTADORA ANTERIOR	PORTADORA SIGUIENTE
PRIMERA SEÑAL	No existe	0,0105720	No existe	0.2500084
SEGUNDA SEÑAL	0,0105720	0,0515118	0.2500084	0,2746727

El siguiente rango de frecuencias es de 869 MHz a 894 MHz, donde la telefonía celular vuelve a operar pero con el servicio de “Downlink”. Aquí se observa una ocupación del 100%, todas las potencias se encuentran por encima del piso de ruido, se llega a un máximo de -31dbm aproximadamente en uno de los tres picos que se puede distinguir y se tiene una potencia mínima de -66dbm aproximadamente. El servicio de

baja de datos tiene un diferente funcionamiento a su opuesto, las estaciones bases o antenas esperan una señal de activación de las estaciones móviles y luego emiten comienzan a transferir datos hacia estos. La espera es constante por lo que siempre están ocupados los canales.

Resaltan 3 portadoras en esta porción del espectro, las dos primeras pertenecientes a la operadora celular CONECEL S.A. o Claro, y la última a la operadora celular OTECEL S.A. o Movistar, La razón por la que la primera empresa posee dos portadoras diferentes, es porque son servicios diferentes, el primer grupo de canales es perteneciente a la tecnología GSM y el segundo grupo le corresponde a la tecnología UMTS, segunda generación y tercera generación respectivamente.

En las gráficas mostrando fragmentos del espectro cada 24 horas se nota que en los primeros 6 días que no existe actividad celular relevante en la banda de "Uplink", es decir que se realizaron pocas llamadas o transferencia de datos, igual la banda de "Downlink" tiene una potencia alta. La diferencia con el último día donde hay más actividad celular se lo percibe en los valores máximos alcanzados de potencia, donde el promedio aumenta en comparación con el resto.

La última porción del espectro analizado, entre 894 MHz a 900 MHz, ya no es parte del servicio celular, se nota que en esta parte las potencias disminuyen drásticamente desde valores muy altos hasta llegar nuevamente al piso de ruido. Y como se observó en la FIGURA 4.19, se mantiene constante a esta altura del piso de ruido por un gran espacio del espectro. Según el PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS existen servicios internacionales desde 894 MHz a 896 MHz de transmisiones de estaciones de aeronave, y al igual que en la segunda zona de análisis aquí también existen servicios troncalizados, entre 896 MHz y 898 MHz, pero no se muestra un levantamiento de la señal [5] en todo el tiempo por lo que se concluye que no está siendo usado.

4.5. Espacio mayormente ocupado

Después de observar el comportamiento de esta porción del espectro, se decide tomar una pequeña muestra que difiere del resto donde la ocupación sea mucho mayor. Las últimas 8 horas del último día analizado, que equivaldría en tiempo real al periodo que transcurre desde las 8:30 del lunes 5 de enero hasta las 16:30 del mismo día, y por lo tanto ya un día normal de asistencia a la universidad, es el indicado para un nuevo análisis y para hacer un modelo posteriormente.

En la FIGURA4.36 y FIGURA4.37 se muestran la ilustración tridimensional y la vista superior del mismo respectivamente.

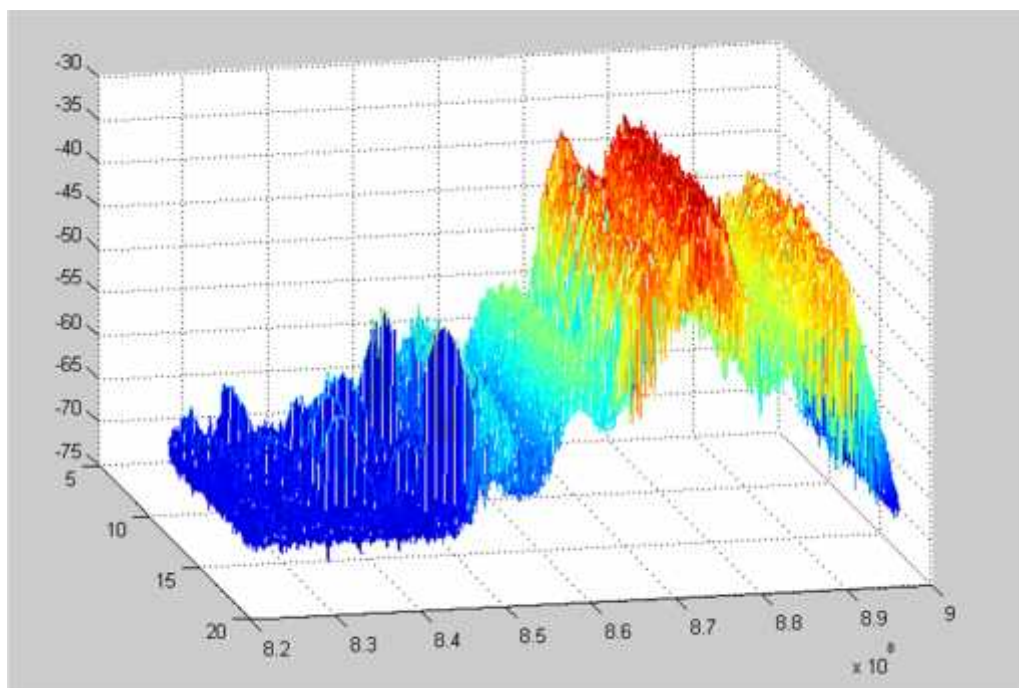


Figura4.36: Gráfica tridimensional del servicio celular en el tiempo mayormente ocupado

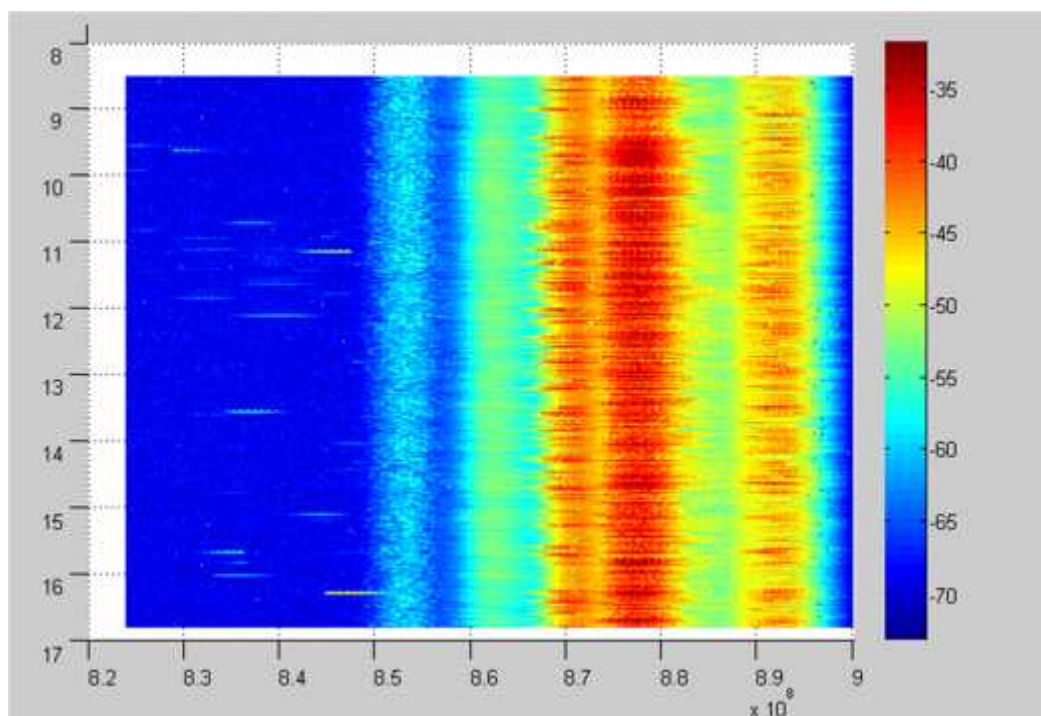


Figura4.37: Vista superior del servicio celular en el tiempo mayormente ocupado.

4.6. Porcentajes de ocupación

Para obtener un modelo se necesita los porcentajes de ocupación; en las gráficas con vista superior del espectro se encuentra a la derecha una barra de color que ayuda a visualizar la potencia de los datos desde el piso de ruido hasta el nivel máximo. Esta información no es de gran utilidad al momento de determinar cuál proporción del espectro se encuentra ocupado, por lo que se decide establecer un umbral que indique si un canal se encuentra vacío o no.

El umbral que se va a usar es -64dbm, este valor se encuentra ligeramente por encima de toda la variación del piso de ruido por lo que cualquier frecuencia que se encuentre encima de esta, se la considera ocupada. Ya que se va a querer usar las frecuencias no ocupadas para nuevos servicios, lo más razonable es considerar como interferencia a cualquier canal que muestre una potencia por encima del piso de ruido.

4.6.1. Espectro total

Teniendo el valor de umbral fijado, se pueden elaborar nuevas gráficas, mostrando simplemente los canales ocupados en todo un lapso de tiempo. En la FIGURA4.38 se presenta la disposición de las frecuencias consideradas como ocupadas en todo el espectro original (698 MHz – 960 MHz) durante el tiempo completo de las mediciones.

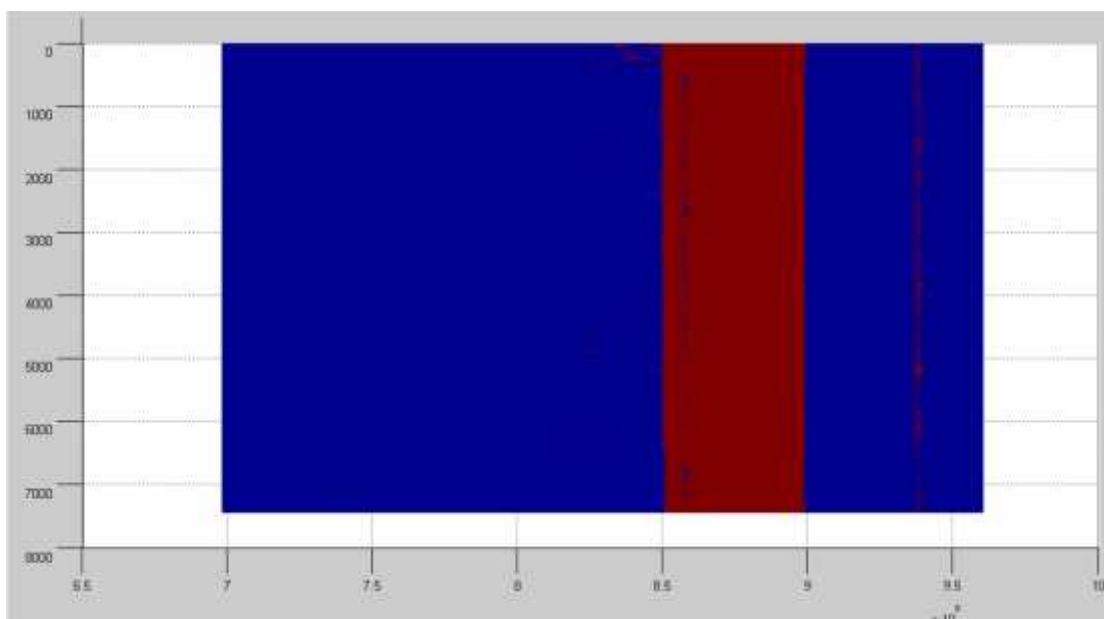


Figura 4.38: Porcentaje de ocupación del espectro total durante el tiempo completo

Debido a la gran magnitud de los datos, no es posible visualizar correctamente las frecuencias que se encuentran ocupadas, por lo tanto se decide hacer el mismo análisis que conlleva a la preselección del servicio celular, para una observación enfocada de la porción del espectro con mayor uso.

4.6.2. División por día

Se divide diariamente para reducir aún más la cantidad de datos por imagen, ya en esta forma se puede observar más claramente la parte del espectro que está ocupada. Simplemente comprendiendo las gráficas con la vista superior, ya se puede

intuir el comportamiento de las gráficas de porcentaje de ocupación, es por esta razón que se conoce que los primeros seis días tendrán ilustraciones parecidas, esto se lo comprueba en la FIGURA4.39.

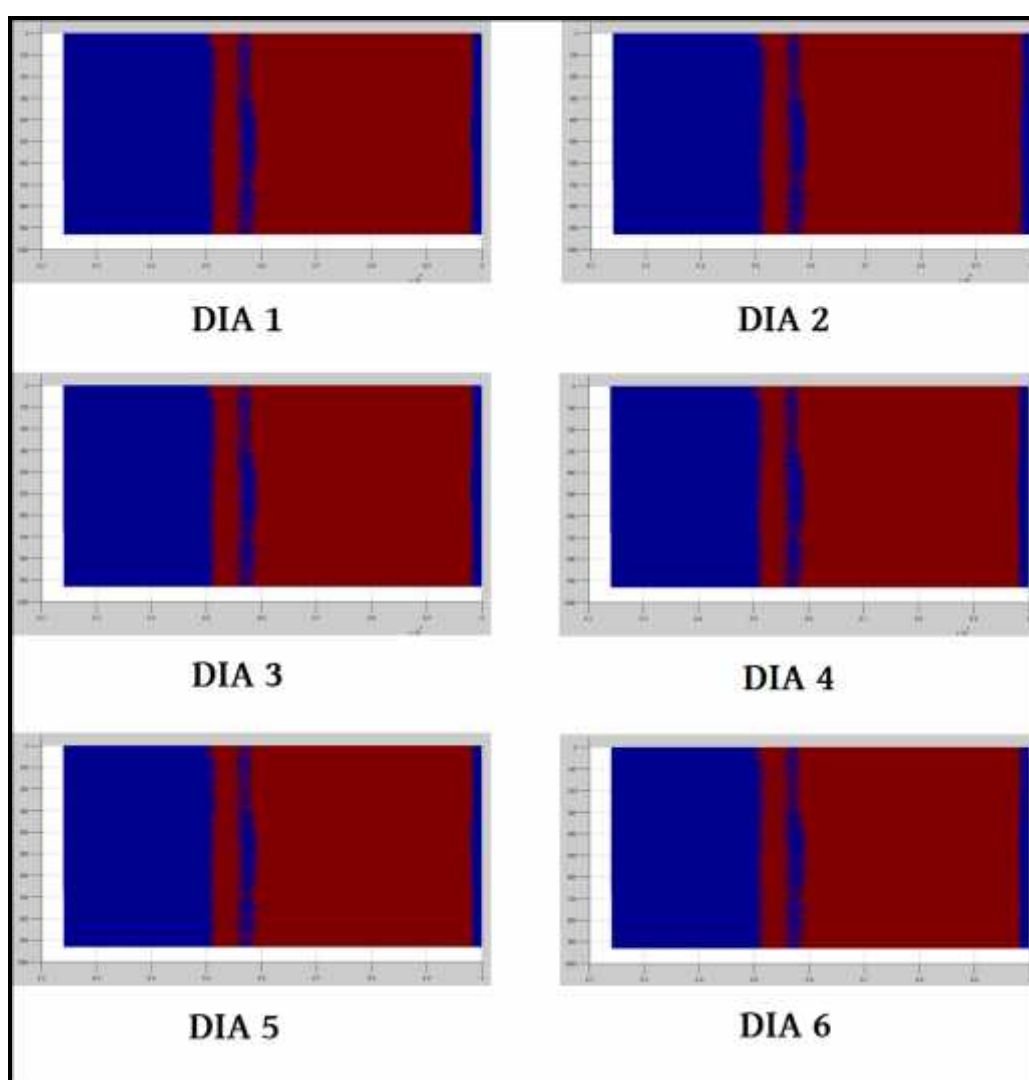


Figura4.39: Semejanza del porcentaje de ocupación de los primeros 6 días

4.6.3. Espacio mayormente ocupado

El séptimo día se demostró que es diferente, más que nada debido a aspectos relacionados con la fecha y la hora en la que se hicieron las mediciones. Como se realizó anteriormente, se escoge las 8 horas con mayor uso que se distinguen del resto del tiempo y se elabora su respectiva gráfica del porcentaje de ocupación, en la FIGURA4.40 se muestra.

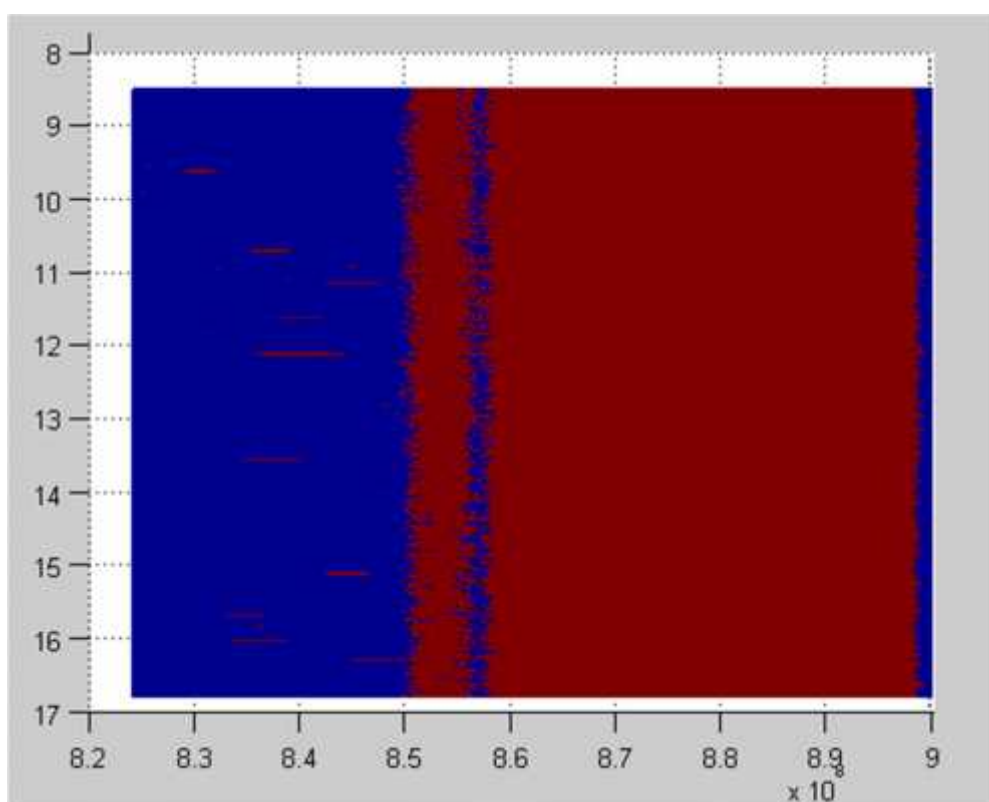


Figura4.40: Porcentaje de ocupación del servicio celular en el tiempo mayormente ocupado

El porcentaje de ocupación hasta ahora se lo muestra visualmente, por lo cual se deben mostrar los valores exactos de estos. Se nota que para todos los gráficos la banda de “Downlink” se mantiene similar, mientras que la banda “Uplink” es en la que se perciben ciertos cambios relacionados a la ocupación de los canales. La banda de separación entre estos canales de comunicación y la última porción del espectro analizado también permanecen con un comportamiento casi idéntico. En la Tabla 8 se muestran los valores de porcentajes de ocupación junto con sus potencias promedio.

TABLA 8: Valores de porcentajes de ocupación y potencias promedio en banda del servicio celular

MUESTRA	PORCENTAJE DE OCUPACIÓN				POTENCIAS PROMEDIO			
	824MHz-849MHz	849MHz-869MHz	869MHz-894MHz	894MHz-900MHz	824MHz-849MHz	849MHz-869MHz	869MHz-894MHz	894MHz-900MHz
DIA 1	0,00086%	72,45080%	99,99743%	66,03089%	-69,5031	-60,5674	-48,7412	-59,8563
DIA 2	0,00447%	80,31762%	99,99852%	69,20783%	-69,2223	-59,4846	-48,0343	-59,1256
DIA 3	0,02844%	78,82190%	99,99852%	70,01559%	-69,2321	-59,7745	-47,6677	-58,8543
DIA 4	0,01480%	77,53857%	99,99633%	69,14585%	-69,2339	-60,0306	-48,1774	-59,1036
DIA 5	0,02225%	76,31178%	99,99660%	69,20143%	-69,2294	-60,2220	-48,0040	-59,0778
DIA 6	0,00368%	78,80088%	99,99927%	69,71507%	-69,2317	-59,7521	-47,6899	-58,9584
DIA 7	0,19396%	79,19451%	99,99927%	70,27142%	-69,1619	-59,5054	-47,0698	-58,7656
MAYOR OCUPACION	0,53684%	81,82350%	100%	71,98246%	-69,0177	-58,7329	-45,3145	-58,2578

CAPÍTULO 5

5.MODELACIÓN

5.1.Generalidades del modelado

Un modelo es una representación de la realidad, en algunos no es necesario considerar todos los puntos de un análisis, ya que se pueden obviar debida a la falta de importancia al momento de su desarrollo. De esta forma se logra una simplificación de ella y posibles predicciones a futuro [46]. Existen diferentes clasificaciones que nos permite modelar, encontramos:

Modelos Determinísticos: Son modelos en los cuales se conocerá el comportamiento de las salidas únicamente sabiendo el valor de su entrada. [47]

Modelos estocásticos o probabilístico: Son modelos que se puede obtener diferentes estados de salida a partir de una misma entrada de manera aleatoria. [48]

Modelos discretos: Son modelos de probabilidad de variable discreta, tomando un rango de números observables sucesivos, es decir una variable cada cierto tiempo. [46]

5.2. Línea de espera

Una línea de espera es la consecuencia de un servicio que produce mayor demanda de la capacidad que puede ofrecer. se lo denomina de esta forma por las filas de espera de un banco ya que este evento es un sistema similar para describir los modelos con procesos estocásticos. En la FIGURA 5.41 se puede observar que las variables que se toman en cuenta, tales como números de entradas, números de salidas, numero máximos permitidos en el sistema, entre otros, son las necesarias para la elaboración de dicho modelo.[46]

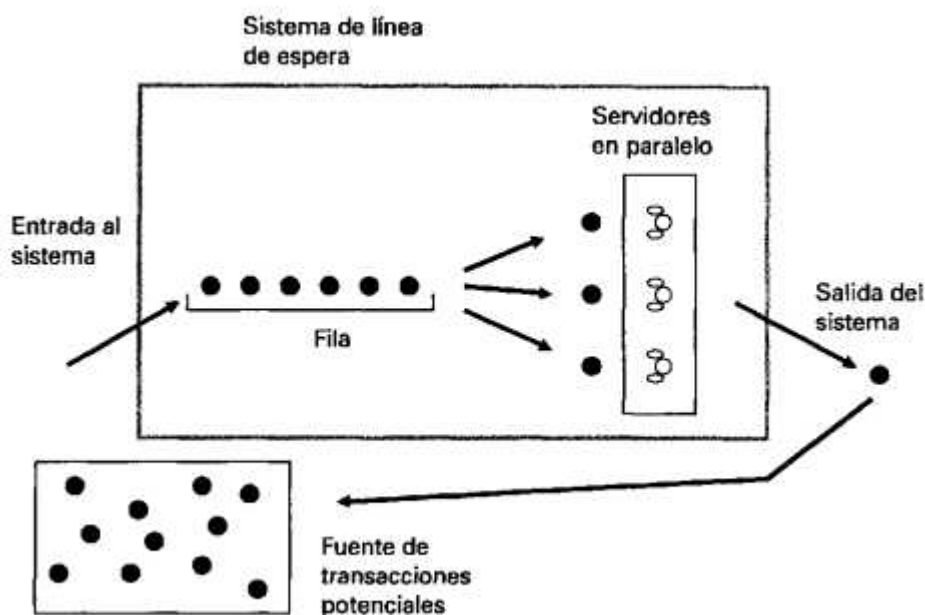


Figura5.41: Estructura de un sistema de línea de espera

5.3. Procesos markovianos

Los procesos de Markov son modelos probabilístico que utilizan la modelación de una línea de espera, estas son usadas para pronosticar la evolución de un sistema a largo plazo dependiendo únicamente del suceso inmediato anterior, sin importar el estado en que se halle. A todo este conjunto que se lo conoce como las probabilidades de transición en un paso solo depende del estado del sistema anterior, siendo estas estacionarias, es decir que no cambia con el tiempo. Como se observar en la siguiente representación matricial de una línea de espera, donde los índices de la primera columna representan el estado actual del

$$P_j = \sum_{i=0}^N P_i \varphi_{ij} \quad (5.8)$$

$$\sum_{j=0}^N p_j = 1$$

Formando un sistema de ecuaciones con $N + 1$ incógnitas, $N + 1$ ecuaciones independientes y una ecuación redundante que debe ser eliminada. [46]

$$P_0 \approx \rho_{00}P_0 + \rho_{10}P_1 + \rho_{20}P_2 + \dots + \rho_{N0}P_N$$

$$P_1 \approx \rho_{01}P_0 + \rho_{11}P_1 + \rho_{21}P_2 + \dots + \rho_{N1}P_N$$

$$P_2 \approx \rho_{02}P_0 + \rho_{12}P_1 + \rho_{22}P_2 + \dots + \rho_{N2}P_N$$

$$P_N \approx \rho_{0N}P_0 + \rho_{1N}P_1 + \rho_{2N}P_2 + \dots + \rho_{NN}P_N$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_N = 1$$

La solución de este sistema de ecuaciones origina los valores de las probabilidades estacionarias independientes del estado en que se encuentre el sistema inicialmente; así pues, estas probabilidades se representan conforme a la matriz siguiente [46]:

Estado futuro

0 1 2 ... N

$$\text{Estado actual} \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ \vdots \\ N \end{matrix} \begin{bmatrix} \rho_0 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_N \\ \rho_0 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_N \\ \rho_0 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_N \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \rho_0 & \rho_1 & \rho_2 & \dots & \rho_N \end{bmatrix}$$

Una vez calculadas las probabilidades de estado estacionario, la solución del modelo markoviano de líneas de espera se obtiene utilizando las ecuaciones generales mencionadas anteriormente.

[46]

5.4. Análisis del modelo

En el capítulo anterior se mostró el comportamiento de una porción del espectro, se analizó exclusivamente el servicio celular donde se encontraban mayormente ocupadas las frecuencias. Al seguir dividiendo, en anchos de banda reducidos, se mostró una diferencia enorme en los porcentajes de ocupación, mientras que la banda "Uplink" (824 MHz – 849MHz) se mostraba vacía excepto por ciertas frecuencias en escasos momentos, la banda "Downlink" se encontraba en todo el tiempo por encima del umbral. Claramente no se puede utilizar el mismo modelo para ambos rangos de canales, por lo que se decide trabajar por separado en su respectivo modelado.

Además hay que tomar en cuenta un factor muy importante, los modelos también van a depender del tiempo. Debido a que el lugar donde se hizo la práctica es dentro de una universidad, las conclusiones cuando se analizan las horas en donde exista un entorno concurrido, como en el horario normal de asistencia a clases, van a ser diferentes en los momentos donde haya un menor flujo de personas, como en las últimas horas de la noche y primeras horas del día.

El modelo que va a cambiar cuando se toma el horario como un factor, va a ser simplemente el analizado en la banda "Uplink", ya que como se mencionó anteriormente, la banda "Downlink" mantiene una ocupación constante durante el tiempo completo, por lo tanto el modelado en esta porción del espectro va a ser el mismo.

5.4.1. Banda Downlink

Esta parte del espectro es sencilla de analizar, como se ve en la FIGURA5.42, el porcentaje de ocupación es del 100% en esta banda señalada, analizándolo minuciosamente se descubre un insignificante número de datos aberrantes que no importarán en el modelado de esta banda, y por lo tanto el modelo con lo que se va a representar es uno de los más sencillos.

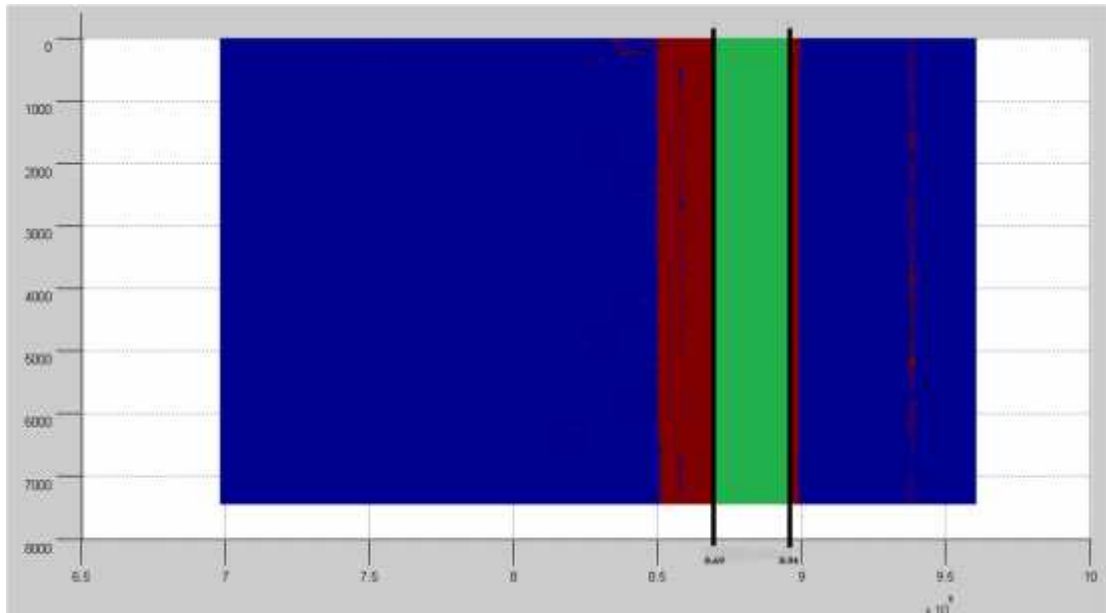


Figura5.42: Ocupación de banda DOWNLINK durante el tiempo completo

Conociendo que la probabilidad de escoger cualquier punto es la misma, del 100%, no se necesita un análisis complejo para determinar el modelo, no existen variables de entrada ya que no hay una variación de los datos, y las salidas serían el tiempo y la frecuencia. También se puede decir que aunque los datos se tomaron de forma discreta, debido a la constante emisión de la señal, el modelo se puede representar con una función continua.

La frecuencia está representada con la letra “f” y el tiempo con la letra “t”, la fórmula quedaría igual a:

$$P(f,t) = 1 ; \quad 869.2\text{MHz} \leq f \leq 394 \text{ MHz} \quad (5.9)$$

5.4.2. Banda Uplink

Esta porción del espectro necesita un análisis mucho más complejo, la poca ocupación que tiene se la debe representar en un modelo. Como se mencionó anteriormente el tiempo es un factor importante por lo cual se va a dividir en dos horarios diferentes. El primero se lo hará cuando exista una asistencia normal a clases, es decir que se acoplará para las el lapso de tiempo que se comprende entre las 7 am y 20 pm, de lunes a viernes. El cambio el segundo se asemejará al comportamiento en casos opuestos, es decir horarios donde no haya asistencia a clases, como el tiempo que transcurre entre las 22pm y las 6am o días festivos.

De lunes a viernes, entre las 7 de la mañana y las 8 de la noche se considera un horario de asistencia normal a clases.

Relacionado con las mediciones que se obtuvo con el analizador de espectro, la última sección de 8 horas es la que se asemeja a este comportamiento, pero no completa las 13 horas de inicio a fin para el modelo, por lo que para la creación de éste se añadieron las 5 horas centrales de los datos a las 8 horas iniciales para obtener una cantidad de tiempo idéntica.

Las cadenas de Markov generan una matriz de probabilidad a partir de los datos obtenidos y cada instante de tiempo depende estrictamente de los datos en el instante anterior, esto se muestra representado en la fórmula 5.5. Este modelo no se puede aplicar a este servicio porque debido a su comportamiento, la probabilidad va a depender del tiempo y cambiaría a cada instante. Por lo que se usa una derivación del modelo de Markov, donde el tiempo se muestre como variable de otra forma y no directamente junto a la probabilidad.

Primero se va a realizar el modelo con las cadenas de Markov y luego se van a hacer los cambios para llegar a nuestro modelo. El vector de probabilidades de estado inicial, representado con el término " V ", es parte de las cadenas de Markov, este dato se lo

va a usar también para el nuevo modelo. Sabiendo cuantos estados se requiere, y qué representan estos estados, se puede determinar fácilmente estos valores iniciales. El estado 0 inicialmente significará la probabilidad de que un canal se encuentre desocupado, mientras que el estado 1 representará lo contrario, la probabilidad de que un canal se encuentre ocupado. En la Tabla 9 se muestran estos valores.

TABLA 9: Valores del vector de probabilidades de estado inicial de la banda "Uplink" en un horario normal

	ESTADO 0	ESTADO 1
BANDA UPLINK	0,99463158	0,00536842

Se tiene entonces el **Vector** de probabilidades de estado inicial:

$$v^0 = (0.99463 \quad 0.00547)$$

Conociendo que simplemente se usarán dos estados de variable, también se puede estimar que el modelo de Markov será como se muestra en la FIGURA5.43, donde existe una probabilidad para pasar de un estado a otro.

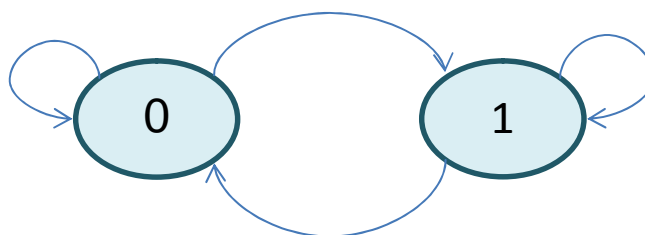


Figura 5.43: Modelo de Markov inicial de ocupación en la banda “Uplink” en un horario normal

La matriz de probabilidad es el factor más importante para este tipo de modelo, aquí se establece la probabilidad que existe entre cada cambio de estado, es decir que se tendrá una matriz cuadrada, siendo el número de filas y columnas igual al número de estados. La forma correcta de determinar cada uno de los valores es estimando la probabilidad de transición, dado que se encuentra en dicho estado. En la Tabla 10 se muestran los valores de la matriz de probabilidad si el modelo fuera como se muestra en la figura anterior.

TABLA 10: Valores de la matriz de probabilidad con Modelo de Markov Inicial

	A 0	A 1
DE 0	0,9946	0,0054
DE 1	1	0

Se tiene entonces la **matriz de probabilidades**:

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} 0.9946 & 0.0054 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Entonces ya teniendo la matriz de probabilidad y el vector de probabilidades de estado inicial, el estado siguiente se podría conocer simplemente multiplicando ambos factores. De hecho, como se muestra en la fórmula 5.10, cualquier valor en cualquier instante, o ' $\vec{V}(n)$ ' se podría conocer simplemente con estos dos datos ya determinados.

$$\vec{V}(n) = \vec{V}(0)\bar{P}^n \quad (5.10)$$

$$\vec{V}(1) = \vec{V}(0)\bar{P}$$

$$\vec{V}(2) = \vec{V}(1)\bar{P} = (\vec{V}(0)\bar{P})\bar{P} = \vec{V}(0)\bar{P}^2$$

Esta parte del modelo es la que no concuerda con nuestro sistema, ya que de acuerdo a la fórmula anterior, la probabilidad de que una frecuencia pase de estar desocupada a estar ocupada va a ir decreciendo conforme pase el tiempo, en nuestro

sistema esto significaría que la probabilidad de que se comience a realizar una llamada o transferencia de datos en una hora, va a ser mayor que la probabilidad de que ocurra este suceso en la siguiente hora, lo cual es incoherente.

En el modelo que represente la banda "UPLINK" el tiempo no puede estar representado de esta forma, por lo que se decide hacer una modificación al modelo de Markov para una correcta correspondencia.

Se considera un modelo donde la variable del tiempo esté relacionada con el número de veces que se encuentre ocupado un canal, en otras palabras, cuando el tiempo aumenta, la probabilidad de que un canal se vuelva a ocupar también aumenta. En este modelo se va a tomar en cuenta el número de veces que se ocupa un canal en cualquier instante, por lo tanto el número de estados también se incrementaría, quedando de la forma:

- Estado 0: Probabilidad de que el canal se encuentre desocupado.

- Estado 1: Probabilidad de que el canal se ocupe por primera vez.
- Estado 2: Probabilidad de que el canal se ocupe por segunda vez.
- Estado 3: Probabilidad de que el canal se ocupe por tercera vez.
- Estado 4: ...

Como se determinó anteriormente, para el modelado se analiza una matriz de datos que se asemeje al comportamiento en las 13 horas de asistencia normal, con la matriz obtenida se determina primeramente el número de estados que se necesita. Ya que el canal con mayor veces que se mostró ocupado llegó a un valor máximo de 10, el número de estados sería igual a 11 ya que se aumenta el Estado 0.

Con el número de estados ya definido se puede determinar fácilmente el vector de probabilidades de estado inicial, la probabilidad de que el canal se encuentre desocupado va a seguir siendo igual al Estado 0 del modelo de Markov anterior, y su Estado 1 va a ser la misma que la probabilidad de que se ocupe por primera vez el canal. Mientras que el resto de valores

del vector permanecerán en 0. Este factor se muestra a continuación:

$$v^0 = (0.99463 \quad 0.00547 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0)$$

La matriz de probabilidades tendrá 11 filas y 11 columnas, esta matriz de transición será un factor que, a diferencia del modelo de Markov original, no se multiplicará por cada nuevo instante. La primera fila es la más importante, donde inicialmente el canal se encuentra desocupado, y se tiene que calcular la probabilidad de que siga desocupado, luego la probabilidad de que el canal se ocupe por primera vez, después la probabilidad de que se ocupe por una segunda vez, y así sucesivamente hasta llegar al último estado que equivaldría al máximo número de veces que una frecuencia mostró una señal por encima del umbral.

Los siguientes datos de la matriz de probabilidades se establecen de forma más sencilla, estos se refieren a la probabilidad de que, estando desde un canal ocupado, se llegue a un canal desocupado o se llegué nuevamente a un canal

ocupado. El análisis se simplifica al momento de ver que en toda la banda, durante todo el tiempo, nunca se hizo uso del mismo canal en instantes consecutivos. Con esta información se determina la matriz de probabilidades:

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} 0.99460 & 0.00130 & 0.00104 & 0.00086 & 0.00075 & 0.00056 & 0.00046 & 0.00026 & 0.00013 & 0.00010 & 0.00001 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Finalmente, el modelo que se tiene para esta banda, en todo momento, se muestra a continuación en la FIGURA 5.44:

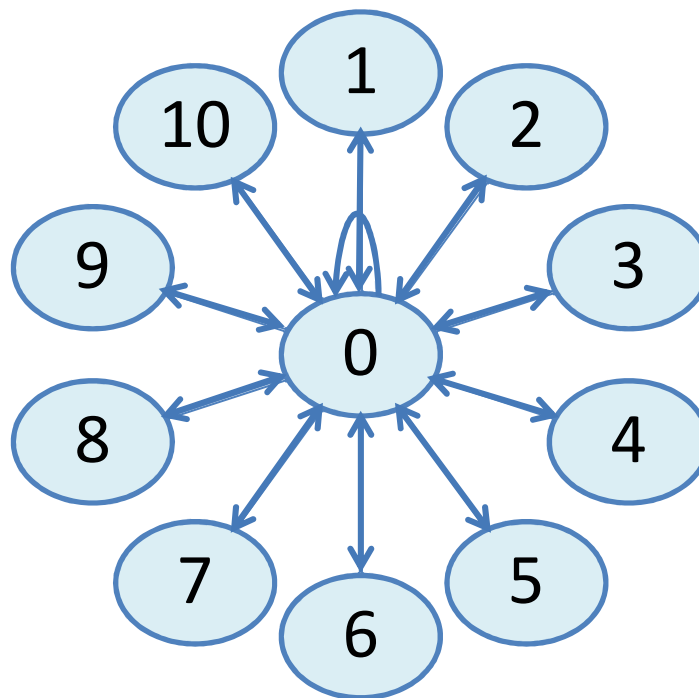


Figura 5.44: Modelo para banda "Uplink" en horario normal

También, el número de estados se podría estimar con una función lineal, dependiendo únicamente del número de horas que se quiere tomar en cuenta. A partir de los datos iniciales se obtuvo que en las últimas 4 horas se llegó a tener en algunos canales, un valor máximo de 3 instantes en donde se mostró ocupado, y cuando se realizó el mismo conteo escogiendo como base de datos las últimas 8 horas, se consiguió un valor máximo de 6 puntos ocupados. Por esta razón se podría decir que:

$$N_V = \frac{3}{4}N_H + 1 \quad (5.11)$$

Donde " N_V " es el número de variables para el modelo, y " N_H " es el número de horas que se van a analizar. La suma al final de la fórmula es el Estado 0, o la probabilidad de que un canal siga desocupado, que se debe tomar en cuenta siempre para este tipo de modelos.

La probabilidad final para este caso específico de 13 horas de diferencia, sería la multiplicación del vector de probabilidades de estado inicial por la matriz de probabilidades. A continuación se muestra el resultado.

$$V_H = (0.9946 \quad 0.0013 \quad 0.0010 \quad 0.0009 \quad 0.0008 \quad 0.0006 \quad 0.0005 \quad 0.0003 \quad 0.0001 \quad 0.0001 \quad 0.0000)$$

El análisis de la banda en un horario con menor flujo de personas es igual al anterior, simplemente los datos cambian, ahora se verá un índice mayor de desocupación, lo que significa que hubo un menor número de llamadas o transferencia de datos en total, y por canal. Por consiguiente, el número de estados va a ser considerablemente menor.

La base de datos que se va a tomar corresponde al día con mayor ocupación, tomado de los 6 primeros días donde el espectro se encontraba prácticamente desocupado. El vector de probabilidades de estado inicial para este caso es:

$$V^0 = (0.9997948 \quad 0.0002052)$$

Conociendo que el valor máximo de veces que se ocupó un canal es simplemente uno, entonces se determina que solo se necesitan dos estados diferentes, y por lo tanto el modelo para este horario quedaría como se muestra en la FIGURA 5.45.

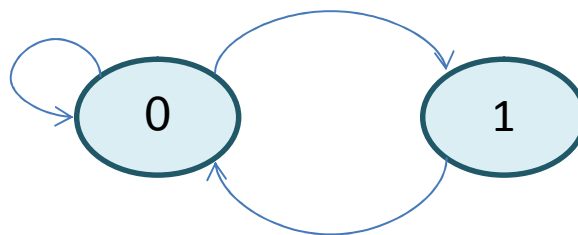


Figura 5.45: Modelo de la banda “Uplink” en horario inactivo

La matriz de probabilidad para este caso tendría 2 filas y 2 columnas. Al igual que en el caso anterior, la fila superior contiene las probabilidades de transición desde un canal desocupado, y la siguiente fila se lo completa con la unidad en la primera columna, y cero en la o las siguientes. Este factor se muestra a continuación.

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} 0.9997947 & 0.0002053 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Entre la primera fila de la matriz de probabilidad y el vector de probabilidades de estado inicial existe una semejanza hasta el sexto decimal en los valores debido a la gran desproporción entre los canales ocupados y desocupados de la banda.

También se puede determinar una función en la que se determine el número de estados en relación al número de horas que se va a analizar, así como en el caso anterior, tomando los 6 días con poco uso, se obtuvo un valor máximo de 3 ocasiones donde se mostró ocupado el canal, por lo tanto:

$$N_V = \frac{3}{6} N_D + 1$$

$$N_V = \frac{1}{48} N_H + 1$$

Donde, así mismo, " N_V " es el número de variables para el modelo, " N_H " es el número de horas que se van a analizar y " N_D " es el número de días que se van a analizar. Nuevamente se suma una unidad a la fórmula debido al Estado 0.

La matriz final quedará de la siguiente forma:

$$V_R = (0.9997947 \quad 0.0002053)$$

CONCLUSIONES

1. En el rango de frecuencias asignado (698 a 960 MHz) se realizó la investigación adecuada, y se pudo obtener los diferentes servicios que se ofrecen. En la porción del espectro que comienza en 698 MHz y termina en 806 MHz se puede encontrar servicios de televisión analógica que no están siendo usados.
2. Los servicios troncalizados pertenecen a esta banda, existen cinco rangos de este servicio y todos se encuentran entre los 698 MHz y 960MHz. Estas cinco porciones del espectro, que se localizan exactamente en las frecuencias 806 – 824 MHz, 851 – 869 MHz, 896 – 898 MHz, 932 – 934 MHz y 935 – 937 MHz.

3. El servicio de telefonía celular es el más predominante en el espectro asignado. Posee dos bandas de 25 MHz de frecuencia las cuales van desde 824 a 849 MHz y de 869 a 894 MHz que representan las conexiones de bajada “Downlink” y de subida “Uplink” respectivamente.

4. Ya con los datos obtenidos y con la correcta configuración del analizador de espectro y del software INTUILINK, al exportar los datos al programa Matlab se pudo elaborar distintas gráficas para diferentes muestras dividiendo al espectro en tiempos y frecuencias menores, para así poder observar su comportamiento. Con ajustes de los datos iniciales se puede obtener de igual forma gráficas que muestran el porcentaje de ocupación y por consiguiente una visualización de su eficiencia.

5. A través del análisis realizado en el rango de frecuencia asignado, se pudo establecer tres modelos que representan el comportamiento de ciertos fragmentos del espectro en cualquier instante durante un periodo de tiempo, permitiendo predecir el porcentaje de ocupación en el servicio

de telefonía celular, el cual es el servicio predominante de esta banda. Mediante los gráficos y el modelo se pudo determinar que la banda “Downlink” se encuentra ocupada en su totalidad. Esta saturación no permite incorporar nuevos servicios en estos canales (869MHz – 894 MHz).

6. La banda “Uplink” se la dividió en dos modelos diferentes que depende del horario de análisis. El primer modelo se lo representó para un periodo con un gran flujo de personas, como es el caso de un horario normal de asistencia a clases, mientras que el segundo modelo se lo ajusta para un escenario con escasez de personas. Aunque la diferencia de canales ocupados entre ambos sea considerable, para los dos casos se podrían presentar inconvenientes con la incorporación de nuevos servicios debido a la aleatoriedad del comportamiento.

7. En los rangos de frecuencia de servicios troncalizados, nombrados anteriormente, solo el primer grupo permanece constantemente con un nivel mínimo de potencia, mientras que las porciones de espectro restantes pasan ocupados la mayor parte del tiempo, esto se lo puede observar mediante las gráficas mostradas en el capítulo 4.

8. En Ecuador en el año 2018 se encuentra previsto el apagón completo de la televisión analógica, quedando libre la banda 700 MHz en el rango 698 MHz a 806 MHz, en la cual el estado incorporará la tecnología LTE. De los modelos previstos, la opción 1 de Estados Unidos y la opción 2 de APT (Asia Pacific Telecommunity), se escogió el segundo por ser el que mejor se ajusta a las necesidades del país. Este tiene dos bloques de 50 MHz, "Downlink" y "Uplink" con una banda central de 8Mhz entre ellos y con tecnología FDD.

RECOMENDACIONES

1. Los modelos realizados ayudaron a determinar que sería inconveniente incorporar nuevos servicios por la saturación y por la aleatoriedad de ocupación de canales en las bandas “Downlink” y “Uplink” respectivamente. La mayoría de los servicios troncalizados también presentan un problema similar por lo cual se llega a la misma sugerencia de no interrumpir servicios actuales.
2. Con la ayuda de las gráficas se puede observar que existen pocos rangos de frecuencia donde el porcentaje de ocupación es mínimo, y que a diferencia de la banda “Uplink” de la telefonía móvil, no habría inconvenientes para incorporar nuevos servicios. Los rangos

mencionados son de 806 a 824MHz donde se ofrecen servicios troncalizados y de 898 a 932 MHz junto con el rango de 937 a 960MHz donde se brinda servicios fijos y móviles que están asignados pero no se encuentran utilizados. Se conoce que los servicios de radiofrecuencia son los óptimos para esta banda, además hay que considerar que el sector de estudio es una universidad, por lo que se propone usar una vieja tecnología pero con nuevos usos, como la implementación de un método que permita transmitir remotamente la identidad de un objeto a través de ondas de radio, en este caso nos podríamos referir a los libros de una biblioteca, en el cual cada libro tendrían una especie de chip que contiene la información de cada uno y este emitirá una señal que es enviada a un receptor y se encuentra asociada a una base de datos, esto se lo logra a través de la tecnología RFID, la cual también es utilizada por los gobiernos en aplicaciones civiles y militares, para control de productos en supermercados o en industria de automatización que permite la supervisión de todas las etapas del proceso productivo. Las ventajas que ofrece es que permite almacenar una gran información en pequeñas etiquetas, también se puede actualizar la información en tiempo real, leerla de manera remota, y conocer inmediatamente su ubicación.

BIBLIOGRAFÍA

[1] ANEA, Cuadro Nacional de atribución de bandas de frecuencia, fecha de publicación 2014.

[2] CONATEL, Notas al cuadro de atribución de de bandas de frecuencia, http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf, fecha de publicación 2012.

[3] Organización de los Estados Americanos, Informe sobre los planes de Implementación en las Américas de las bandas identificadas para las IMT en el reglamento de radiocomunicaciones de la UIT, fecha de publicación abril 2013

[4] Regulación de Telecomunicaciones Ecuador, Migración a la TDT permite liberar Bandas de Frecuencia, <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/migracion-a-la-tdt-permite-liberar-bandas-de-frecuencia/>, fecha de publicación junio 2014

[5] Regulación de Telecomunicaciones Ecuador, Plan Nacional de Frecuencia y del Uso del Espectro Radioelétrico, http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf, fecha de publicación 2012

[6] Diario de un Radioaficionado, Frecuencias Libres para VHF y UHF <https://radioaficionado.wordpress.com/2008/07/12/frecuencias-libres-en-mexico-para-vhf/>, fecha de publicación julio 2008

[6] Regulación de Telecomunicaciones Ecuador, Migración a la TDT permite liberar Bandas de Frecuencia,

<http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/migracion-a-la-tdt-permite-liberar-bandas-de-frecuencia/>, fecha de publicación junio 2014

[7] Filián Navárez Marcelo Ricardo, Sistema Automático para el control del Espectro Radioeléctrico (SACER), 2013

[8] Hewitt Paul G., Física Conceptual, Pearson Adisson Wesley, novena edición, 2004

[9] Imperial College London, <http://www.scampstudy.org/the-science/>, fecha de consulta noviembre 2014

[10] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Reglamento de radiocomunicaciones, art. 1, Términos y definiciones, Sección 1, 1.5, «Ondas radioeléctricas u ondas hertzianas», Ginebra, Unión Internacional de Telecomunicaciones, fecha de publicación 2001.

[11] Wikitel, Región UITT, <http://wikitel.info/wiki/Regi%C3%B3n UIT>, fecha de consulta noviembre 2014.

[12] Ministerio de Educación Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario, ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS y ÓPTICA FÍSICA, [http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/basicas/fisica2/\(3\)_ONDAS ELLECTROMAGNETICAS Compendio.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/basicas/fisica2/(3)_ONDAS_ELLECTROMAGNETICAS_Compendio.pdf), fecha de consulta diciembre 2014

[13] Francisco Martínez Navarro - Juan Carlos Turégano, Ciencias para el mundo contemporáneo, http://www3.gobiernodecanarias.org/aciisi/cienciasmc/web/pdf/u9_la_revolucion_digital.pdf, fecha de consulta diciembre 2014

[14]Ulaby T. Fawwaz, Fundamentos de aplicaciones en electromagnetismo, Prentice Hall Quinta edición, 2007

- [15] Intef, Las capas de la atmósfera, <http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/1esobiologia/1quincena5/carpeta/capas.htm>, fecha de consulta, noviembre 2014
- [16] Indotel, Manual de radioaficionado, Categoría técnico, fecha de consulta diciembre 2014
- [17] Llanos Alonso, Gestión del espectro radioeléctrico en el Ecuador, Corporación Nacional editora, 2013
- [18] Instituto tecnológico de Buenos Aires, Introducción a las Telecomunicaciones, <http://www.dednet.net/institucion/itba/cursos/000183/demo/unidad01/Modulo1GestTelec14oct03.pdf>, fecha de consulta diciembre 2014
- [19] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Recomendación UIT-R SM.1047, https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/sm/R-REC-SM.1047-1-200107-S!!MSW-S.doc, fecha de publicación 2001
- [20] Lba group, Espectro electromagnético, <https://www.lbagroup.com/blog/why-is-the-us-strip-mining-radio-spectrum/>, fecha de consulta Diciembre 2014
- [21] Conatel, Rango de frecuencia, <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/consulta-plan-nacional-de-frecuencias/>, fecha de consulta noviembre 2014
- [22] Rappaport Theodore S, Wireless Communications Principles and Practice, Prentice Hall 2nd Edition, 2001
- [23] IEE, IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas Std 145-1983 Revision of

ANSI/IEEE Std 145-1973, fecha de publicacion1983

[24] Subtel, Glosario de Telecomunicaciones, www.subtel.gob.cl/2013-09-12-19-32-05/2013-09-12-19-32-45, fecha de consulta diciembre 2014

[25] Murguet Roberto, El acceso radio celular las comunicaciones móviles módulo 1: comunicaciones móviles, gsm, gprs y edge, www.uazuay.edu.ec/bibliotecas/moviles/moviles_modulo_1_v1_3.ppt, enero 2004

[26] Universidad de Murcia, Asignatura Informática Aplicada a las Ciencias Sociales Telefonía móvil celular, <http://www.um.es/docencia/barzana/IACCSS/Telecomunicaciones.html>, fecha de publicación noviembre 2011

[27] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sistemas móviles de tercera generación, <http://www.itu.int/itu-news/issue/2003/06/thirdgeneration-es.html>, fecha de publicación agosto 2003

[28] Vodafone, En qué consiste la tecnología 4G, <http://www.agentis.es/content/en-qu%C3%A9-consiste-la-tecnolog%C3%ADa-4g>, fecha de publicación julio 2013

[29] Reqalyc.org, Telefonía móvil celular, Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal Sistema de Información Científica, marzo 2005

[30] Wikipedia, Tarjeta sim, http://es.wikipedia.org/wiki/Tarjeta_SIM, fecha de consulta diciembre 2014

- [31] Ocaña Sandra, Telefonía celular (móvil) funcionamiento y generaciones, <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/7/telefonía-celular-movil-funcionamiento-generaciones-24457.pdf>, fecha de consulta diciembre 2014
- [32] Chimbo Rodriguez Maritza, Análisis de la propuesta de evolución de redes 3G y su convergencia a la tecnología 4G para redes de telefonía móvil, <http://dSPACE.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2072/13/UPS-CT002379.pdf>, fecha de consulta diciembre 2014
- [33] Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen, Siama"k Naghian, Valtteri Niemi, UMTS Networks Architecture, Mobility Heikki Kaaranen, Ari Ahtiainen, Lauri Laitinen, Siama"k Naghian, Valtteri Niemi, "UMTS Networks Architecture, Mobility
- [34] Harri Holma and Antti Toskala, "WCDMA FOR UMTS", in John Wiley & Sons, third edition, 2004
- [35] Sinche Soraya, Telefonía celular "Folleto de comunicaciones inalámbricas", fecha de publicación mayo 2007
- [36] Ortega Johana Rafaela, Análisis de la problemática de interconexión en Ecuador entre los sistemas troncalizados y las redes telefónicas fijas y celulares, <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1537/1/CD-2260.pdf>, fecha de consulta enero 2015
- [37] Superintendencia de Telecomunicaciones, Sistemas Troncalizados, http://www.urbe.edu/info-consultas/web-profesor/12697883/articulos/Radio%20Frecuencia/troncalizados_digitales.pdf, fecha de consulta enero 2015
- [38] Keysight Technologies, E4404B ESA-E Spectrum Analyzer, 9 kHz to 6.7 GHz, <http://www.keysight.com/en/pd-1000002788%3Aepsg%3Apro-pn->

E4404B/esa-e-spectrum-analyzer-100-hz-to-67-ghz?cc=EC&lc=eng, fecha de consulta diciembre 2014

[39] Sirio antenne, Model SD 2000 U/N Wide-band Base Station Antenna, http://www.sirioantenne.it/docs_download.php?file=ID-273_04-06-99.pdf, fecha de consulta diciembre 2014

[40] Test equipment connection, Agilent 33250A Arbitrary Waveform Generator Review, <http://blog.testequipmentconnection.com/agilent-33250a-arbitrary-waveform-generator-review>, fecha de publicación octubre 2013

[41] MATLAB, Características principales, http://es.mathworks.com/products/matlab/features.html?s_tid=gn_loc_drop, fecha de consulta enero 2015

[42] Agilent Technologies, Specifications Guide Agilent Technologies ESA-E Spectrum Analyzer, <http://www.chem.agilent.com/search/?Ntt=Specifications%20Guide%20Agilent%20Technologies%20ESA-E%20Spectrum%20>, fecha de consulta enero 2015

[43] Solis Noyola Javier Muestro estadístico, <http://es.slideshare.net/javiersolis/muestreo-estadstico>, fecha de consulta diciembre 2014

[44] Cuesta Hernández Alfonso, Efectos del ruido en las comunicaciones electrónicas, <http://www.profesaulosuna.com/data/files/TELECOMUNICACIONES/AM/CIRCUITOS%20AM/ruido.pdf>, fecha de consulta enero diciembre 2014

[45] IEEE, A Spectrum Surveying Framework for Dynamic Spectrum Access, Networksfile://C:/Users/cecibel/Downloads/A-Spectrum-Surveying-Framework-for-DSAm%20(1).pdf

[46] Azarang R. Azarang –Garcia Dunna Eduardo, Simulación y análisis de modelos estocásticos, Mac Graw Hill, primera edición, fecha de consulta febrero 2015

[47] Scribd, Modelo determinístico, <http://es.scribd.com/doc/77802080/Modelo-deterministico#scribd>, fecha de consulta febrero 2015

[48] Universidad de Murcia, Laboratorio de Modelización, <http://www.um.es/fem/PersonalWiki/pmwiki.php/EsModelling/IntroClasses>, fecha de consulta febrero 2015-02-07