



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

MEDICIÓN, CARACTERIZACIÓN Y MODELAMIENTO DEL RANGO DE FRECUENCIAS ASIGNADOS A UN SERVICIO FIJO-MÓVIL (2110-2500 MHZ) DE LA BANDA UHF DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO EN LA FIEC, CAMPUS PROSPERINA.

### **TESINA DE SEMINARIO**

Previa la Obtención del Título de:

### **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

Gabriel Andrés Zamora Flores

Christian César Alvarado Ramírez

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2015

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme fuerzas en todos los momentos que lo necesite.

A mi familia por todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado en todas las etapas de mi vida.

*Gabriel Andrés Zamora Flores*

A Dios por haberme ayudado y darme fuerzas para mantener mi fe a lo largo de toda mi vida estudiantil.

A mis padres por todo su apoyo incondicional

*Christian César Alvarado Ramírez*

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mis padres Dency Flores y Gabriel Zamora quienes me enseñaron el valor de la perseverancia y al igual que mi hermana Fátima Zamora siempre estuvieron apoyándome y dándome ánimos cuando más los necesitaba, a mi novia y mis amigos que siempre me empujaron a continuar y no me dejaron caer.

*Gabriel Andrés Zamora Flores*

## DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mi madre Mariana Ramírez que desde pequeño me inculco el amor por los estudios y siempre estuvo presente para darme palabras de aliento y no dejarme decaer cuando enfrentaba situaciones difíciles, a mi padre César Alvarado que me enseñó que con constancia, esfuerzo y dedicación se puede conseguir cualquier objetivo propuesto en la vida.

*Christian César Alvarado Ramírez*

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Magister. Washington Medina

**PROFESOR DEL SEMINARIO DE GRADUACIÓN**



Ing. Jorge Gómez

**PROFESOR DELEGADO POR LA UNIDAD ACADEMICA**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Gabriel Andrés Zamora Flores

---

Christian César Alvarado Ramírez

## RESUMEN

Este trabajo abarca una investigación sobre el uso del espectro Electromagnético en el rango de frecuencias de 2110 - 2500MHz en el área de la FIEC. El Espectro Electromagnético es un recurso natural limitado considerado por parte del estado ecuatoriano como un sector estratégico, por lo cual una óptima utilización del espectro garantiza proveer un mayor número de servicios de telecomunicaciones.

Este trabajo tiene como objetivo realizar una medición, caracterización y modelamiento del rango de frecuencias asignados a un servicio fijo-móvil (2110-2500 MHz) de la banda UHF del espectro electromagnético

En el Capítulo I se presentara una descripción general del proyecto, antecedentes y objetivos planteados para la realización del mismo

En el Capítulo II se presentara un marco teórico sobre los temas a tratar en esta investigación y sobre los elementos que se usarán para el desarrollo de la misma.

En el Capítulo III se presentará el escenario en el cual tomaremos nuestras mediciones, el hardware, software y de más equipos que se usarán para la realización del proyecto.

En el Capítulo IV se presentará el algoritmo de captura de los datos y las métricas establecidas para análisis de los mismos, pertenecientes al rango de frecuencias (2110-2500MHz) obtenidos por medio del software INTUILINK y procesados por medio de EXCEL y MATLAB.

En el Capítulo V se presentará un modelo probabilístico, recomendaciones y aportaciones para que se logre aprovechar al máximo la eficiencia del espectro en el rango de frecuencias de 2110 – 2500 MHz

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA .....	III
DEDICATORIA .....	IV
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	V
DECLARACIÓN EXPRESA .....	VI
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE GENERAL .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXI
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXIV
CAPÍTULO 1.....	1
1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....	1

1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	8
CAPÍTULO 2.....	10
2. ESTADO DEL ARTE .....	10
2.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	10
2.2 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	12
2.3 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	12
2.3.1 FRECUENCIAS.....	13
2.3.2 LONGITUD DE ONDA.....	14
2.3.3 AMPLITUD. ....	14
2.3.4 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	15
2.3.5 MEDIOS DE PROPAGACIÓN. ....	19
2.4 DISTRIBUCIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	19
2.5 REGULACIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.....	20
2.5.1 ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO EN EL ECUADOR .....	22
2.5.2 PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS.....	23

2.5.3	CONCESIONES DE 2110 – 2500MHZ.....	27
2.6	SERVICIOS ASIGNADOS ENTRE 2110-2500 MHz .....	28
2.6.1	IMT .....	28
2.6.2	RADIOLOCALIZACIÓN.....	28
2.6.3	RADIO DETERMINACIÓN POR SATÉLITE.....	29
2.6.4	MÓVIL POR SATÉLITE.....	29
2.7	TECNOLOGÍAS PARA UN MEJOR USO DEL ESPECTRO.....	30
2.7.1	RADIO COGNITIVA .....	30
2.7.2	ESPACIOS EN BLANCO O WHITE SPACE.....	31
CAPÍTULO 3.....		33
3. HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO. ....		33
3.1	AGILENT INTUILINK SPECTRUM ANALYZER.....	33
3.2	ANTENA SIRIO SD 3000 N (300 MHz – 3GHz).....	36
3.3	CABLE COAXIAL DE BAJAS PÉRDIDAS .....	39
3.4	Excel.....	39
3.5	MATLAB .....	41

3.6	AGILENT E4404B ESA-E SERIES SPECTRUM ANALYZER.....	43
CAPÍTULO 4.....		45
4.	FORMULACIÓN Y DATOS DEL ANÁLISIS DE LA BANDA ENTRE 2110- 2500 MHz.....	45
4.1	Algoritmo de Medición .....	48
4.2	TIPOS DE PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.....	50
4.3	MÉTRICAS CONSIDERADAS EN EL PROYECTO.....	53
CAPÍTULO 5.....		55
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS PARA EL RANGO DE FRECUENCIAS DE 2110 - 2500MHz.....	55
5.1	GRÁFICOS OBTENIDOS.....	55
5.1.1	DÍA LUNES .....	56
5.1.2	DÍA MARTES .....	64
5.1.3	DÍA MIÉRCOLES.....	71
5.1.4	DÍA JUEVES.....	78
5.1.5	DÍA VIERNES.....	85
5.1.6	DÍA SÁBADO.....	91

5.1.7	DÍA DOMINGO .....	98
5.1.8	DÍAS LABORABLES .....	104
5.1.9	FINES DE SEMANA .....	110
5.1.10	SEMANAL .....	117
5.2	ANALISIS GENERAL .....	124
5.3	MODELAMIENTO DEL CANAL .....	130
5.3.1	CADENAS DE MARKOV .....	130
5.3.2	MATRIZ ESTOCÁSTICA .....	131
5.3.3	MODELAMIENTO CANAL 5 .....	132
5.3.4	MODELAMIENTO DÍA LUNES .....	134
5.3.5	MODELAMIENTO DÍA MARTES .....	136
5.3.6	MODELAMIENTO DÍA MIÉRCOLES .....	137
5.3.7	MODELAMIENTO DÍA JUEVES .....	139
5.3.8	MODELAMIENTO DÍA VIERNES .....	140
5.3.9	MODELAMIENTO DÍA SÁBADO .....	142
5.3.10	MODELAMIENTO DÍA DOMINGO .....	143

5.3.11	MODELAMIENTO SEMANAL .....	145
5.4	CAPACIDAD DEL CANAL .....	146
5.5	PROPUESTAS.....	149
	CONCLUSIONES .....	151
	RECOMENDACIONES.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Espectro Electromagnético.....	11
Figura 2. 2 Zonas del Espectro Electromagnético .....	11
Figura 2. 3 Esquematación de una Onda Electromagnética.....	12
Figura 2. 4 Campo Eléctrico perpendicular al Campo Magnético .....	13
Figura 2. 5 Longitud y Amplitud de la Onda.....	15
Figura 2. 6 Mapas de las Regiones UIT [15] .....	20
Figura 2. 7 Dimensiones Básicas Tiempo Y Frecuencia .....	31
Figura 2. 8 Espacios En Blanco O White Space .....	32
Figura 3. 1 Barra De Tareas De Intuilink .....	33
Figura 3. 2 Requisitos Para Instalación De Intuilink .....	36
Figura 2. 3 Antena Sirio SD 3000 U/N .....	37
Figura 3. 4 Patrón De Radiación Sirio SD 3000 U/N .....	38
Figura 3. 5 Cable Coaxial de Bajas Pérdidas .....	39
Figura 3. 6 Ventana Principal EXCEL.....	40
Figura 3. 7 Código Macro EXCEL .....	40
Figura 3. 8 Ventana Principal MATLAB.....	41

Figura 3. 9 Analizador De Espectro E4404B .....	43
Figura 3. 10 Datos técnicos analizador de espectro .....	44
Figura 4. 1 Esquema del sistema de medición.....	46
Figura 4. 2 Algoritmo de Medición [25] .....	48
Figura 5. 1 Disponibilidad Día Lunes .....	57
Figura 5. 2 Disponibilidad del Día Lunes separado por canales .....	58
Figura 5. 3 Día Lunes visto en forma 3D.....	59
Figura 5. 4 Día lunes potencia de umbral .....	60
Figura 5. 5 Día lunes Ciclo de Trabajo .....	61
Figura 5. 6 Disponibilidad Día Martes Ciclo de Trabajo.....	64
Figura 5. 7 Disponibilidad Día Martes Separación por Canal .....	65
Figura 5. 8 Día Martes Visto en forma 3D.....	66
Figura 5. 9 Día Martes potencia de umbral.....	67
Figura 5. 10 Día Martes Ciclo de Trabajo .....	68
Figura 5. 11 Disponibilidad Día Miércoles.....	71
Figura 5. 12 Disponibilidad Día Miércoles Separado por canales.....	72

Figura 5. 13 Día Miércoles visto en 3D.....	73
Figura 5. 14 Día Miércoles potencia de umbral.....	74
Figura 5. 15 Día Miércoles Ciclo de Trabajo.....	75
Figura 5. 16 Disponibilidad Día Jueves.....	78
Figura 5. 17 Disponibilidad Día Jueves separado por canal.....	79
Figura 5. 18 Día Jueves visto en 3D.....	80
Figura 5. 19 Día Jueves potencia de umbral.....	81
Figura 5. 20 Día Jueves ciclo de trabajo.....	82
Figura 5. 21 Disponibilidad Día Viernes.....	85
Figura 5. 22 Disponibilidad Día viernes separado por canales.....	86
Figura 5. 23 Día Viernes visto en 3D.....	87
Figura 5. 24 Día Viernes potencia de umbral.....	88
Figura 5. 25 Día Viernes ciclo de trabajo.....	88
Figura 5. 26 Disponibilidad Día sábado.....	91
Figura 5. 27 Disponibilidad Día sábado separado por canal.....	92
Figura 5. 28 Día sábado visto en 3D.....	93

Figura 5. 29 Día sábado potencia de umbral.....	94
Figura 5. 30 Día sábado ciclo de trabajo.....	95
Figura 5. 31 Disponibilidad Día domingo.....	98
Figura 5. 32 Disponibilidad Día domingo separado por canal .....	99
Figura 5. 33 Día domingo visto en 3D .....	100
Figura 5. 34 Día domingo potencia de umbral .....	100
Figura 5. 35 Día domingo ciclo de trabajo.....	101
Figura 5. 36 Disponibilidad Días Laborables.....	104
Figura 5. 37 Disponibilidad Días Laborables. Separados por canal .....	105
Figura 5. 38 Días Laborables visto en 3D .....	106
Figura 5. 39 Días Laborables potencia de umbral .....	107
Figura 5. 40 Días Laborables ciclo de trabajo.....	107
Figura 5. 41 Disponibilidad Fines de semana.....	110
Figura 5. 42 Disponibilidad fines de semana separados por canal.....	111
Figura 5. 43 fines de semana visto en 3D .....	112
Figura 5. 44 fines de semana potencia de umbral.....	113

Figura 5. 45 fines de semana ciclo de trabajo .....	114
Figura 5. 46 Disponibilidad semanal .....	117
Figura 5. 47 Disponibilidad semanal separado por canales.....	118
Figura 5. 48 semanal visto en 3D .....	119
Figura 5. 49 semanal potencia de umbral .....	120
Figura 5. 50 semanal ciclo de trabajo .....	121
Figura 5. 51 Banda de 2100MHz .....	124
Figura 5. 52 canales y potencia de umbral .....	126
Figura 5. 53 Matriz Estocástica de ceros y unos .....	132
Figura 5. 54 Disponibilidad canal 5 día lunes .....	135
Figura 5. 55 Cadena de Markov día lunes .....	135
Figura 5. 56 Disponibilidad canal 5 día martes .....	136
Figura 5. 57 Cadena de Markov día martes .....	137
Figura 5. 58 Disponibilidad canal 5 día miércoles .....	138
Figura 5. 59 Cadena de Markov día miércoles.....	138
Figura 5. 60 Disponibilidad canal 5 día jueves .....	139

Figura 5. 61 Cadena de Markov día jueves .....	140
Figura 5. 62 Disponibilidad canal 5 día viernes.....	141
Figura 5. 63 Cadena de Markov día viernes.....	141
Figura 5. 64 Disponibilidad canal 5 día sábado .....	142
Figura 5. 65 Cadena de Markov día sábado.....	143
Figura 5. 66 Disponibilidad canal 5 día domingo .....	144
Figura 5. 67 Cadena de Markov día domingo .....	144
Figura 5. 68 Cadena de Markov día semanal.....	145

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Radio Cognitiva vs Smart Antennas .....	7
Tabla 2. 1 Longitud y Frecuencia de las Onda Electromagnética .....	17
Tabla 2. 2 Longitud y Frecuencia de las Onda Electromagnética .....	18
Tabla 2. 3 Distribución Espectro Electromagnético .....	19
Tabla 2. 4 Rango 2110- 2500 MHz Plan Nacional de Frecuencias .....	24
Tabla 2. 5 Concesiones Rango de Frecuencias.....	27
Tabla 5. 1 Ciclo de trabajo General Día Lunes .....	62
Tabla 5. 2 Ciclo de trabajo Desglosado Día Lunes .....	62
Tabla 5. 3 Ciclo de trabajo General Día Martes .....	69
Tabla 5. 4 Ciclo de trabajo Desglosado Día Martes .....	69
Tabla 5. 5 Ciclo de trabajo General Día Miércoles .....	75
Tabla 5. 6 Ciclo de trabajo Desglosado Día Miércoles.....	76
Tabla 5. 7 Ciclo de trabajo General Día Jueves.....	83
Tabla 5. 8 Ciclo de trabajo Desglosada Día Jueves.....	83
Tabla 5. 9 Ciclo de trabajo General Día viernes.....	89

Tabla 5. 10 Ciclo de trabajo Desglosada Día viernes.....	89
Tabla 5. 11 Ciclo de trabajo General Día sábado .....	96
Tabla 5. 12 Ciclo de trabajo Desglosado Día sábado .....	96
Tabla 5. 13 Ciclo de Trabajo General Día Domingo.....	102
Tabla 5. 14 Ciclo de trabajo Desglosado Día Domingo.....	102
Tabla 5. 15 Ciclo de trabajo General Días Laborables .....	108
Tabla 5. 16 Ciclo de Trabajo Desglosado Días Laborables.....	108
Tabla 5. 17 Ciclo de trabajo General Fines de Semana.....	114
Tabla 5. 18 Ciclo de Trabajo Desglosado Fines de Semana.....	115
Tabla 5. 19 Ciclo de trabajo General Semanal.....	121
Tabla 5. 20 Ciclo de trabajo Desglosado Semanal .....	122
Tabla 5. 21 Resultados Generales.....	127
Tabla 5. 22 resultados Desglosados .....	128
Tabla 5. 23 Probabilidades Diarias .....	134
Tabla 5. 24 Probabilidades semanal canal 5.....	145
Tabla 5. 25 Resultados Desglosados .....	147

## **GLOSARIO DE TÉRMINOS**

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones

**FCC:** Comisión Federal de Comunicaciones

**UIT-R:** Unión internacional de telecomunicaciones – Radiocomunicaciones

**RC:** Radio Cognitiva

**SA:** Smart Antennas

**MDBA:** Modulación Digital de Banda Ancha

**EQA:** Notas del Plan Nacional de Frecuencias

**MINTEL:** Ministerio de Telecomunicaciones

**CONATEL:** Consejo Nacional de Telecomunicaciones

**SENATEL:** Secretaria Nacional de Telecomunicaciones

**SUPERTEL:** Superintendencia de Telecomunicaciones

## INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos cada vez más acelerados y en crecimiento constante, nos brindan nuevos servicios que pueden ser utilizados de manera inalámbrica mediante dispositivos inteligentes. Servicios que requieren de una porción del Espectro Electromagnético para su funcionamiento.

El espectro electromagnético como se conoce no es ilimitado, es un recurso natural limitado y administrado por el estado, por lo que éste tiene todas sus frecuencias concesionadas y ocupadas por distintas funciones haciendo uso de él, dejando fuera a otras tecnologías o servicios que desean usarlo, unos para brindar un servicio similar y otros para un servicio distinto.

Por ende al no existir suficiente espectro para todas las operadoras o servicios de telecomunicaciones que se quisieran brindar, es necesario realizar una asignación y uso adecuado del mismo.

El rango de estudio o análisis será el de 2110 – 2500MHz donde según el Plan Nacional de Frecuencias del año 2012 en el Ecuador operan los servicios de Fijo-móvil, Móvil por satélite, Radiolocalización, Aficionados y Radio determinación por satélite. Se determinará si estos servicios están haciendo un uso adecuado del espectro o si su ocupación o uso está siendo

infrautilizado lo cual podría generar la posibilidad a que nuevas tecnologías o servicios se integren a dicho rango de frecuencias.

Por tal Motivo, en esta tesina se analizará la eficiencia del Espectro Electromagnético comprendido en el rango de frecuencias de 2110 - 2500 MHz, determinando un modelo probabilístico mediante el procesamiento de los datos obtenidos por medio del analizador de espectro, lo que permitirá a futuros análisis la implementación de nuevas tecnologías que puedan aprovechar de una mejor manera el uso del Espectro Electromagnético

# **CAPÍTULO 1**

## **1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La demanda del espectro electromagnético es creciente debido a la implementación y desarrollo de nuevos servicios inalámbricos en las diversas aéreas de las telecomunicaciones, además de existir la problemática de que numerosas bandas de frecuencias permanecen muy congestionadas a determinadas horas y en ciertos lugares densamente poblados. [1]

Por lo que un buen modelo en la asignación del espectro electromagnético y la eficiencia en su uso, son condiciones vitales para un óptimo y sano desarrollo de las telecomunicaciones, sobre todo en un mundo globalizado como el actual, en donde la investigación no se detiene nunca y avanza cada

minuto, donde realizar una distribución adecuada del espectro electromagnético y aprovechar al máximo el rango de frecuencias asignado, garantiza el poder proveer o no un mayor número de servicios de telecomunicaciones. **[2]**

De tal Forma, las nuevas tecnologías de los distintos servicios inalámbricos innovadores se ve cada vez más afectado o truncado por la reserva de determinadas bandas del Espectro Electromagnético definidas para servicios de manera limitada o restrictiva (Bandas exclusivas para Empresas Publicas del estado, Fuerzas armadas o simplemente sin atribución alguna), unida a unas estrictas condiciones de uso que imponen limitaciones al uso del espectro. **[2]**

Cisco en su Pronóstico VNI Global 2018 nos muestra el crecimiento del tráfico en los datos móviles de manera mundial y regional, dándonos a conocer una proyección a futuro sobre la demanda de servicios móviles que existirá. **[3]**

Esta demanda futura para servicios móviles o cualquier otro servicio de telecomunicaciones que podría no ser satisfechas, debido a una limitada asignación de espectro electromagnético o a un uso poco eficiente del

mismo. Este problema en la administración del Espectro Electromagnético recae exclusivamente sobre la propia escasez que posee dicho espectro. Sin embargo, esta escasez puede ser parcialmente solucionada mediante nuevas tecnologías, equipos o asignaciones más eficientes, es decir tecnologías que aprovechen mejor el mismo espectro como por ejemplo el uso de la radio cognitiva (RC), que aprovecha de manera más eficiente el espectro disponible no utilizado, sin que unos usuarios interfieran con otros, lo que permite aprovechar una mayor cantidad de datos. [2]

Otro de los posibles problemas enfoca a las políticas actuales de asignación de frecuencias, demasiado estrictas y poco flexibles a pesar de que el espectro electromagnético es un bien limitado, dejan apreciar que existen ciertas bandas licenciadas que realizan un uso muy bajo de espectro asignado (IMT) [4], en contraste a otras que suelen estar muy congestionadas (como, por ejemplo el caso de la telefonía móvil celular o el de las Radio FM) [5], al menos en ciertos momentos del día y en ciertos lugares de la ciudad (Zona Centro), mientras que otras bandas pueden estar siendo poco utilizadas. Por lo que si el sistema en general pudiese detectar esta situación o comportamiento y al mismo tiempo pudiese tomar decisiones, optando por cambiar los parámetros de transmisión para así cambiar de banda (Tecnología Radio Cognitiva), los resultados serían muy beneficios.

Debido a que una asignación fija del Espectro Electromagnético, permite que frecuencias con muy poco uso, adjudicadas a servicios fijos y específicos, no puedan ser usadas por usuarios no concesionados [6], aunque sus transmisiones no causaran ningún problema de interferencia. Por lo que una asignación variable y flexible justificada por la ley permitiría que los usuarios sin concesión, siempre que estos no provoquen ninguna interferencia de ningún tipo al servicio que proporciona el usuario concesionado en esa banda de frecuencia, puedan hacer uso de ellas y de igual manera para los concesionados si esto quisieran transmitir en otra banda .

Con estos antecedentes este estudio se basará en tomar mediciones del rango de frecuencia de UHF entre 2110-2500 MHz, debido a que este rango de frecuencias posee servicios como radio determinación por satélite, exploración de la tierra por satélite o radio aficionados que pueden estar siendo infrautilizadas en contraste a las bandas de frecuencias donde operan los servicios de telefonía móvil, radio o televisión. Por lo que analizar la banda de frecuencia anteriormente mencionada nos garantizara poder apreciar si servicios no tan comunes están siendo utilizados o no de una manera óptima y de no ser así poder determinar la posibilidad de compartir las porciones del espectro que están siendo ineficientemente utilizadas, permitiendo así una mayor competitividad y mejor utilización del espectro.

La SUPERTEL en su informe de ocupación del espectro del mes de octubre del año 2014 en la zona urbana de Guayaquil, indica que la frecuencia de 2110MHz posee una ocupación del 38.5% y la frecuencia de 2500MHz del 0%. Teniendo como precedente este estudio realizado en el área urbana de la ciudad Guayaquil, se decide realizar el mismo estudio de ocupación y disponibilidad del espectro para el mismo rango de frecuencias, pero para una área semi rural de la ciudad de Guayaquil como lo es el Campus Gustavo Galindo de la ESPOL ubicado el Km 30.5 Vía Perimetral.

Para de esta manera mediante el procesamiento de los datos y la obtención de un modelo probabilístico que nos permita conocer el porcentaje de ocupación, poder determinar si el rango de frecuencias de estudio está siendo utilizado o no de una manera óptima en una zona semi rural.

De tal manera, al tener un informe del comportamiento en una área urbana y uno del comportamiento en una área semi rural del rango de frecuencias antes mencionado, se apreciara el comportamiento general del rango antes descrito en la ciudad de Guayaquil, donde si este en su mayoría de tiempo se encontrase disponible poder determinar si es posible aplicar tecnologías que hagan un mejor uso del espectro como radio cognitiva, debido a que radio cognitiva actualmente es la tecnología que más se desarrolla y más investigación tiene en Europa y Norte América [7] , en comparación a

tecnologías como Smart Antennas, permitiendo incluso la FCC (Comisión Federal de las Comunicaciones de Estados Unidos) que se realicen pruebas de investigación externas y no solo restringidas a laboratorios de esta tecnología. [8]

Por lo que a pesar de que Smart Antennas en los últimos años ha alcanzado gran importancia mundial debido a que posibilitan el aumento de la capacidad de canal, menor ancho de banda, mayor radio cobertura, reducción en la potencia transmitida, control de potencia más eficiente y la posibilidad de introducir nuevos servicios, se ve opacada frente a RC debido a que Smart Antennas posee una gran complejidad en lo que se refiere a transceptores y administración de recursos de radio base, lo que ha producido que a pesar de las ventajas que brinda este sistema, aun no sea una realidad y se encuentren muy pocas aplicaciones prácticas [9] en contraste a RC que como se mencionó anteriormente ya realiza pruebas exteriores.

Por ende, en base a lo explicado sobre Smart Antennas, se puede resumir que emplean tecnologías espaciales para cancelar interferencias, pero requieren de varias antenas cooperando para su correcta operación. Por otra parte, las RC permiten a los terminales detectar y determinar si una parte del espectro Electromagnético está siendo utilizada o no, y en base a esto

compartir el espectro entre usuarios vecinos, siendo esto último la idea fundamental de este proyecto.

En la tabla 1.1 se muestra las diferencias entre RC y SA (Smart Antennas)

**Tabla 1. 1 Radio Cognitiva vs Smart Antennas**

	Radio Cognitiva (RC)	Smart Antennas
Se basan en	modulación ortogonal	pequeñas celdas
Infraestructura	detector de espectro y radiofrecuencia multibanda	arrays de antenas múltiples o cooperativas
Objetivo principal	compartir y aprovechar el espectro de frecuencia	reutilización espacial
Procesado de Interferencias	las evita detectando el espectro	las cancel con un pre/post codificación espacial
Resumen	tecnologías cognitivas para compartir espectro	tecnologías de reutilización inteligente del espectro
Retos algorítmicos	tecnologías de administración de espectro	tecnologías inteligentes de formación de rayos y codificación espacial
Técnicas aplicadas	software de radios cognitivas	códigos Dirty-Paper y Wyner-Ziv
Tecnología competitiva	ultra banda ancha para la utilización de altas frecuencias	Multi-sectorización (3.6.9 y sucesivos) para una mayor reutilización espacial

En donde se aprecia claramente que las tecnologías RC están destinadas a buscar una forma de utilizar todo el ancho de banda disponible entre los usuarios, mientras que las Smart Antennas, buscan la forma de aprovechar mejor el ancho de banda que se posee, mediante codificaciones y algoritmos para eliminar interferencias, pero en si ambas tecnologías buscan lo mismo, darle un uso más eficiente al espectro para poder introducir nuevos servicios.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Modelar el comportamiento del rango de frecuencias asignados a un servicio fijo-móvil (2110-2500 MHz) de la banda UHF del espectro electromagnético.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- ❖ Medir el comportamiento del rango de frecuencias de 2110 – 2500 MHz.
- ❖ Determinar la eficiencia del rango de frecuencias asignados a un servicio fijo-móvil (2110-2500 MHz) de la banda UHF mediante el procesamiento de los datos obtenidos.

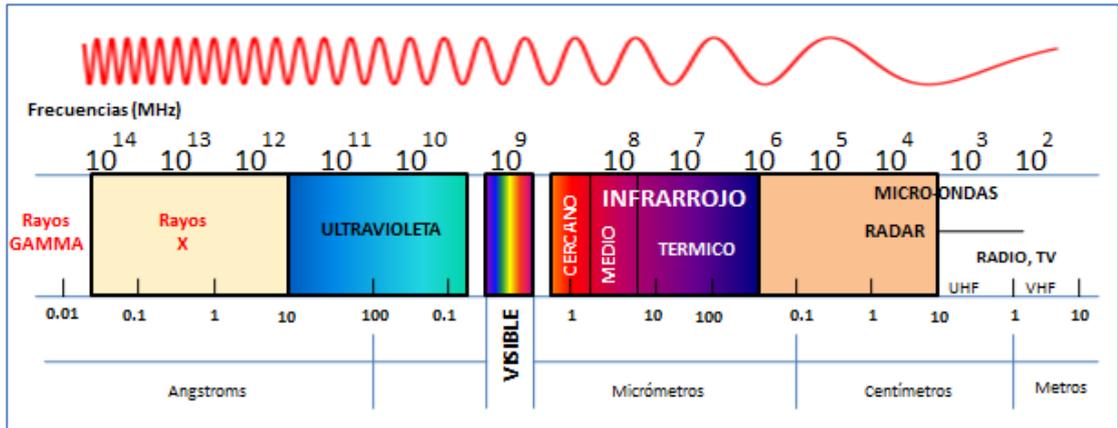
- ❖ Crear un modelo Probabilístico del comportamiento del rango de frecuencias de 2110 - 2500MHz.

## **CAPÍTULO 2**

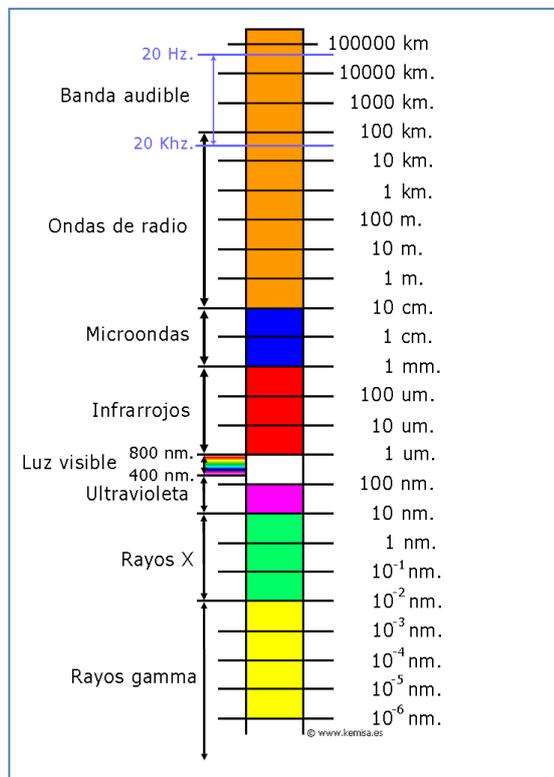
### **2. ESTADO DEL ARTE**

#### **2.1 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO**

El espectro electromagnético es la agrupación de todos los rangos de frecuencias existentes en los que se produce radiación electromagnética y se los puede agrupar en 7 zonas que no presentan límites nítidos, los cuales podemos apreciarlos en las figuras 2.1 y 2.2. **[10]**



**Figura 2. 1 Espectro Electromagnético**



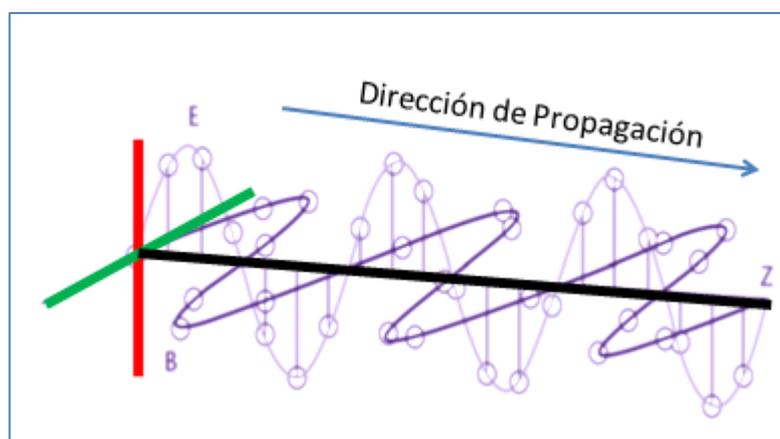
**Figura 2. 2 Zonas del Espectro Electromagnético**

## 2.2 RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

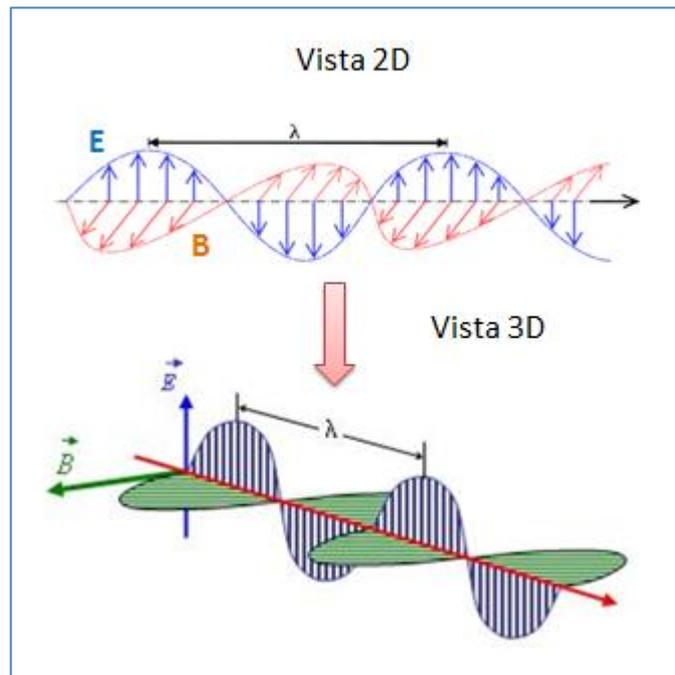
“La radiación electromagnética está formada por la combinación de campos eléctricos y magnéticos, que se propagan a través del espacio en forma de ondas portadoras de energía” [11]

## 2.3 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

“Son ondas que poseen vibraciones perpendiculares a su dirección de propagación”. Estas ondas pueden viajar a través del vacío por lo que no necesariamente utilizan un medio material para su propagación, su representación cartesiana la podremos observar en la figura 2.3 y 2.4 donde claramente apreciamos la ortogonalidad que existe entre el campo eléctrico y el campo magnético que conforman las ondas electromagnéticas. [11]



**Figura 2. 3 Esquematación de una Onda Electromagnética**



**Figura 2. 4 Campo Eléctrico perpendicular al Campo Magnético**

### 2.3.1 FRECUENCIAS.

“Es el número de oscilaciones (ciclos) por unidad de tiempo”. Su medida es el Hertz (Hz).

$$1\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}} \quad (1)$$

Donde s viene dada en segundos

La ecuación para calcular la frecuencia es:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Donde T es el periodo de la señal.

Una ecuación alternativa para calcular la frecuencia es:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (3)$$

Donde  $\omega$  es la velocidad angular y viene dada en radianes sobre segundos

### **2.3.2 LONGITUD DE ONDA.**

Es la distancia que recorre una onda entre dos puntos equivalentes consecutivos en un determinado intervalo tiempo. [12]

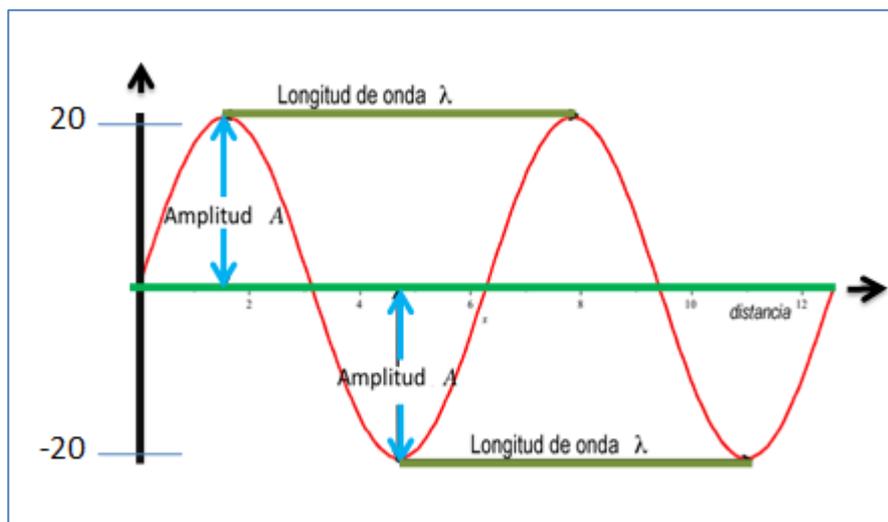
$$\text{Longitud de onda} = \frac{2\pi}{K} \quad (4)$$

Donde K es el número de onda.

### **2.3.3 AMPLITUD.**

Es la máxima distancia entre el punto más alejado de la onda con respecto al punto de equilibrio que en el caso de la figura 2.5 se encuentra en el eje de las x, también se puede decir que es una medida de la variación del

desplazamiento (nos da una clara visión de la intensidad de la perturbación) que puede ser periódica o cuasi periódica en el tiempo. [12]



**Figura 2. 5 Longitud y Amplitud de la Onda**

### 2.3.4 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Se define como propagación de ondas electromagnética a la transmisión de energía a través del vacío o a través de un medio con características particulares. [13]

La velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío viene definida por la ecuación:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (5)$$

Donde  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del vacío y  $\varepsilon_0$  la permitividad eléctrica del vacío.

La velocidad de la luz en el vacío ( $c = 2,998 \cdot 10^8$  m/s).

En base a la ecuación anterior se puede definir que la ecuación de la velocidad de propagación para un medio viene dada por:

$$V = \sqrt{\frac{1}{\mu\varepsilon}} \quad (6)$$

Donde  $\mu$  es la permeabilidad magnética y  $\varepsilon$  la permitividad eléctrica del material

Analizando la ecuación anterior se puede observar que la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas varía considerablemente de un medio a otro y que está relacionada entre sí con la frecuencia y la longitud de onda

$$V = \frac{\omega}{K} \quad (7)$$

Además de poder apreciar que mientras más alta sea una frecuencia, más pequeña será su longitud de onda y Viceversa.

**Tabla 2. 1 Longitud y Frecuencia de las Onda Electromagnética**

Región del espectro	Rango de Longitudes de onda	Rango de Frecuencias	Aplicaciones más habituales	Observaciones
Onda Larga	>10 m	< 30 MHz	Señales Radio (AM) Comunicaciones Submarinas	Se reflejan en la ionosfera y por lo tanto pueden viajar largas distancias. Por ello se utilizan para comunicar dos puntos lejanos de la tierra
Onda Corta	10 cm - 10 m	30MHz – 3GHz	Señales Radio (FM) Señales de TV	No se reflejan en la ionosfera y por lo tanto solo se pueden utilizar para distancias cortas
Microondas	1 mm - 10 cm	3 – 300Ghz	Radar Redes de hilos (WIFI) Hornos Microondas	Presentan mucha atenuación en la atmosfera y por tanto solo se pueden usar para distancias muy cortas

Fuente: Propagación de Ondas Electromagnéticas por Jordi Bonastre Muñoz

**Tabla 2. 2 Longitud y Frecuencia de las Onda Electromagnética**

Región del espectro	Rango de Longitudes de onda	Rango de Frecuencias	Aplicaciones más habituales	Observaciones
Infrarrojos	700 - 1 mm	$3 \times 10^{11} - 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$	Termografías Visión Nocturna Controles Remotos	Emisión térmica
Luz Visible	400 - 700 nm	$4 \times 10^{14} - 7 \times 10^{14} \text{ Hz}$	Instrumentos Ópticos	Radiación visible por el ojo humano y el de la mayoría de los seres vivos
Ultravioletas	10 - 400 nm	$7 \times 10^{14} - 3 \times 10^{16} \text{ Hz}$	Medicina Espectrofotometría	La materia los absorbe muy fácilmente
Rayos X	0,01 - 10 nm	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19} \text{ Hz}$	Radiografía Diagnostica Cristalografía	Generados por radiación de ionización, su longitud de onda está dentro de la escala de los átomos y cristales atómicos
Rayos Y	$< 10^{-11} \text{ m}$	$> 3 \times 10^{19} \text{ Hz}$	Esterilización Radioterapia	Generados por interacciones subatómicas

Fuente: Propagación de Ondas Electromagnéticas por Jordi Bonastre Muñoz

### 2.3.5 MEDIOS DE PROPAGACIÓN.

- Medio Isótropo: “sus características electromagnéticas no dependen de la dirección de propagación”. [13]
- Medio Homogéneo: “sus características son las mismas en cualquier punto del medio”. [13]
- Medio Lineal: “sus características eléctricas y magnéticas dependen linealmente de los campos eléctrico y magnético”. [13]

## 2.4 DISTRIBUCIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El Espectro Electromagnético se encuentra dividido en 9 bandas de frecuencias de acuerdo a sus aplicaciones y principales características

**Tabla 2. 3 Distribución Espectro Electromagnético**

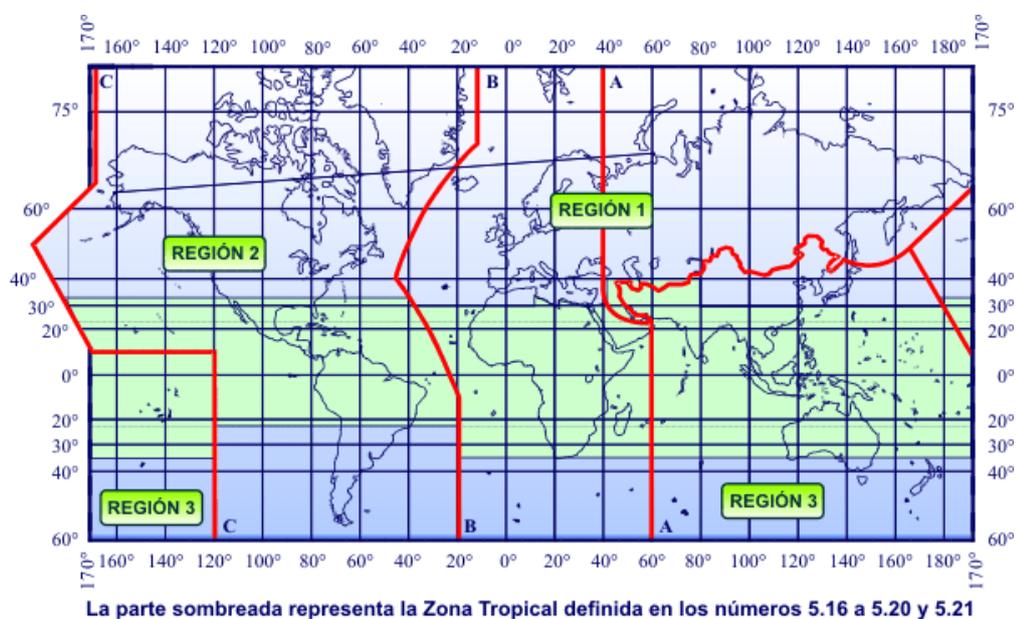
Número de la Banda	Símbolos (en Ingles)	Gama de Frecuencias	Subdivisión métrica correspondiente	Abreviatura métrica para las bandas
4	VLF	3 a 30 KHz	Ondas Miriamétricas	B.Mam
5	LF	30 a 300 KHz	Ondas Kilométricas	B.km
6	MF	300 a 3000 KHz	Ondas Hectométricas	B.hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas Decamétricas	B.dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas Métricas	B.m
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas Decimétricas	B.dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas Centimétricas	B.cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas Milimétricas	B.mm
12		300 a 3000 GHz	Ondas Decimilimétricas	

Fuente: Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador 2012

## 2.5 REGULACIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

“La UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones es un organismo especializado de las Naciones Unidas a cargo de la reglamentación, la normalización y el desarrollo de las telecomunicaciones en todo el mundo”  
[14]

Ecuador está ubicado en la región 2 desde el punto de vista en la asignación de las bandas de frecuencias mundiales según la UIT mostrada en la figura 2.6.



**Figura 2. 6 Mapas de las Regiones UIT [15]**

La banda de frecuencia que analizaremos en este proyecto es la comprendida entre 2110 MHz y 2500 MHz

En esta banda asignada podemos encontrar diferentes servicios de telecomunicaciones para la región 2 como:

- Fijo-móvil
- Investigación espacial
- Móvil por satélite
- Operaciones espaciales
- Exploración de la tierra por satélite
- Radiolocalización
- Aficionados
- Radio determinación por satélite

Para nuestro análisis en el Ecuador solo tenemos los siguientes servicios de telecomunicaciones asignados para estas frecuencias según el plan nacional de frecuencias 2012 y son:

- Fijo-móvil
- Móvil por satélite

- Radiolocalización
- Aficionados
- Radio determinación por satélite

### **2.5.1 ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO EN EL ECUADOR**

Los órganos principales designados para el control y administración del espectro electromagnético en el Ecuador son:

- MINTEL
- CONATEL
- SENATEL
- SUPERTEL

El MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información) es el órgano máximo de telecomunicaciones encargado de emitir políticas y supervisarlas hasta su implementación **[16]**

CONATEL (Concejo Nacional de Telecomunicaciones) órgano encargado de la aprobación del Plan Nacional de Frecuencias, dictar políticas en relación al uso de las Telecomunicaciones y autorizar uso del espectro electromagnético así como los servicios de telecomunicaciones **[17]**

SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones) órgano encargado de la administración y fomentación del marco regulatorio de las telecomunicaciones del país, además de esto se destaca por ser el ejecutor de las políticas y resoluciones tomadas por el CONATEL **[18]**

SUPERTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) órgano encargado de hacer cumplir las leyes establecidas a las personas autorizadas a prestar servicios de telecomunicaciones en el país. **[19]**

## **2.5.2 PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS**

“El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) establece la atribución de las bandas de frecuencias a los diferentes servicios ”de Telecomunicaciones que se proveen en el país tales como Fijo, Móvil, Fijo por Satélite, Móvil por Satélite, Móvil Aeronáutico, Móvil Marítimo, Radiodifusión”, entre otros. **[6]**

Para nuestro rango de frecuencia a analizar (2110-2500 MHz), el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador del 2012 ha decretado la siguiente asignación detallada en la siguiente Tabla.

**Tabla 2. 4 Rango 2110- 2500 MHz Plan Nacional de Frecuencias**

REGIÓN 2	ECUADOR	
BANDA MHZ	BANDA MHZ	RANGO MHZ NOTA EQA (RESUMEN); SERVICIO (SISTEMA/USO)
2110-2120 FIJO MÓVIL 5.388A MOD 5.388B INVESTIGACIÓN ESPACIAL (ESPACIO LEJANO) (TIERRA-ESPACIO) 5.388	2110-2120 FIJO MÓVIL 5.388A 5388	2110-2120 EQA.85 FIJO Y MÓVIL (IMT)
2120-2160 FIJO MÓVIL 5.388A MOD 5.388B MÓVIL POR SATÉLITE (ESPACIO- TIERRA) 5.388	2120-2160 FIJO MÓVIL 5.388A 5.388	2120-2160 EQA.85 FIJO Y MÓVIL (IMT)
2160-2170 FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (ESPACIO- TIERRA) 5.388 5.388C 5.389E	2160-2170 FIJO MÓVIL 5.388	2160-2170 EQA.85 FIJO Y MÓVIL (IMT)
2170-2200 FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (ESPACIO- TIERRA) 5.351A 5.388 5.389A	2170-2200 FIJO MÓVIL 5.388	2170-2200 EQA.85 FIJO Y MÓVIL (IMT)
2200-2290 OPERACIONES ESPACIALES (ESPACIO- TIERRA) (ESPACIO/ESPACIO) EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (ESPACIO-TIERRA) (ESPACIO- ESPACIO) FIJO MÓVIL 5.391 INVESTIGACIÓN ESPACIAL (ESPACIO- TIERRA) (ESPACIO-ESPACIO) 5.392	2200-2290 FIJO	200-2290 EAQ.110FIJO(ENLACES RADIOELÉCTRICOS CON EMISIONES DE TELEVISIÓN)

REGIÓN 2	ECUADOR	
BANDA MHZ	BANDA MHZ	RANGO MHZ NOTA EQA (RESUMEN); SERVICIO (SISTEMA/USO)
2290-2300 FIJO MÓVIL. SALVO MÓVIL AERONÁUTICO INVESTIGACIÓN ESPACIAL (ESPACIO LEJANO) (ESPACIO- TIERRA)	2290-2300 FIJO	2290-2300 EAQ.110FIJO(ENLACES RADIOELÉCTRICOS CON EMISIONES DE TELEVISIÓN)
2300-2450 FIJO MÓVIL 5.384A RADIOLOCALIZACIÓN AFICIONADOS 5.150 5.282 5.393 5.394 5.396	2300-2450 FIJO MÓVIL 5.384 <sup>a</sup> RADIOLOCALIZACIÓN AFICIONADOS 5.150 5.282 5.396	2300-2450 EAQ.90 (MDBA Y ENLACES RADIOELÉCTRICOS DE RADIODIFUSIÓN SONORA QUE UTILIZAN TÉCNICAS MDBA)
2450-2483.5 FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN 5.150	2450-2483.5 FIJO MÓVIL RADIOLOCALIZACIÓN 5.150	2450-2483.5 EAQ.90 (MDBA Y ENLACES RADIOELÉCTRICOS DE RADIODIFUSIÓN SONORA QUE UTILIZAN TÉCNICAS MDBA)
2483.5-2500 FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (ESPACIO- TIERRA)5.351A RADIOLOCALIZACIÓN RADIO DETERMINACIÓN POR SATÉLITE (ESPACIO- TIERRA)5.398 5.150 5.402	2483.5-2500 FIJO MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (ESPACIO- TIERRA)5.351A RADIOLOCALIZACIÓN RADIO DETERMINACIÓN POR SATÉLITE (ESPACIO- TIERRA)5.398 5.150 5.402	

Fuente: Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador 2012

- E Q A.85 nos indica que en las bandas de “2110 - 2 200 MHz y 2500 - 2690 MHz, operan exclusivamente sistemas IMT(International Mobile Telecommunications) para los servicios FIJO y MOVIL” **[6]**
- E Q A.90 nos indica que en la banda “2400 - 2483,5 MHz operan sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha y enlaces auxiliares para radiodifusión sonora”.**[6]**
- E Q A.110 nos indica que en la banda “2200 - 2300 MHZ operan servicios fijos de enlaces radioeléctricos auxiliares para el servicio de Radiodifusión con emisiones de televisión” y también para la utilización de servicio FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio). **[6]**

### 2.5.3 CONCESIONES DE 2110 – 2500MHZ

**Tabla 2. 5 Concesiones Rango de Frecuencias**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	Concesión
Fijo Móvil	2110	2120	10	si
Fijo Móvil	2120	2160	40	si
Fijo Móvil	2160	2170	10	si
Fijo Móvil	2170	2200	30	si
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	si
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	si
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	si
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	si
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	no

## **2.6 SERVICIOS ASIGNADOS ENTRE 2110-2500 MHz**

### **2.6.1 IMT**

Las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-Avanzadas (IMT-Avanzadas) son sistemas que contienen nuevas capacidades para los sistemas móviles que ofrecen servicios de telecomunicaciones en especial a aquellos soportados por redes móviles y fijas que utilizan tecnología de paquetes.

Los sistemas de IMT-Avanzadas admiten aplicaciones de baja y alta movilidad y una gran variedad de velocidades de datos, de conformidad con las demandas de los usuarios y de servicios en numerosos entornos de usuario. Las IMT-Avanzadas también tienen capacidades destinadas a aplicaciones multimedios de elevada calidad en una amplia gama de servicios y plataformas, lo que les permite lograr mejoras considerables de funcionamiento y calidad de servicio. **[20]**

### **2.6.2 RADIOLOCALIZACIÓN**

La Radiolocalización o también conocida como Radiometría RDF (Radio Direction Finding o búsqueda por radio dirección) es un sistema de comunicación unidireccional personal y selectiva sin transmisión de voz ni

mensajes que permite determinar la posición de un objeto mediante la utilización de ondas electromagnéticas. El sistema consta de 3 partes una antena directiva, una unidad receptora y una unidad emisora **[21]**

### **2.6.3 RADIO DETERMINACIÓN POR SATÉLITE**

Sistema de comunicación que permite determinar la velocidad y posición de un objeto mediante la utilización de uno o más satélites. **[22]**

### **2.6.4 MÓVIL POR SATÉLITE**

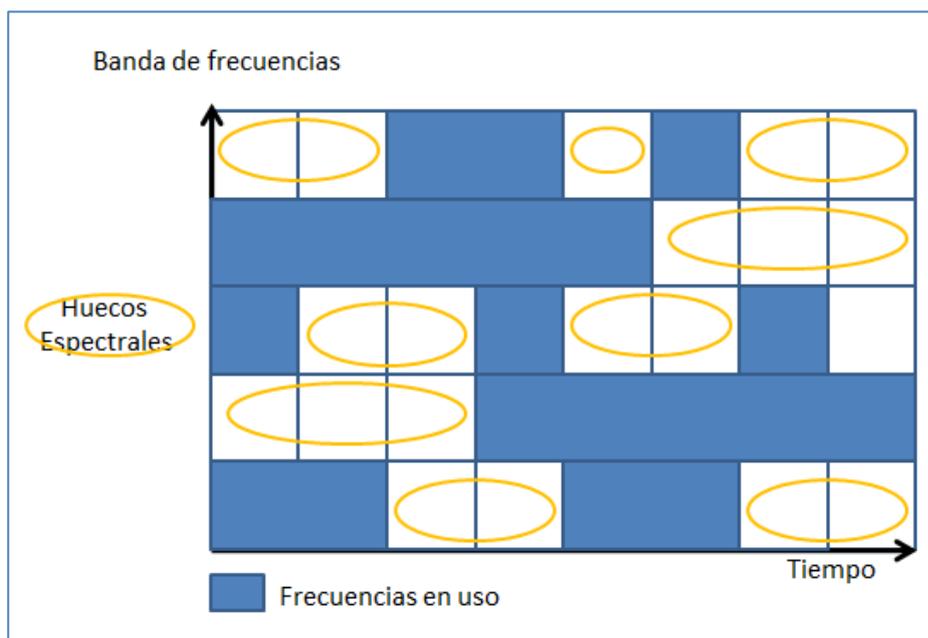
Sistema de comunicación entre dos o más estaciones móviles por medio del satélite, en donde si las estaciones están situadas sobre un barco se las denomina servicio móvil marítimo, si estas están en un avión se denomina servicio móvil aeronáutico y si estas estuviesen en un vehículo se denominarían servicio móvil terrestre. Además este servicio también tiene como objetivos detectar y localizar señales de SOS **[22]**

## **2.7 TECNOLOGÍAS PARA UN MEJOR USO DEL ESPECTRO.**

### **2.7.1 RADIO COGNITIVA**

Se denominada radio cognitiva (RC) a la tecnología que permite que el transmisor/receptor de radio de un dispositivo conozca y se adapte a su medio ambiente (Espectro Electromagnético), esto lo hace escaneando el espectro en busca de espacios en blanco, así como de cambios en el uso del espectro, es decir toma decisiones y cambia los parámetros de transmisión para cambiar de banda. **[23]**

La búsqueda de Espacios en blanco en las proximidades de un receptor, es una funcionalidad clave y vital para el correcto funcionamiento de las radios cognitivas, ya que una vez detectados, estos pueden ser usados para las emisiones de los usuarios no concesionados sin que estos interfirieran con los usuarios concesionados como lo vemos en la figura 2.7 en sus espacios que no tienen uso y de esta manera teniendo en cuenta el comportamiento real de la ocupación del espectro en un determinado entorno geográfico podría ser este “utilizado por los equipos de RC para minimizar el impacto de las interferencias generadas sobre los usuarios” concesionados, lo cual garantizaría hacer un uso más eficiente del espectro disponible no utilizado, sin que unos usuarios interfirieran con otros, en cada momento.**[23]**



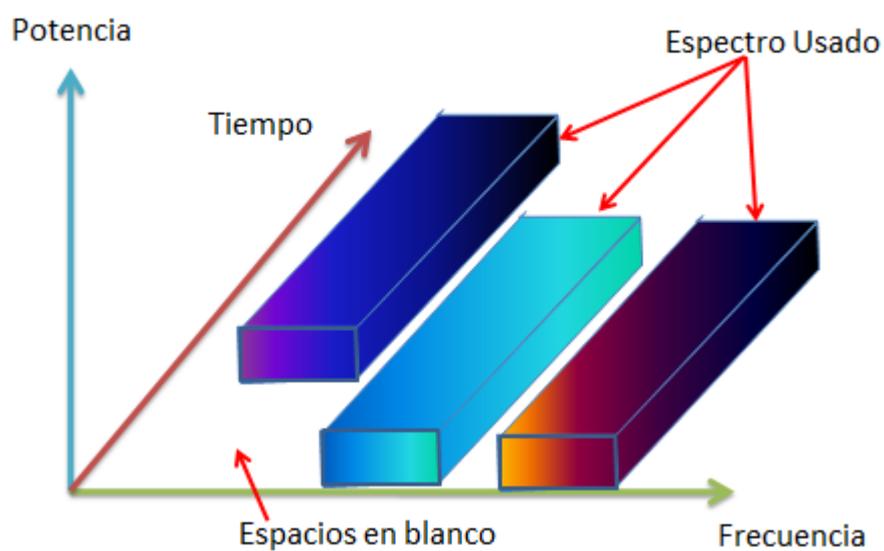
**Figura 2. 7 Dimensiones Básicas Tiempo Y Frecuencia**

### 2.7.2 ESPACIOS EN BLANCO O WHITE SPACE

Los espacios en blanco o White Space son aquellos espacios libres o sin uso momentáneo dentro de cada banda en el espectro radioeléctrico debido a un bajo flujo de datos en esa frecuencia en determinados momentos.

En la figura 2.8 podemos apreciar estos espacios los cuales nos ayudaran como referencia para determinar la eficiencia a la cual está siendo utilizada dicha banda con la ayuda de modelos probabilísticos en nuestra investigación.

El manejo de estos espacios de una manera adecuada con la tecnología cognitiva abrirá “nuevas puertas para que surjan nuevas industrias, se creen nuevos empleos y se potencie la inversión y la innovación según la FCC” de los Estados Unidos. [23]



**Figura 2. 8 Espacios En Blanco O White Space**

## CAPÍTULO 3

### 3. HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADOS PARA LA REALIZACION DEL PROYECTO.

#### 3.1 AGILENT INTUILINK SPECTRUM ANALYZER



*Figura 3. 1 Barra De Tareas De Intuilink*

Agilent Intuilink Spectrum Analyzer es un software diseñado para ofrecer herramientas de conexión entre un analizador de espectro Agilent con Microsoft Excel o Word y puede ser programable.

Este software solo requiere ser instalado para que aparezca automáticamente en la barra de herramientas de Microsoft Excel o Word mostrada en la figura 3.1, permitiéndonos capturar la imagen del analizador de espectro y también así los datos ubicándolos en columnas según los puntos que necesitemos.

Al ser programable nos brinda la facilidad de obtener los datos cada cierto tiempo y guardarlos para futuros análisis.



Nos permite observar el número de versión del software y una lista de modelos de analizadores que soporta.



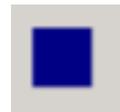
Conecta el analizador de espectro con la computadora.



Captura la configuración de almacenamiento del analizador de espectro mediante la barra de herramientas o en un archivo externo.



Carga los datos desde el analizador de espectro en una hoja de Excel y también permite ser configurado para mediciones periódicas automáticas.



Detiene las mediciones periódicas automáticas.



Obtiene una imagen de la pantalla del analizador de espectro.



Ayuda de la barra de herramientas de Agilent Intuilink.

La figura 3.2 detalla los requisitos que se deben tener en la computadora para el buen funcionamiento del software.

<p><b>Sistema operativo</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Windows 2000</li><li>• Windows NT</li><li>• Windows 95/98</li><li>• Windows XP (32-bit)</li></ul> <p><b>Requisitos previos</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Información no disponible</i></li></ul> <p><b>Instrumentos compatibles</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• E4440A, E4443A, E4445A, E4446A, E4447A, E4448A, E4401B, E4402B, E4404B, E4405B, E4407B, E4403B, E4408B, E4411B, E7401A, E7402A, E7403A, E7404A, E7405A</li></ul>
---

**Figura 3. 2 Requisitos Para Instalación De Intuilink**

### **3.2 ANTENA SIRIO SD 3000 N (300 MHz – 3GHz)**

Esta antena omnidireccional cubre el Rango de frecuencia de 300-3000 MHz y, debido a su concepto de banda ancha, es adecuado para el escáner y las aplicaciones de monitoreo es de tipo discónica y la podemos observar en la figura 3.3.



**Figura 2. 3 Antena Sirio SD 3000 U/N**

La antena es capaz también para fines de transmisión, con una SWR = 2 y una potencia de transmisión de hasta 200 W, dentro de los siguientes

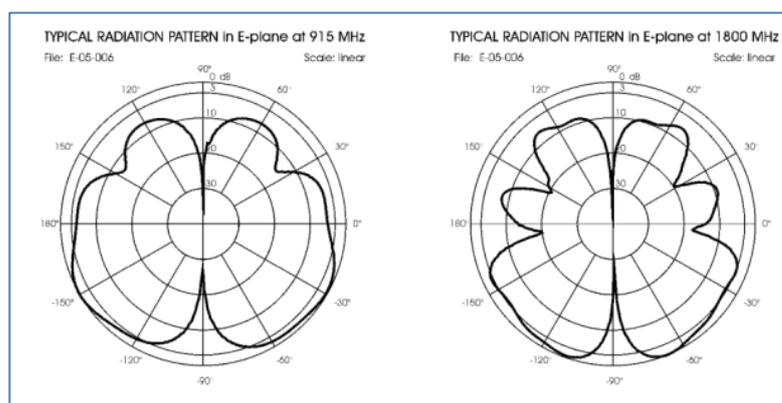
Rangos:

- 340-535 MHz
- 545-960 MHz
- 1180-1380 MHz
- 1660-1910 MHz
- 1980-3000 MHz

Especificaciones:

- Frecuencia: 300 -3000 MHz (RX)
- Tipo: Discono
- Ganancia: 0 dBd - 2.15 dBi
- Max. potencia: 200 vatios
- Material: acero inoxidable / Aluminio
- Conector: Conector N
- Montaje: Lateralmente mástil 25-54 mm con pinza
- Longitud: 73 cm (Radial 27 cm)
- Peso: 0,83 kg

El Patrón de Radiación de la antena tiene la forma que podemos ver en la figura 3.4.



**Figura 3. 4 Patrón De Radiación Sirio SD 3000 U/N**

### 3.3 CABLE COAXIAL DE BAJAS PÉRDIDAS

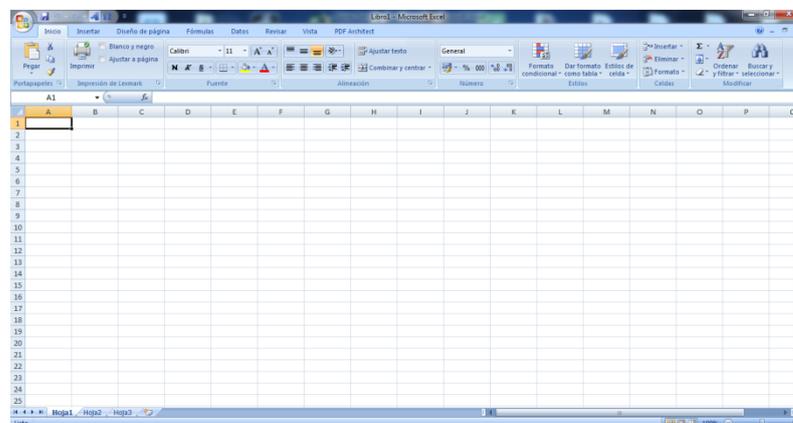
Cable coaxial marca Wilson 400 con conectores tipo N Male en la figura 3.5 nos brinda una muy baja atenuación que a continuación detallamos.

- Distancia: 50 pies.
- Atenúa la señal de menos de 0,1 Db



**Figura 3. 5 Cable Coaxial de Bajas Pérdidas**

### 3.4 Excel



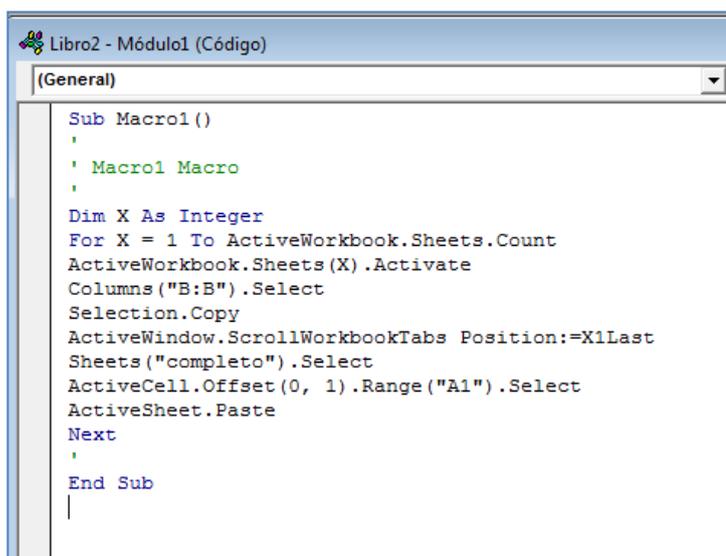
### **Figura 3. 6 Ventana Principal EXCEL**

Es un software de procesamiento de hojas de cálculo el cual nos permite escribir, graficas, almacenar, procesar, analizar y organizar todo tipo de información numérica.

La figura 3.6 presenta la ventana principal del programa.

Para el desarrollo de este proyecto se modificó una macro de Excel para poder realizar una matriz conjunta con todos los datos de las potencias que se obtuvieron por medio del software Intuilink.

El código se lo detalla en la figura 3.7



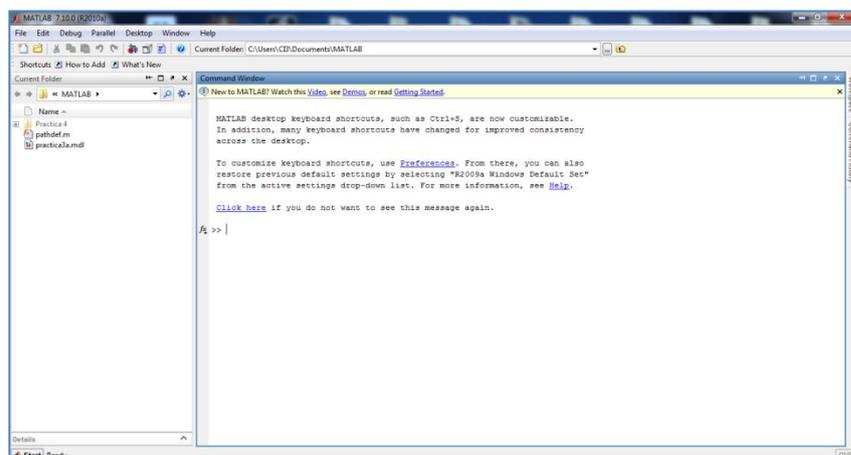
```
Libro2 - Módulo1 (Código)
(General)
Sub Macro1 ()
'
' Macro1 Macro
'
Dim X As Integer
For X = 1 To ActiveWorkbook.Sheets.Count
ActiveWorkbook.Sheets(X).Activate
Columns("B:B").Select
Selection.Copy
ActiveWindow.ScrollWorkbookTabs Position:=X1Last
Sheets("completo").Select
ActiveCell.Offset(0, 1).Range("A1").Select
ActiveSheet.Paste
Next
'
End Sub
|
```

### **Figura 3. 7 Código Macro EXCEL**

### 3.5 MATLAB

MATLAB es un software que posee un lenguaje de alto nivel y un entorno muy interactivo para el cálculo numérico, procesamiento de Datos, Construcción de sistemas de control automático, la visualización, la programación, análisis modelos matemáticos y análisis de señales de comunicación. Mediante MATLAB, es posible analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos o aplicaciones. [24]

La figura 3.8 presenta la ventana de trabajo o ventana principal del software



**Figura 3. 8 Ventana Principal MATLAB**

MATLAB puede ser usado para una gran variedad de aplicaciones, tales como procesamiento de análisis de señales de comunicaciones,

procesamiento de análisis de imágenes y vídeos, sistemas de control, pruebas y medidas, finanzas computacionales, Mecatrónica y biología computacional. **[24]**

Las funciones usadas para el análisis de nuestros datos fueron las siguientes:

```
Frecuencia=xlsread('frecuencia.xlsx',1);
```

Lee del archivo frecuencia (archivo contenido en una hoja de cálculo de EXCEL) las celdas con la información de las frecuencias y devuelve una matriz de 1560x1926

```
Fc=xlsread('frecuencia.xlsx',2);
```

Lee del archivo frecuencia (archivo contenido en una hoja de cálculo de EXCEL) la hoja de cálculo 2 del mismo y devuelve una matriz de 1560x1

```
Tiempo=xlsread('periodo.xlsx');
```

Lee del archivo periodo (archivo contenido en una hoja de cálculo de EXCEL) los tiempos y devuelve una matriz de 1560x1926

```
Potencia=xlsread('dia_comp.xlsx');
```

Lee del archivo día (archivo contenido en una hoja de cálculo de EXCEL) de un día en particular o conjuntos de días (días regulares o de fin de semana), las potencias y devuelve una matriz de 1560x1926

```
Dc=xlsread('JUEVES_DC.xlsx');
```

Lee de los archivo de Excel que contienen los dutycycle y devuelve una matriz de 1560x1

Surf (frecuencia,tiempo,potencia)

Función para poder realizar graficas en 3d, ingresando como parámetros de entrada frecuencia, tiempo y potencia

Mesh (frecuencia,tiempo,potencia)

Función que da color al gráfico en 3d anteriormente mencionado.

### **3.6 AGILENT E4404B ESA-E SERIES SPECTRUM ANALYZER**

La figura 3.9 nos muestra el analizador de espectro con el cual se trabajó para este proyecto.



***Figura 3. 9 Analizador De Espectro E4404B***

## Especificaciones Técnicas.

<b>Frequency reference</b>		<b>(Opt. 1D5)</b>
Aging	$\pm 2 \times 10^{-6}$ /year	$\pm 1 \times 10^{-7}$ /year
Temperature stability	$\pm 5 \times 10^{-6}$	$\pm 1 \times 10^{-8}$
Settability	$\pm 5 \times 10^{-7}$	$\pm 1 \times 10^{-8}$
<b>Frequency readout accuracy</b>		
(Start, Stop, Center, Marker)	$\pm$ (frequency indication x frequency reference error <sup>1</sup> + span accuracy + 15% of RBW + 10 Hz + 1 Hz x N <sup>4</sup> )	
<b>Marker frequency counter<sup>2</sup></b>		
Accuracy <sup>3</sup>	$\pm$ (marker frequency x frequency reference error <sup>1</sup> + counter resolution)	
Counter resolution	Selectable from 1 Hz to 100 kHz	
<b>Frequency span</b>		
Range	0 Hz (zero span), 100 Hz to the range of the spectrum analyzer	
Resolution	Four digits or 2 Hz x N <sup>4</sup> whichever is greater	
Accuracy (8192 sweep points)	$\pm 0.5\%$ of span	

**Figura 3. 10 Datos técnicos analizador de espectro**

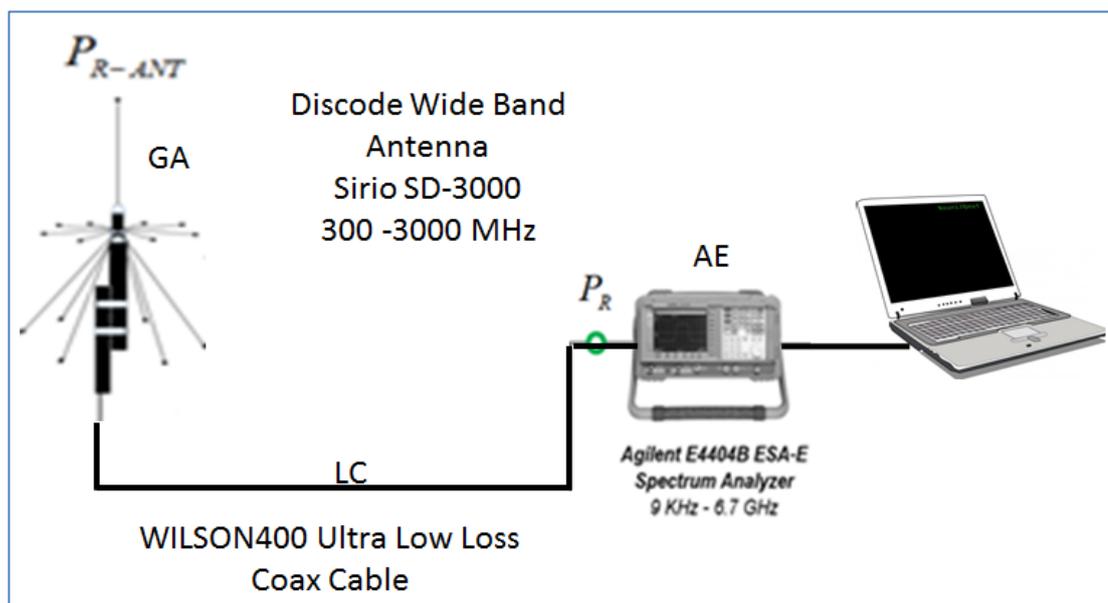
## **CAPÍTULO 4**

### **4. FORMULACIÓN Y DATOS DEL ANÁLISIS DE LA BANDA ENTRE 2110-2500 MHz**

El laboratorio de telecomunicaciones de la ESPOL se encuentra en un área semi rural de la ciudad de Guayaquil

El sistema de medición utilizado para este proyecto se muestra en la figura

4.1



**Figura 4. 1 Esquema del sistema de medición**

Sus componentes principales son una antena de tipo Discono (SIRIO SD-3000) con recepción patrón omnidireccional en el plano horizontal, la cual se conecta a una cable de bajas perdidas de la marca Wilson electronic de 50 pies, lo que permite una conexión directa al analizador de espectro evitando utilizar filtros, amplificadores y conectores adicionales que causarían perdidas. A continuación el analizador de espectro (SA) (Agilent E4404B ESA-E) recibe la señal durante todo el proceso de medición para luego almacenar todas estas mediciones en un ordenador portátil, para que posteriormente puedan ser analizadas y procesadas por el software matemático MATLAB.

El resultado obtenido de potencia en el analizador de acuerdo a la figura 4.1 es el siguiente

$$P_{R-ANT} = PR + Lc - GA \quad (8)$$

Donde

Pr-Ant es la potencia recibida en la antena sirio sd 3000

PR es la potencia en el analizador de señales

Lc es la pérdida en el cable coaxial

GA es la atenuación que genera el equipo.

## 4.1 Algoritmo de Medición

El algoritmo implementado en el SA para obtener el nivel de potencia recibido en cada canal de la banda de 2110 A 2500 MHz se describe por el pseudo código se muestra en la Figura 4.2

```

Input: FINICIO, FFINAL, TINICIO, NMUESTRASXCANAL, NCANALES
Results: File with: Date, Time, Frequency and Power
1. Communication between SA and Laptop is established.
2.  $i=1; j=1;$ 
   ;measurement counters are initialized
3. while  $TPRESENTE < TINICIO$ 
4.   it is on hold while the current time ( $TPRESENTE$ ) reaches the start time ( $TINICIO$ )
5. End
6. while  $j \leq NMUESTRASXCANAL$ 
7.   while  $i \leq NCANALES$ 
8.     Start the channel scan  $i;$ 
9.      $MATRIZRESULTADO(j,i,4) = (Date_{i,j}, Time_{i,j}, f_{i,j}, P_{Rf,i,j});$ 
       ;measurement information corresponding to the i channel and j sample is saved in result matrix
10.     $i=i+1;$ 
11.   End
12.    $j=j+1; i=1;$ 
13. End
14. save  $MATRIZRESULTADO$  in  $FILE;$ 
15. communication between SA and laptop is closed

```

**Figura 4. 2 Algoritmo de Medición [25]**

Se puede apreciar que se requieren ciertos parámetros de entrada para poder inicializar el algoritmo, los cuales son la frecuencia de inicio (FINICIO) y la frecuencia final (FFINAL) que corresponden justamente al rango de frecuencias al cual se desea realizar el análisis que para este proyecto es 2110MHz a 2500MHz. TINICIO es la hora fijada para que la SA comience a tomar mediciones. NCANALES es el número de canales a los cuales se

realizó la medición Y NMUESTRASXCANAL es el número total de muestras tomadas por canal.

Una vez finalizado el algoritmo, se generara un archivo que contendrá una matriz de resultados (MATRIZRESULTADO), la cual tendrá como información la fecha, hora, frecuencia, la potencia y el número de muestras en ese canal

Una visión más detallada del comportamiento del algoritmo sería la siguiente:

Línea 1: El algoritmo establecerá una conexión entre el analizador de señales y el ordenador portátil o PC de escritorio.

Línea 2: una vez establecida la conexión se inicializaran los contadores de canal (I) y de muestreo (j).

Línea 3: el analizador de señales se activa pero quedara en estado de standby hasta que TPRESENTE sea mayor o igual a TINICIO que es nuestro tiempo límite configurado para realizar las mediciones

Línea 6: el algoritmo se preguntara si el número de muestras se ha completado o no, si la lógica es verdadera entonces éste pasara a preguntarse si se ha analizado ya todos los canales (línea 7), por lo que si aún no se han mostrado todos los canales el lazo se mantiene en los comandos entre la línea 7 a la 11.

Línea 9: La Información de la fecha, la hora, la frecuencia y la potencia instantánea en un determinado canal  $i$  se almacena en la matriz de MATRIZRESULTADO, para cada muestra  $j$ .

Finalmente en la línea 14 el algoritmo almacenara los datos en un archivo para su posterior análisis y dará por terminada la conexión entre el analizador de señales con el ordenador portátil o PC de escritorio

## **4.2 TIPOS DE PROCESAMIENTO DE LOS DATOS**

Para modelar los datos obtenidos del analizador de espectro en la banda asignada debemos saber que su comportamiento puede ser determinístico o estocástico.

Un proceso determinístico es aquel modelo matemático que al introducir las mismas entradas siempre dará los mismos resultados dejando de lado la existencia del azar.

A diferencia del proceso determinístico, tenemos el proceso estocástico, el cual tiene un comportamiento muy diferente al determinístico, es decir que si se introduce la misma entrada su salida no siempre será la misma, dejando la incertidumbre y el azar plenamente existentes. **[26]**

Para ancho de banda de 390 MHz tendremos 78 espacios y cada espacio de 5Mhz cada uno, utilizamos esto debido a los servicios que se brindan en la porción de espectro que analizaremos.

En vista de que los servicios en el ancho asignado son orientados a LTE celular y son datos que en determinadas horas del día son masivos y en otros no tanto, el tiempo promedio que usaremos es de 43 segundos para cada muestra utilizando 1560 puntos por muestra, para que nuestro análisis sea lo más fino posible.

$$\text{número de puntos} = 20 \text{ puntos} * 78 \text{ espacios}$$

$$\text{número de puntos} = 1560 \text{ por muestra}$$

Con estos cálculos obtendremos 2000 muestras diariamente de 1560 puntos cada una, entonces obtendremos 3`120.000 puntos diariamente suficientes para obtener un modelamiento de la señal más precisa.

El piso de ruido  $P_n$  teórico lo determinaremos de la siguiente manera:

$$P_n = -174 \text{ dBw} + 10 \log(Bw) + NF \quad (9)$$

Siendo NF la figura de ruido y Bw el ancho de banda a utilizar. La figura de ruido según el equipo y el rango de operación será de 11.56 dB, por lo tanto tendremos:

$$P_n = -174 \text{ dBw} + 10 \log(390 \text{ Mhz}) + 11.56 \text{ dB}$$

$$P_n = -76.53 \text{ dB}$$

Esto quiere decir de a partir de esta potencia hacia abajo tendremos ruido.

Para calcular el umbral de operación utilizaremos la siguiente ecuación:

$$P_t = P_n + M \quad (10)$$

Dónde:

$P_t$  es la potencia de umbral

$P_n$  es el piso de ruido

$M$  es el margen de seguridad dado por la UIT de 10 dB.

Dándonos lo siguiente:

$$P_t = -76.53 \text{ dB} + 10 \text{ dB}$$

$$P_t = -66.53 \text{ dB}$$

### 4.3 MÉTRICAS CONSIDERADAS EN EL PROYECTO.

Para el desarrollo y análisis del proyecto se establecieron una serie de parámetros.

La potencia instantánea medida por el analizador de señales definida en el capítulo anterior como PR no proporciona suficiente información para poder realizar un análisis completo sobre el comportamiento de un determinado canal con una frecuencia en concreta (fi), por lo que el canal se analiza utilizando la potencia media de un determinado número de muestras (número de muestras que fue calculado anteriormente dando como resultado 2000 muestras diarias de 1560 puntos cada una.) Esto se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\overline{P_{R,f_i}} = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} P_{R,f_i,j}}{N_s} \quad (11)$$

Donde  $P_{R,f_{ij}}$

Es la potencia instantánea medida por el analizado de señales en el canal de frecuencia específico fi para una muestra j, y NS corresponde al número total de muestras por canal.

Para determinar si se está haciendo uso o no de un determinado canal se utiliza una potencia de umbral (Pt) establecida por la ecuación 10, de esta

forma todo canal cuya potencia supere la referencia dada por la potencia de umbral estará siendo utilizado.

Lo descrito anteriormente se puede plasmar en la ecuación 12

$$UCH_{i,j} = \begin{cases} 1 ; P_{R,f_i} \geq P_{TH} \\ 0 ; Otherwise \end{cases} \quad (12)$$

Una vez definido que canal está siendo utilizado o no, se puede determinar el ciclo de trabajo o también conocido como duty cycle en un determinado canal.

El ciclo de trabajo indica el porcentaje de ocupación de un canal para un conjunto de muestras.

Viene definido por la siguiente expresión:

$$DC_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_s} UCh_{i,j}}{N_s} * 100 \quad (13)$$

## **CAPÍTULO 5**

### **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS PARA EL RANGO DE FRECUENCIAS DE 2110 - 2500MHz**

#### **5.1 GRÁFICOS OBTENIDOS.**

Para el desarrollo de este proyecto se realizaron mediciones durante el transcurso de una semana (7 días), por ende para tener una mejor visión sobre el comportamiento de la ocupación que se produce en el rango de frecuencias comprendido entre 2110MHz a 2500MHz se procedió a realizar una gráfica por cada día de la semana, otra correspondiente a la semana laboral (lunes a viernes), otra solo con respecto al fin de semana (sábado y domingo) y finalmente un gráfico general que presenta el comportamiento del rango de frecuencia asignado en los 7 días.

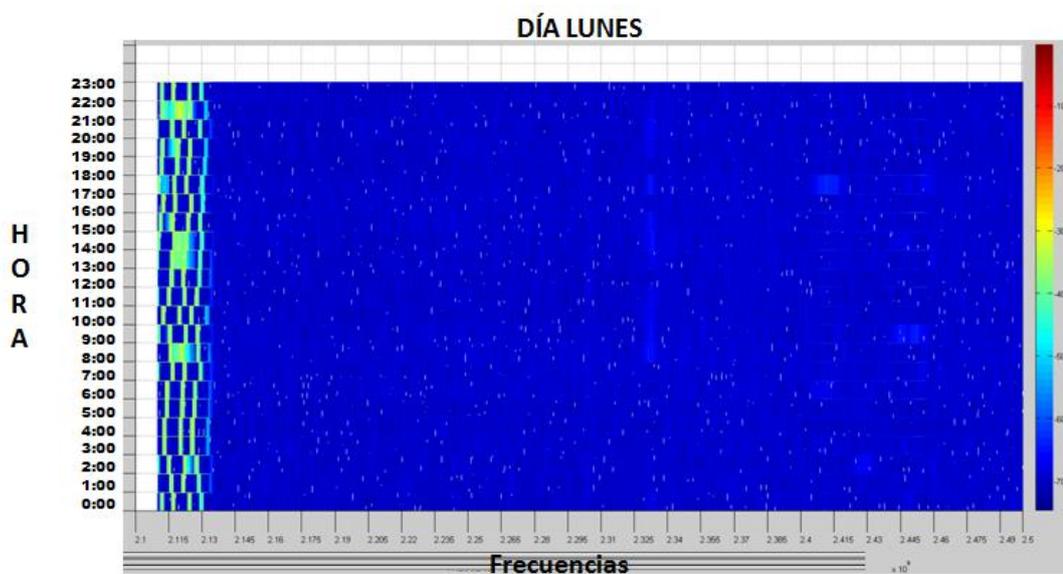
### 5.1.1 DÍA LUNES

El gráfico que se presenta en la figura 5.1 detalla el comportamiento del rango de frecuencias asignado por horas durante el transcurso de todo el día lunes 19 de enero del 2015.

En la parte inferior del mismo se detalla todo el rango de frecuencia que va desde 2110MHz hasta 2500MHz.

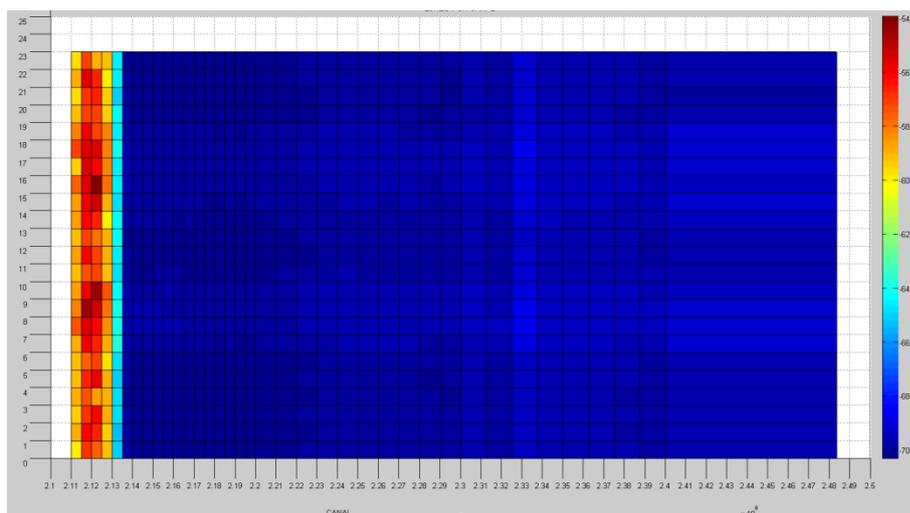
Cada color representa un índice de disponibilidad, tal y como lo indica la barra de colores ubicada al lado derecho del gráfico. Por lo que apreciar un color azul oscuro más definido representara una mayor disponibilidad en contraste al color magenta oscuro que representara una menor disponibilidad de una determinada frecuencias en una hora específica del día.

La figura 5.1 está realizada tomando las 2000 muestras diarias del día lunes con sus respectivos 1560 puntos cada una. De ahí por qué se puede apreciar la disponibilidad de cada frecuencia.



**Figura 5. 1 Disponibilidad Día Lunes**

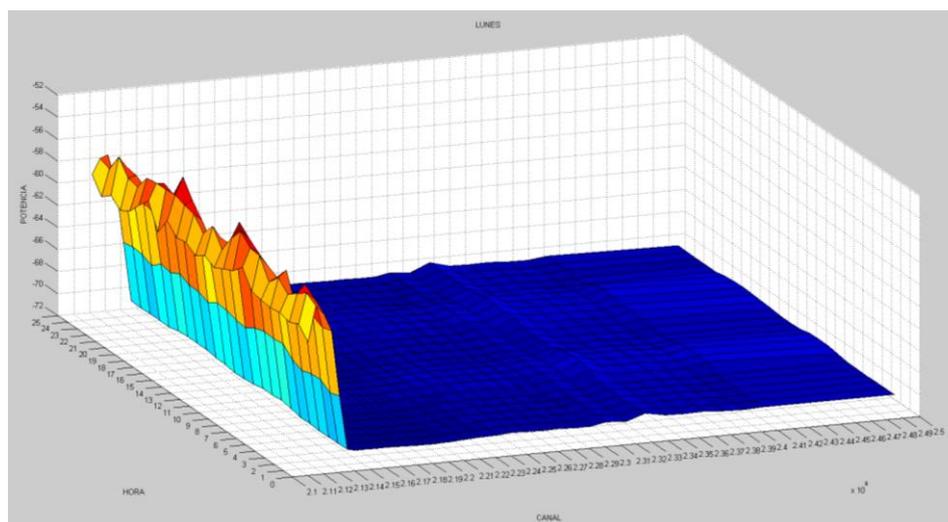
En la figura 5.2 se puede apreciar de mejor manera la disponibilidad por canal que se suscitó el día lunes, a diferencia de la figura 5.1 que es un gráfico realizado con todos los datos obtenidos del INTUILINK sin realizar una separación de los canales que operan dispuestos por el Plan Nacional De Frecuencias en el rango de frecuencias asignado



**Figura 5. 2 Disponibilidad del Día Lunes separado por canales**

La figura 5.2 detalla que existe una gran demanda de espectro en el rango de frecuencias comprendido de 2110 a 2130MHz, por otro lado el rango de 2130 a 2135MHz posee una demanda regular que esta por el 36% de ocupación y el resto de canales se los aprecia con una tonalidad azul que como se explicó anteriormente representa una gran índice de disponibilidad

La figura 5.3 es el misma figura 5.2 pero visto en forma 3D



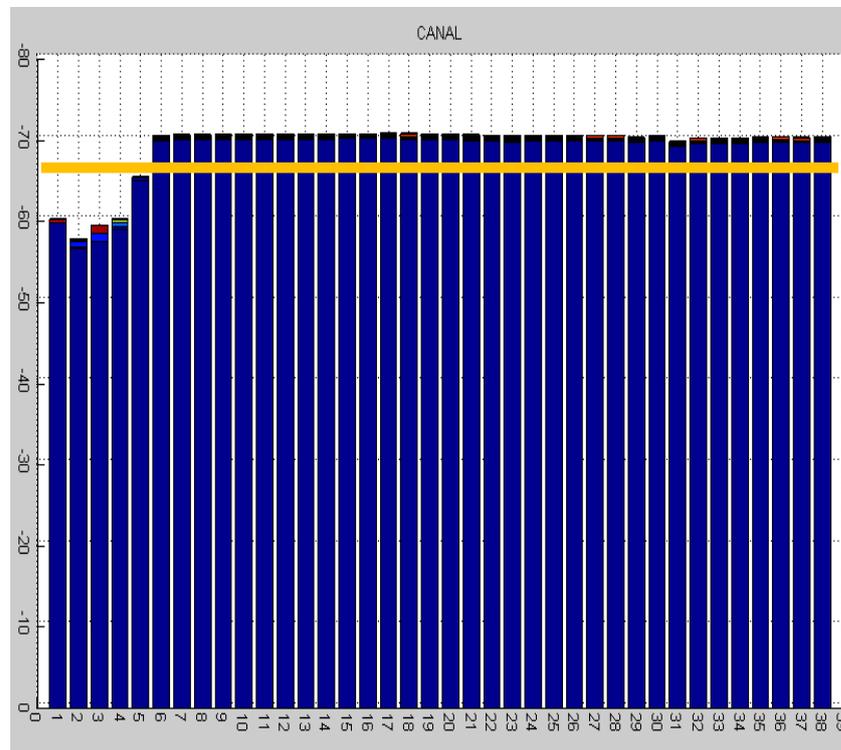
**Figura 5. 3 Día Lunes visto en forma 3D**

En donde se puede apreciar claramente los 3 ejes de interés los cuales son, horas, canales y potencias.

Por lo que teniendo presente que la potencia de umbral calculada anteriormente es de  $-66.53\text{db}$ , se puede apreciar claramente que canales fueron mayor o menor a la potencia de umbral establecida y por consiguiente si fueron o no utilizados.

En la figura 5.4 observamos los canales y las potencias dentro del rango de frecuencias asignado, la barra de color amarillo representa la potencia de umbral, este grafico nos indica que aquellos canales que superaron la potencia de umbral, es decir que traspasaron la barra horizontal de color

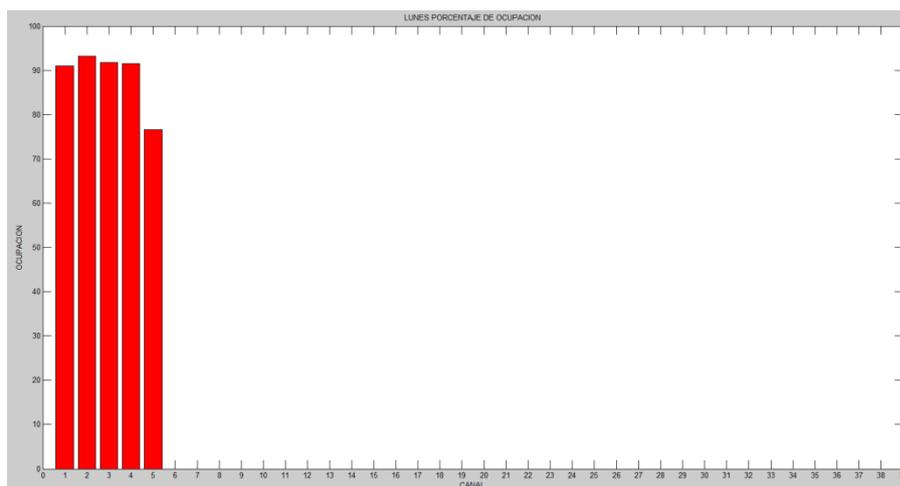
amarillo no trabajaron y aquellos que no lo hicieron estuvieron en funcionamiento.



**Figura 5. 4 Día lunes potencia de umbral**

De todos estos gráficos correspondientes al día lunes se puede notar claramente que la única actividad se dio entre los canales del 1 al 5 correspondientes al rango de frecuencias de 2110 a 2135MHZ que según el Plan Nacional De Frecuencias corresponde a las bandas asignadas para el servicio de IMT

La figura 5.5 nos detalla el ciclo de trabajo del día lunes



**Figura 5. 5 Día lunes Ciclo de Trabajo**

Un ciclo de trabajo que se lo esperaba considerando los gráficos y análisis anteriores donde se podía observar que solo producía funcionamiento en los 5 primeros canales (2110-2135MHZ).

Las tablas 5.1 y 5.2 permiten ver de una manera más detalla la explicación de la figura 5.5, indicándonos la ocupación por cada rango de frecuencias asignado por el Plan Nacional De Frecuencias tanto en forma general como desglosada de los servicios que se ofrecen en las mimas.

**Tabla 5. 1 Ciclo de trabajo General Día Lunes**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	92,07
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	91,61
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	38,26
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 2 Ciclo de trabajo Desglosado Día Lunes**

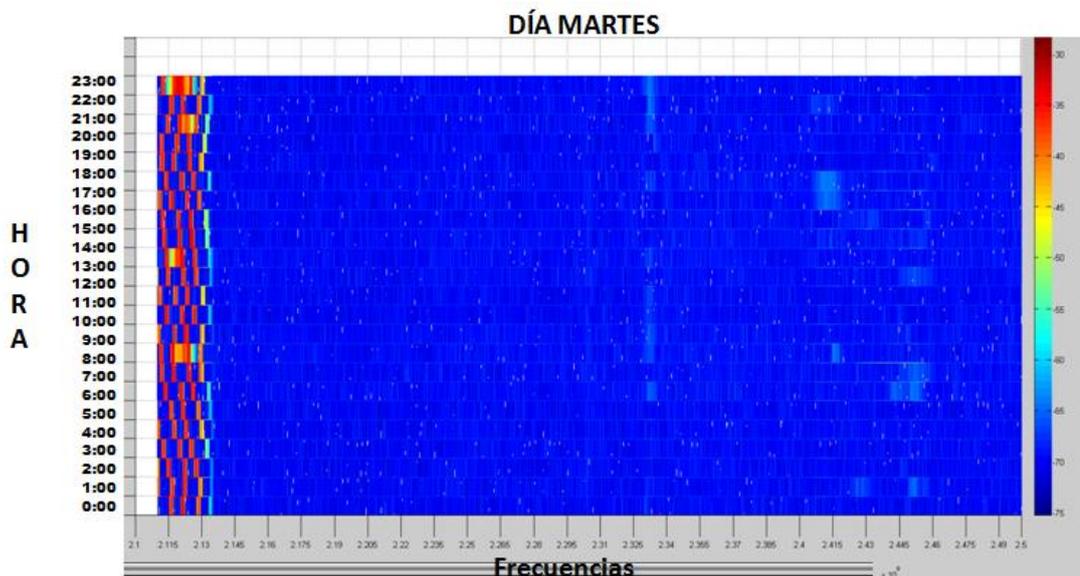
Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	90,9657321
Fijo Móvil	2115	2120	5	93,1983385
Fijo Móvil	2120	2125	5	91,7445483
Fijo Móvil	2125	2130	5	91,4849429
Fijo Móvil	2130	2135	5	76,5316719
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0

Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

### 5.1.2 DÍA MARTES

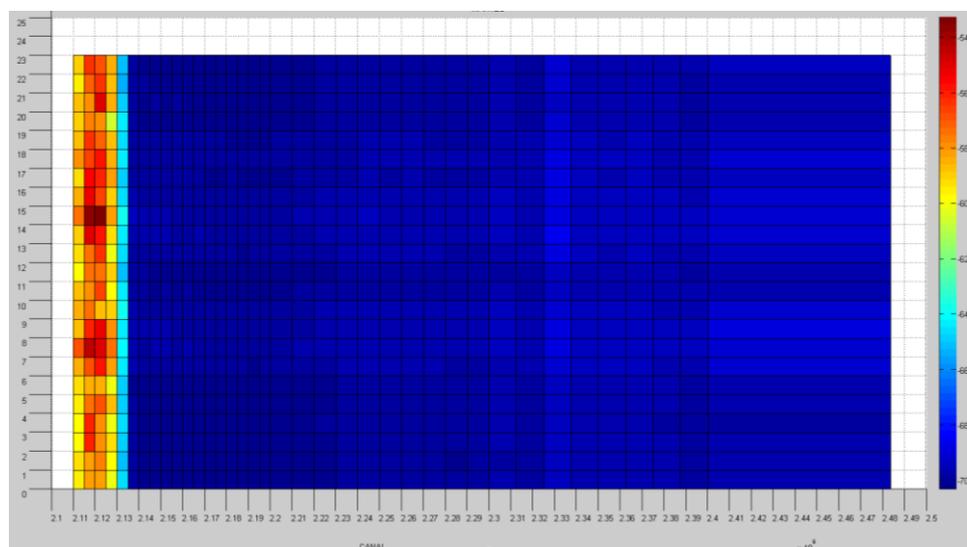
En la figura 5.6 que corresponde al día martes 17 de enero del 2015, presenta el comportamiento del rango de frecuencias asignado usando las 2000 muestras diarias obtenidas con sus 1560 puntos respectivamente.

Lo más destacable de la figura 5.6 a diferencia de la figura 5.1 que correspondía al día lunes, es que se aprecia que en las bandas asignadas a IMT existió una mayor ocupación. Ya que las tonalidades de colores son muy cercanas al color magenta oscuro lo cual nos indica una disponibilidad menor al 10%.



**Figura 5. 6 Disponibilidad Día Martes Ciclo de Trabajo**

Lo anteriormente mencionado se aprecia mejor en la figura 5.7 que nos muestra el comportamiento del día martes pero con una separación por canal.



**Figura 5. 7 Disponibilidad Día Martes Separación por Canal**

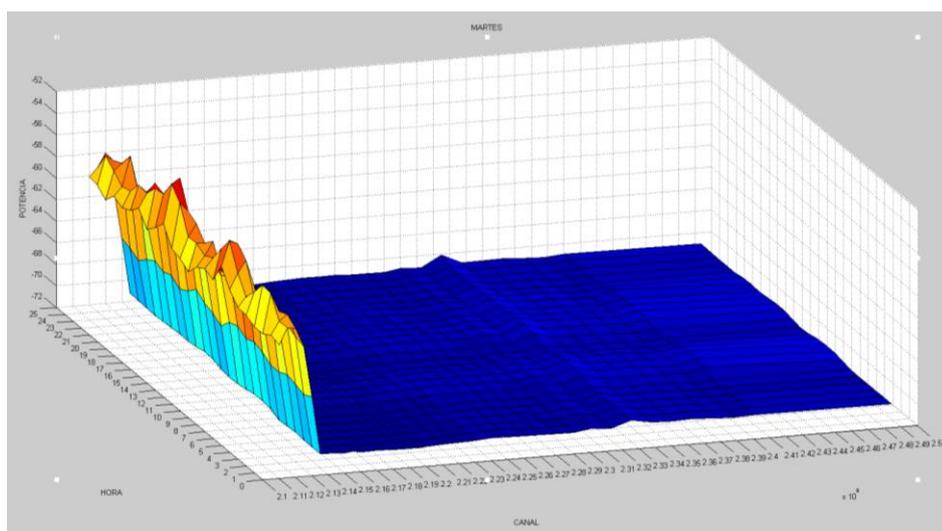
Donde se ve claramente el comportamiento de los canales por horas del día, pudiendo constatar que al igual que el día lunes solo tuvieron actividades los canales que se encuentran en el rango de frecuencias de 2110 MHz – 2135MHz, de los cuales se observa que tuvieron más actividad a las 8 am y las 3pm debido a su coloración oscura rojiza.

Con respecto a los canales que se encuentran a partir de la frecuencia 2135 MHz hasta 2500MHz se puede observar que se encontraron con una gran disponibilidad durante todo el día.

La figura 5.8 muestra una perspectiva en 3D del comportamiento del rango asignado durante el día martes.

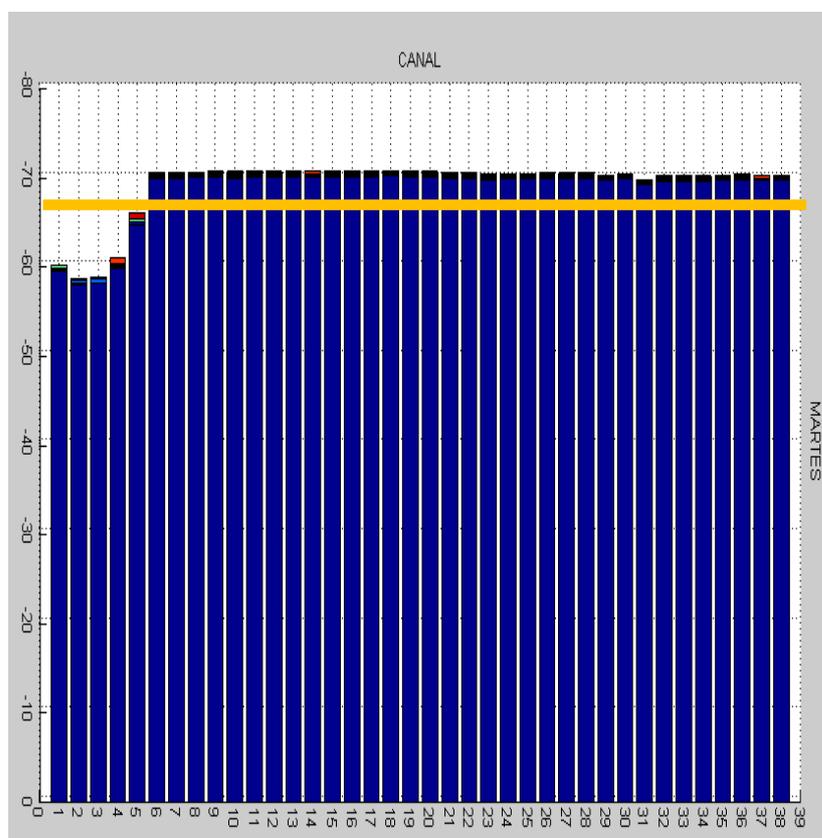
Donde podemos observar que solo las bandas asignadas a servicios de IMT son las que logran superar la potencia de umbral y por ende están siendo utilizadas.

Al segundo día de análisis en el rango de frecuencias asignado aún no se muestra actividad de los demás servicios que existen como lo son Radiolocalización, radio determinación por satélite, móvil por satélite ni tampoco se ve mucha actividad en las bandas asignadas a las Fuerzas Armadas del Ecuador, que se encuentran dentro del rango de estudio de este proyecto.



**Figura 5. 8 Día Martes Visto en forma 3D**

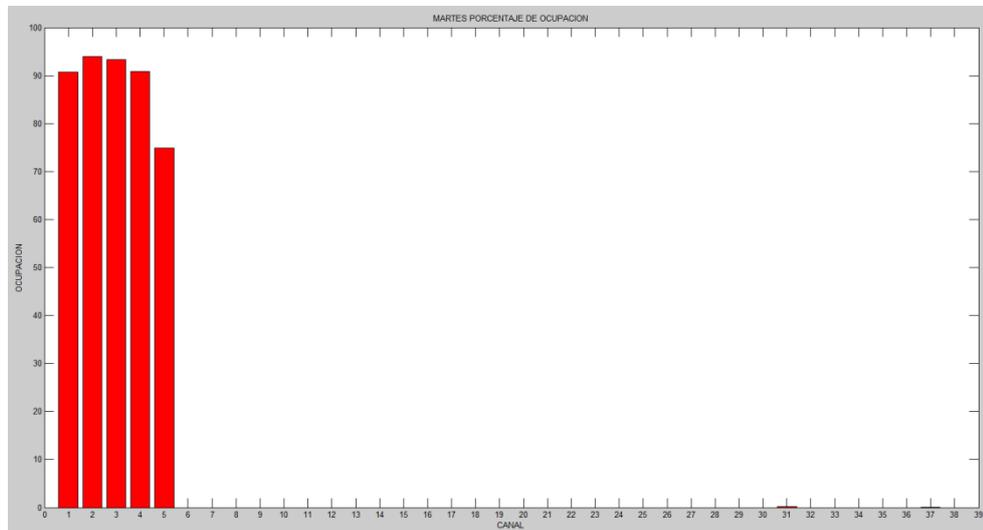
Lo anteriormente mencionado se puede apreciar más detalladamente en la figura 5.9 que nos muestra que canales tuvieron actividad tomando como referencia la potencia de umbral.



**Figura 5. 9 Día Martes potencia de umbral**

Donde una vez más se aprecia que solo hasta el canal 5 del rango de frecuencias de estudio existió actividad. Ya que no superaron el -66.53 db que representa la barra de color amarillo referente a la potencia de Umbral.

En la figura 5.10 se puede apreciar el ciclo de trabajo del día martes, ciclo muy definido en los primeros 5 canales, poco notorio en el canal 31 y 37 quedando finalmente nulo en los canales restantes.



**Figura 5. 10 Día Martes Ciclo de Trabajo**

El pequeño ciclo de trabajo manifestado en el canal 31 y 37 se lo parecía en la tabla 5.3 y 5.4.

**Tabla 5. 3 Ciclo de trabajo General Día Martes**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	92,33
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	92,07
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	37,43
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0,01875
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0,1
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 4 Ciclo de trabajo Desglosado Día Martes**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	90,7580478
Fijo Móvil	2115	2120	5	93,9252336
Fijo Móvil	2120	2125	5	93,3541018
Fijo Móvil	2125	2130	5	90,8099688
Fijo Móvil	2130	2135	5	74,8701973
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0

Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0,15576324
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0,10384216
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

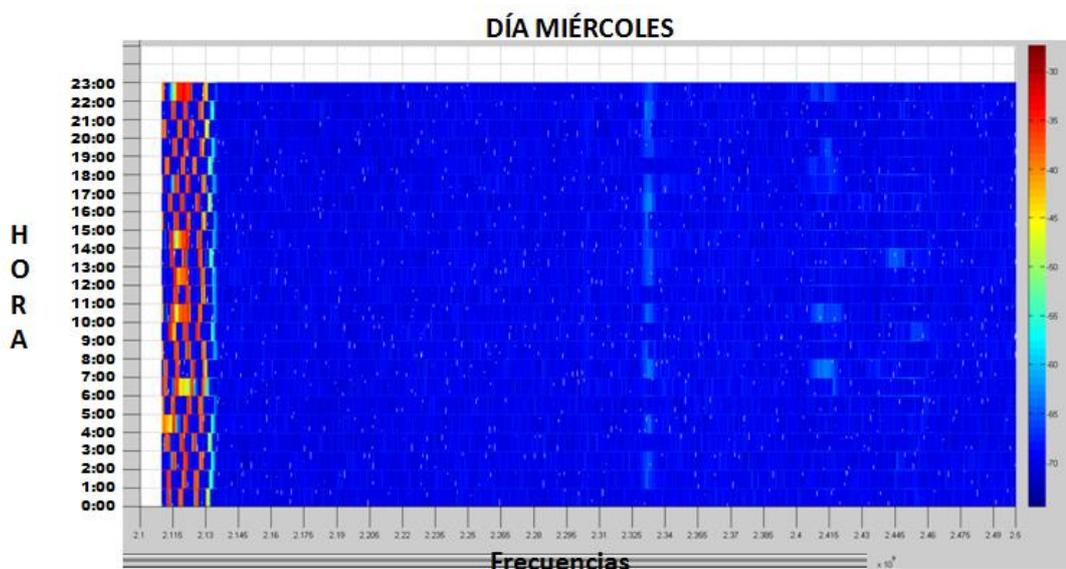
Ese pequeño ciclo de trabajo indica que durante el día martes hubo ocupación de esos canales pero fue tan mínima y tan breve en tiempo que ni siquiera llego al 1%. Una vez realizados los cálculos correspondientes.

### 5.1.3 DÍA MIÉRCOLES.

La figura 5.11 al igual que las figuras 5.1 y 5.6 muestran el comportamiento general del día miércoles usando las 2000 muestras con sus respectivos 1560 puntos.

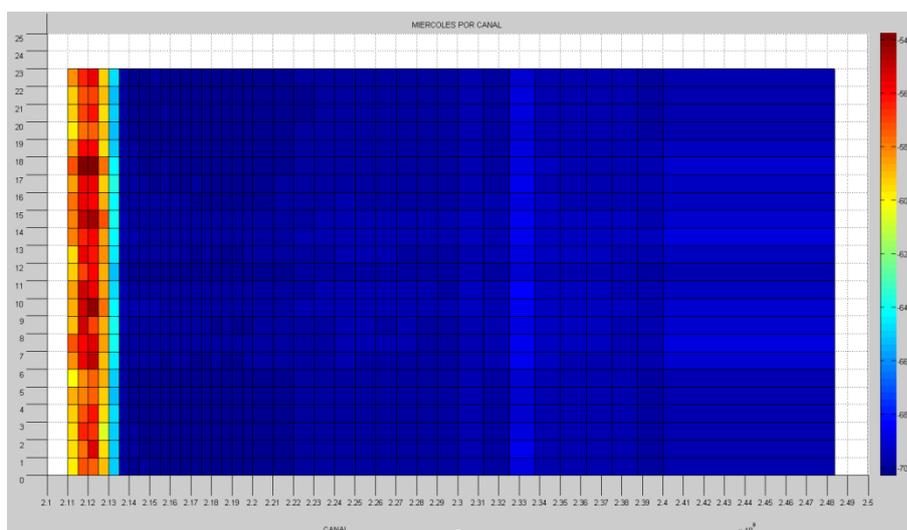
El día miércoles corresponde a la mitad de los días de la semana laboral, porque lo que se puede apreciar una tendencia en el comportamiento del rango de frecuencias asignado.

Como hemos presenciado en gráficos anteriores y en el actual, las frecuencias más utilizadas son las correspondientes a los servicios destinados a IMT.



**Figura 5. 11 Disponibilidad Día Miércoles**

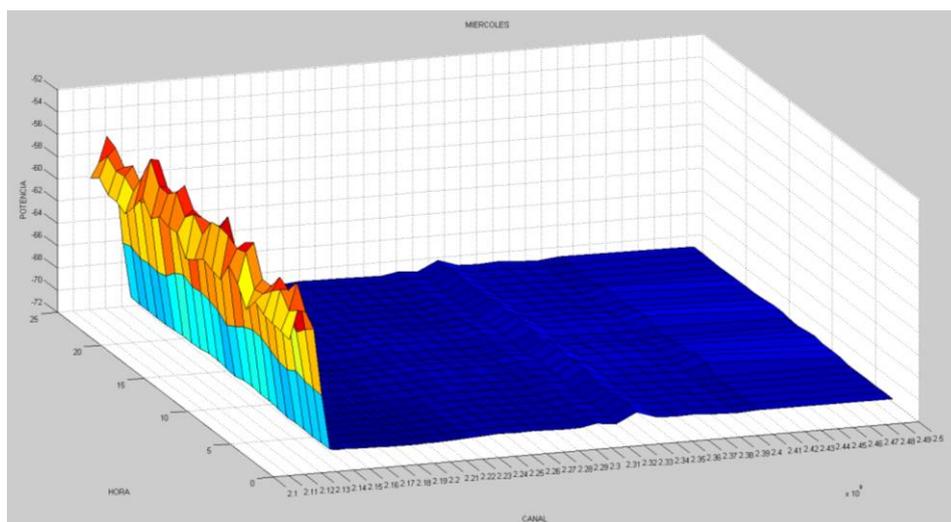
Los primeros cinco canales siguen una tendencia de ocupación del 90%, mientras que los demás cuentan con una amplia disponibilidad tal y como se aprecia en la figura 5.12



**Figura 5. 12 Disponibilidad Día Miércoles Separado por canales**

La gama de color azul en el rango de frecuencia de 2135 a 2500MHz correspondientes a los canales 6 hasta el 38 nos indican la baja utilización de esas frecuencias.

La figura 5.13 nos presenta una vista en 3D del comportamiento del rango de frecuencias asignado durante el día miércoles.

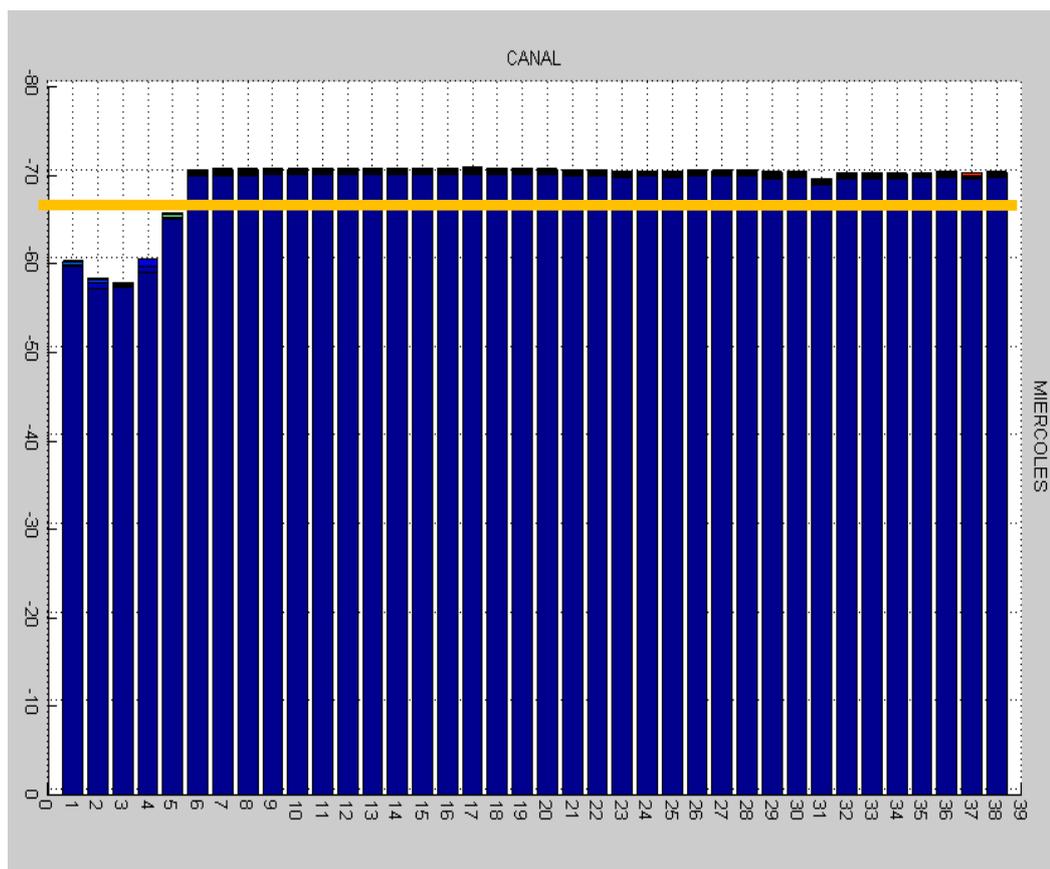


**Figura 5. 13 Día Miércoles visto en 3D**

Comportamiento muy similar a los vistos en los gráficos en 3D de los días lunes y martes.

Donde solo los 5 primeros canales logran superar el piso de ruido y por ende están en funcionamiento.

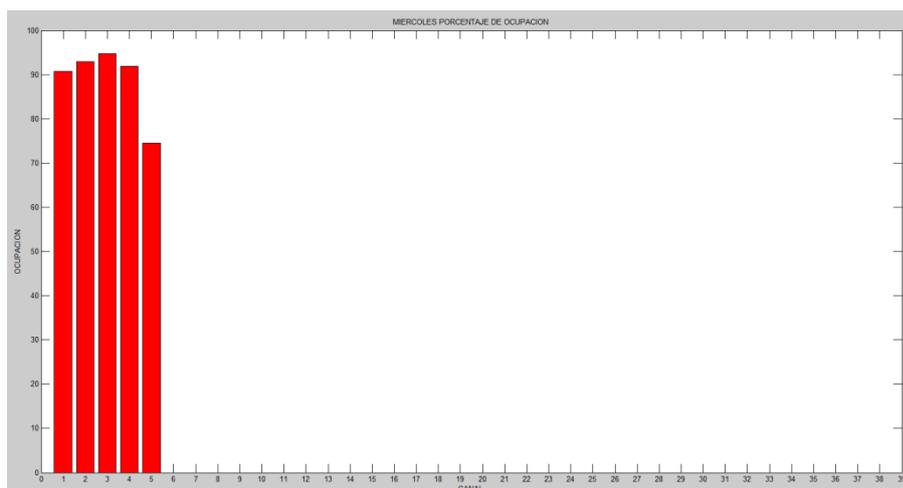
Esto se aprecia de manera más clara en la figura 5.14 donde se observa claramente como las potencias de los canales 6 hasta el canal 38 son menores a la potencia de umbral establecido mediante cálculos para el análisis del rango de frecuencias asignado



**Figura 5. 14 Día Miércoles potencia de umbral**

El ciclo de trabajo obtenido para el día miércoles también es muy similar al de los calculados para el día lunes y martes.

No solo gráficamente sino también en lo porcentual tal como se presenta en la figura 5.15 y en las tablas 5.5 y 5.6.



**Figura 5. 15 Día Miércoles Ciclo de Trabajo**

**Tabla 5. 5 Ciclo de trabajo General Día Miércoles**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CYCLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	91,84
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	93,3
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	37,22
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 6 Ciclo de trabajo Desglosado Día Miércoles**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	90,7580478
Fijo Móvil	2115	2120	5	92,9387331
Fijo Móvil	2120	2125	5	94,7040498
Fijo Móvil	2125	2130	5	91,9003115
Fijo Móvil	2130	2135	5	74,4548287
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0
Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0

Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

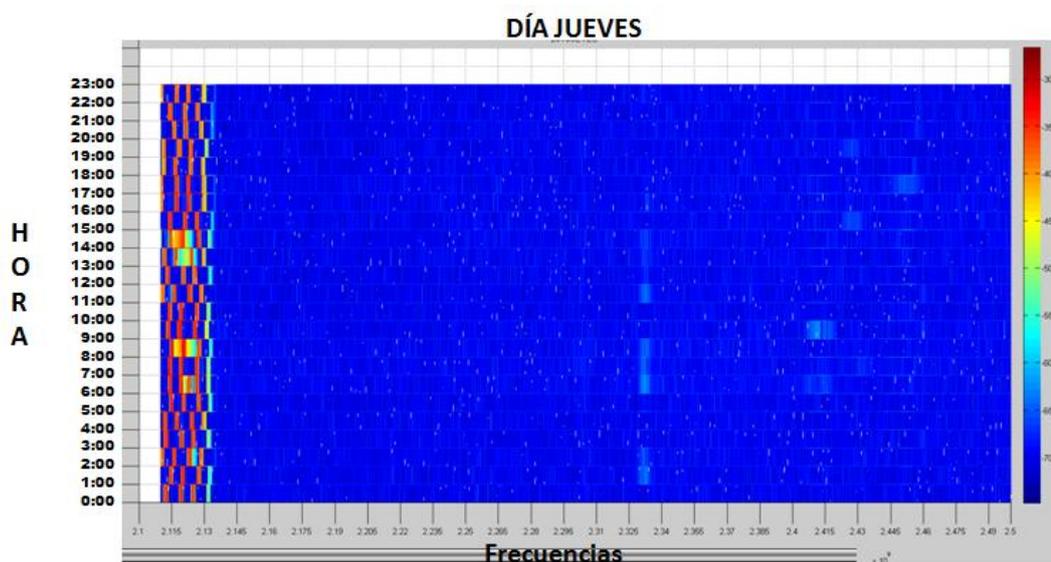
Si comparamos los ciclos de trabajos de los tres primeros días se puede apreciar que los 4 primeros canales poseen un porcentaje del 90% de ocupación, el quinto canal ronda el 67% y que el canal 31 y 37 a pesar de haber tenido un ciclo de trabajo muy pequeño el día martes que no supero el 0.1% se puede decir que los canales número 6 hasta el 38 han generado un ciclo de trabajo del 0%

#### 5.1.4 DÍA JUEVES.

La Figura 5.16 nos muestra el comportamiento general del día jueves considerando sus 2000 muestras con sus respectivos 1560 puntos.

Lo más interesante de este grafico en comparación a los anteriores es que se puede apreciar como la disponibilidad de los 5 primeros canales cambia en por hora.

Se aprecia una gama de colores que juega desde un azul cielo que representa un 66% de disponibilidad hasta un magenta oscuro intenso que representan solo un 10% de disponibilidad

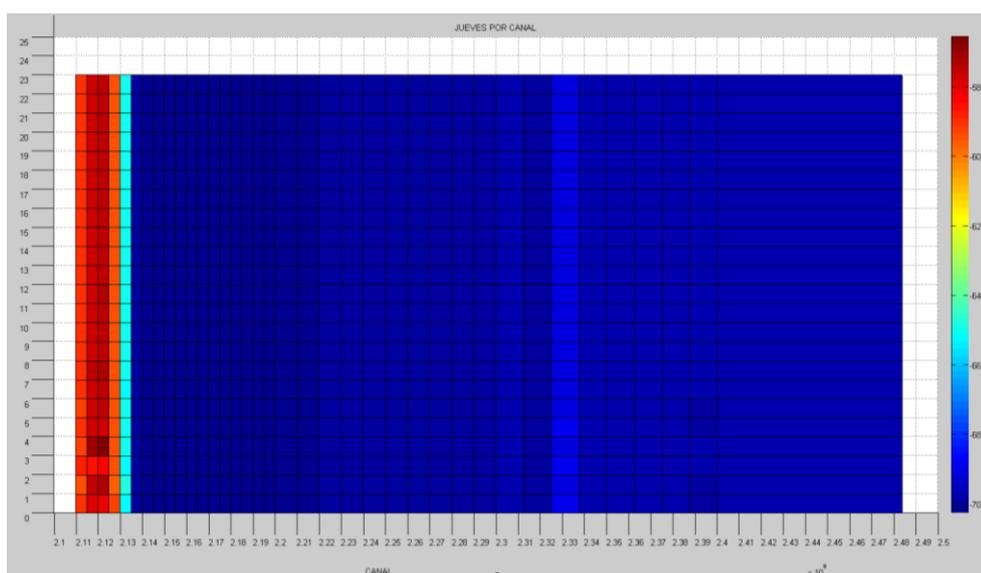


**Figura 5. 16** Disponibilidad Día Jueves.

Hay que tener muy presente que el gráfico es realizado de las muestras tomadas durante todo el día cada 43 segundos.

La figura 5.16 que el mismo grafico 5.17 solo que separado por canales, por lo cual detalla mejor el comportamiento del día jueves, en donde se ve claramente como las bandas asignadas a IMT están siendo utilizadas y aprovechadas al máximo todo el día. A diferencia de los otros servicios asignados a al rango de frecuencias de 2110-2500Mhz que siguen siendo infrautilizados.

Por otro lado el rango de 2300 a 2400MHz reservado para las fuerzas armadas juega con una tonalidad de azul que nos indica una disponibilidad del 70% al 60%

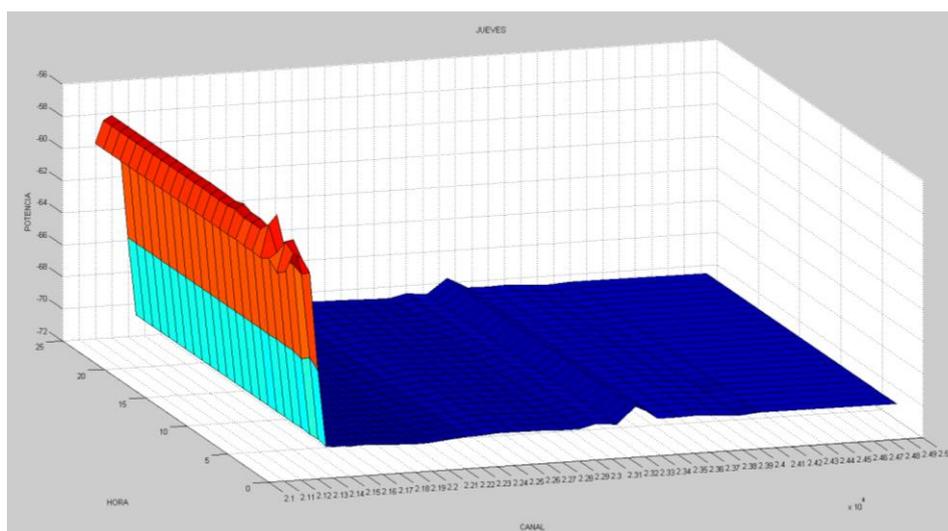


**Figura 5. 17** Disponibilidad Día Jueves separado por canal

De lo que hemos observado hasta el día jueves la tercera banda asignada a IMT que es de 2160 a 2170MHz que corresponden a canal 5 y 6, solo se manifiesta actividad en el canal 5, actividad va hasta un 70% mientras que la actividad del canal 6 es prácticamente nula.

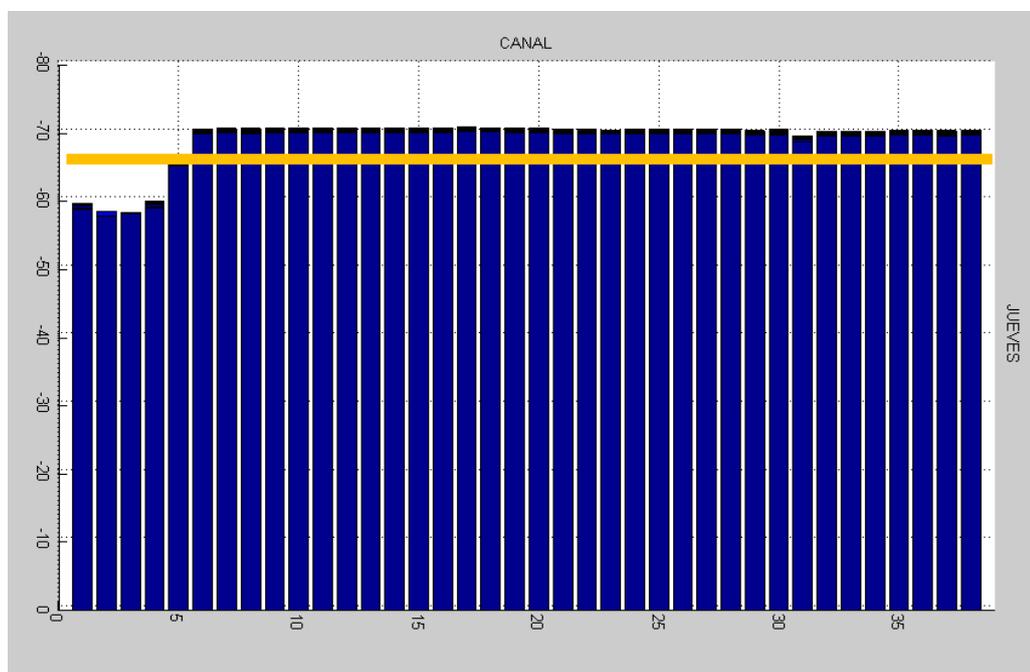
La figura 5.18 nos da una visión en 3D del comportamiento del día jueves. En donde se aprecian picos de color naranja que sobrepasan a la potencia de umbral establecido para la realización del proyecto.

También se aprecian otros picos en la zona de color azul que no superaron el -66.53db para ser considerados en uso.



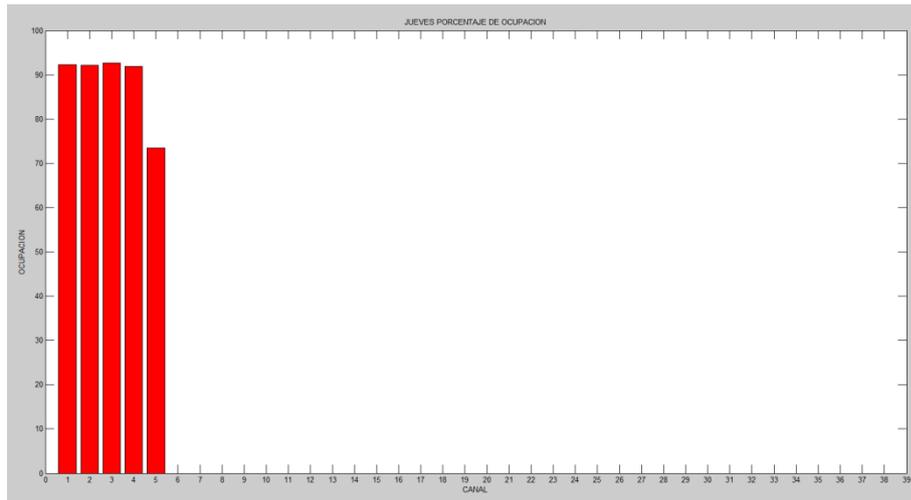
**Figura 5. 18 Día Jueves visto en 3D**

La figura 5.19 permite observar que canales están en actividad tomando como referencia la potencia de umbral



**Figura 5. 19 Día Jueves potencia de umbral**

El ciclo de trabajo para el día jueves es mostrado en la figura 5.20 en donde podemos apreciar como las barras de los 4 primeros canales pasan del 90% lo cual se aprecia mejor en las tablas 5.7 y 5.8 en donde tenemos un desglose por canal y bandas de frecuencias según la asignación del Plan Nacional De Frecuencias.



**Figura 5. 20 Día Jueves ciclo de trabajo.**

**Tabla 5. 7 Ciclo de trabajo General Día Jueves.**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	92,62
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	92,23
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	36,73
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

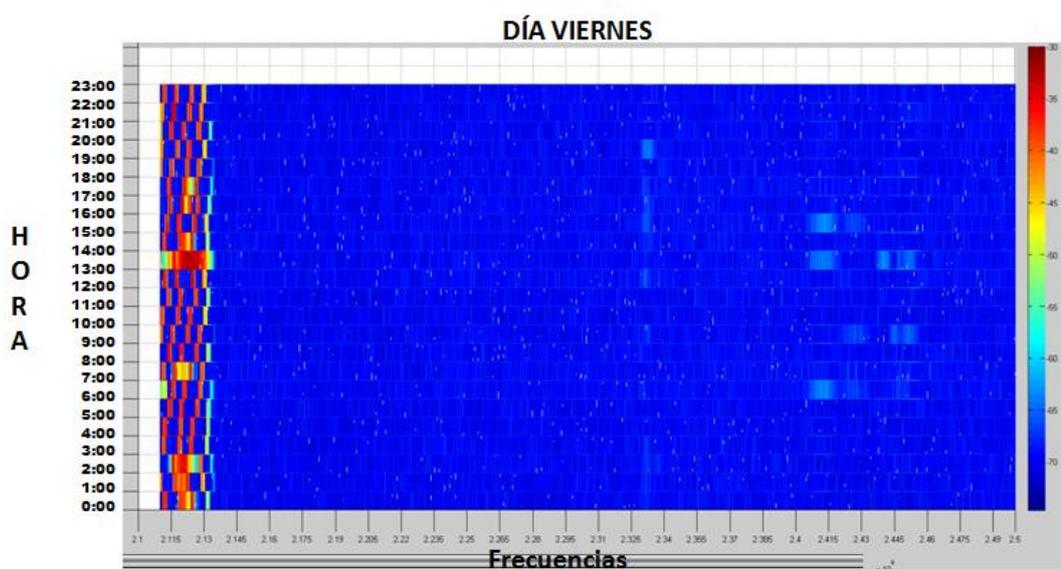
**Tabla 5. 8 Ciclo de trabajo Desglosada Día Jueves.**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	92,3156802
Fijo Móvil	2115	2120	5	92,211838
Fijo Móvil	2120	2125	5	92,6272066
Fijo Móvil	2125	2130	5	91,8483904
Fijo Móvil	2130	2135	5	73,4683281

Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0
Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

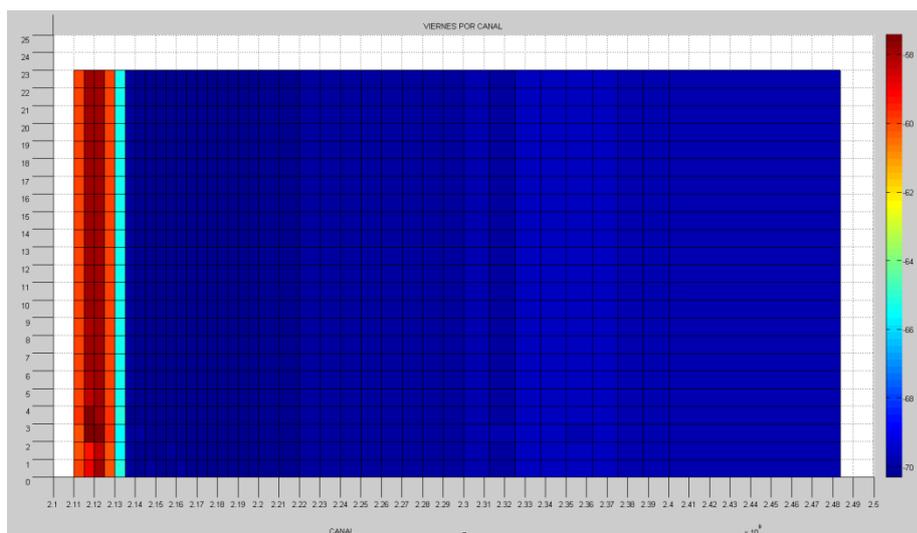
### 5.1.5 DÍA VIERNES.

La figura 5.21 presenta el comportamiento del día viernes a lo largo de toda la frecuencia de estudio que es de 2110MHz a 2500MHz considerando las 2000 muestras con 1560 puntos obtenidas cada 43 segundos a lo largo de todo el día.



**Figura 5. 21 Disponibilidad Día Viernes.**

Para una mejor apreciación de lo acontecido en el día viernes, es mejor analizar la figura 5.22 que es el misma figura 5.21 solo que separada por canales



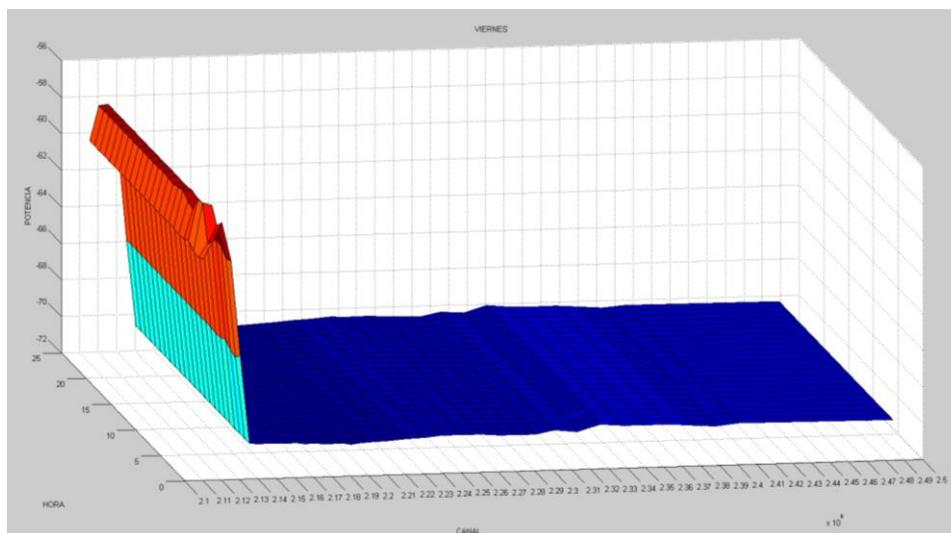
**Figura 5. 22 Disponibilidad Día viernes separado por canales**

En el cual notamos que las bandas asignadas a IMT presentan una gran ocupación ya que su gama de color magenta oscuro esta sobre el 90% de ocupación.

También se aprecia que esa ocupación es constante a lo largo del día siendo más notoria desde las 10 am hasta el final del día (11:59 pm).

La tercer banda de IMT sigue teniendo una ocupación media correspondiente al color azul cielo, mientras que las bandas restantes correspondientes a servicios de Radiolocalización, radio determinación por satélite, móvil por satélite y espectro asignado a las FFAA siguen teniendo un margen de disponibilidad muy grande tal y como se lo ha visto en los gráficos de los días anteriores.

La figura 5.23 nos muestra una vista 3D del grafico anterior.

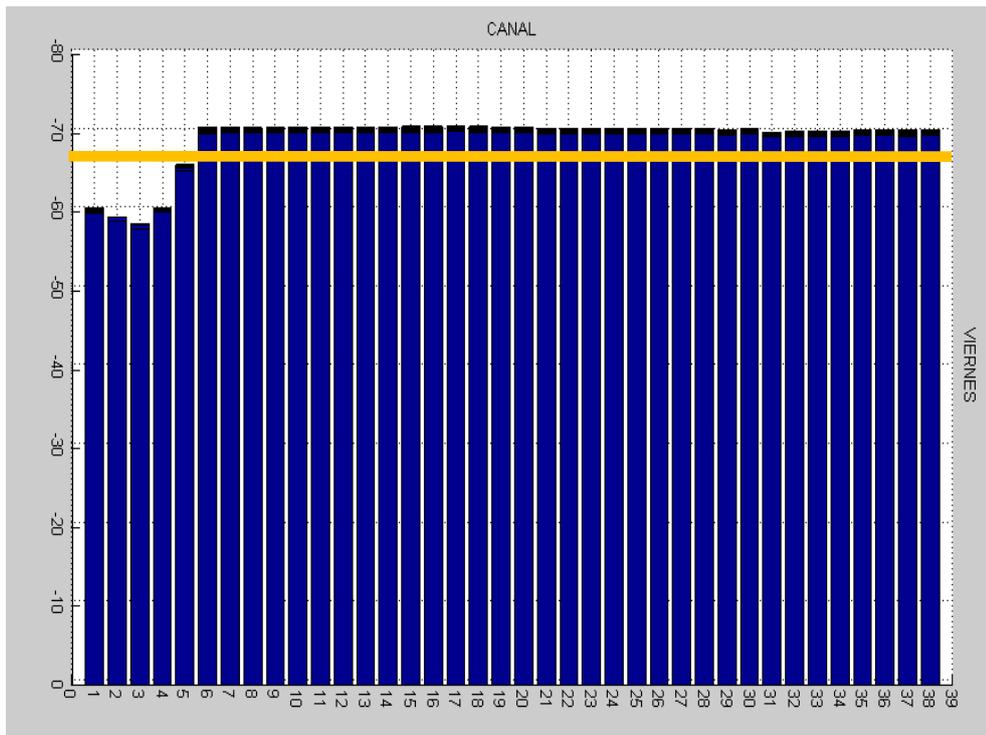


**Figura 5. 23 Día Viernes visto en 3D**

La figura 5.24 nos muestra los canales que presentaron actividad tomando como referencia la potencia de umbral.

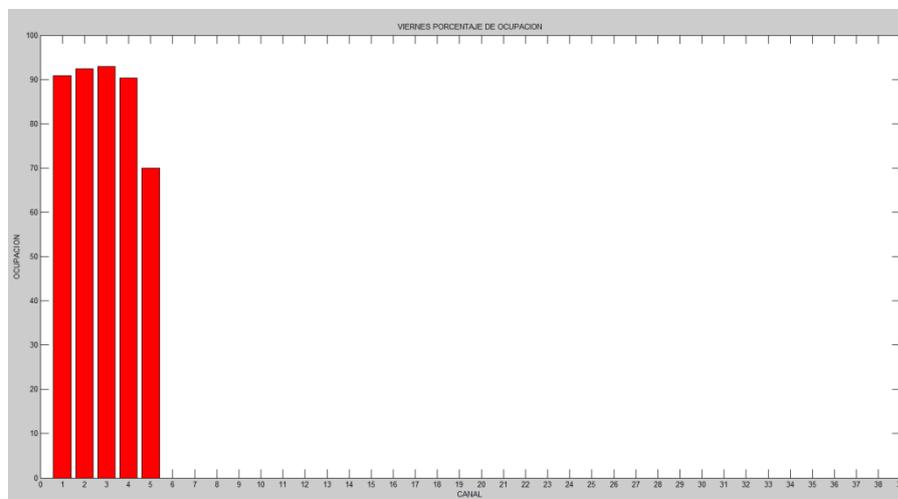
Los canales del 1 al 5 son los únicos que cumplen con la condición de ser mayores a la potencia de umbral y por ende son los únicos activos.

A este punto después de poder observar el comportamiento de los 5 primeros días se puede expresar que dentro del rango de frecuencias asignados los únicos canales con actividad son los 5 primeros y el resto de canales o rangos de frecuencias están siendo infrautilizados.



**Figura 5. 24 Día Viernes potencia de umbral**

En la figura 5.25 se detalla el ciclo de trabajo del día viernes



**Figura 5. 25 Día Viernes ciclo de trabajo**

En las tablas 5.9 y 5.10 se detallan el ciclo de trabajo por servicio y rango de frecuencias.

**Tabla 5. 9 Ciclo de trabajo General Día viernes.**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	91,66
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	91,63
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	34,99
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 10 Ciclo de trabajo Desglosada Día viernes**

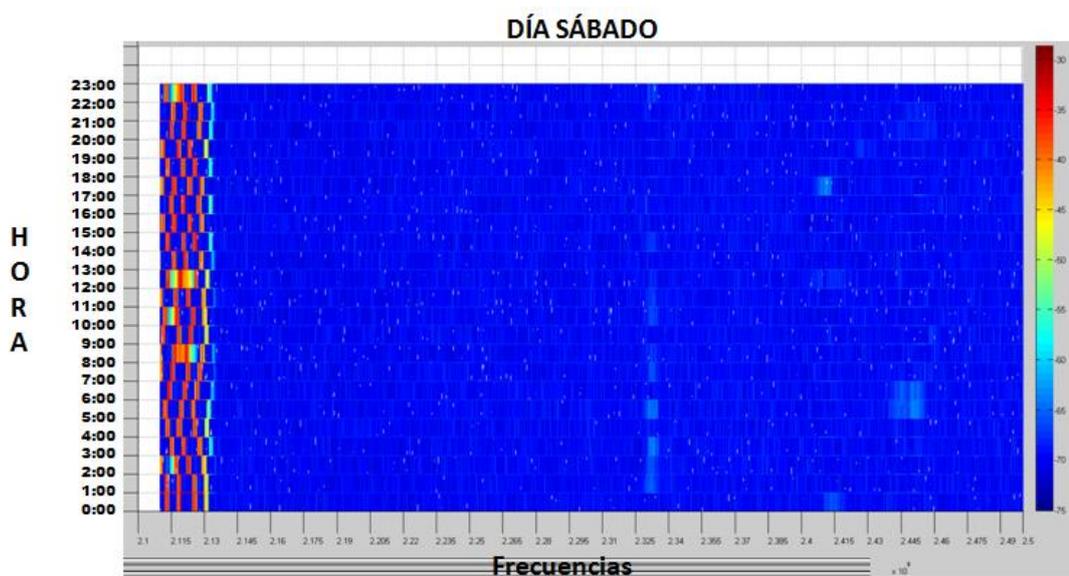
Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	90,913811
Fijo Móvil	2115	2120	5	92,4195223
Fijo Móvil	2120	2125	5	92,886812
Fijo Móvil	2125	2130	5	90,3946002

Fijo Móvil	2130	2135	5	69,9896158
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0
Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

### 5.1.6 DÍA SÁBADO.

La figura 5.26 presenta el comportamiento del día sábado a lo largo de toda la frecuencia de estudio que es de 2110MHz a 2500MHz considerando las 2000 muestras con 1560 puntos obtenidas cada 43 segundos a lo largo de todo el día.

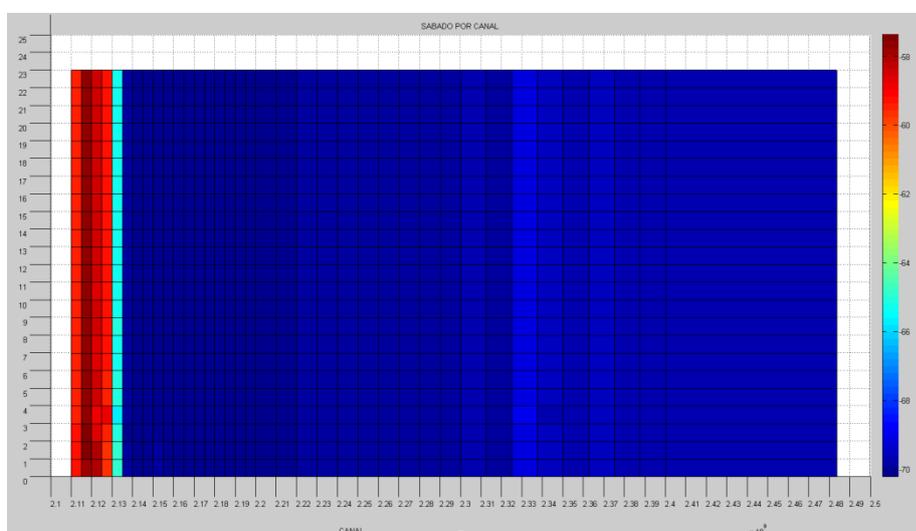
El cual muestra como en los días anteriores una gran actividad en las primeras bandas que son las asignadas por el plan nacional de frecuencia a IMT y muy poca actividad en los enlaces fijos y frecuencias militares.



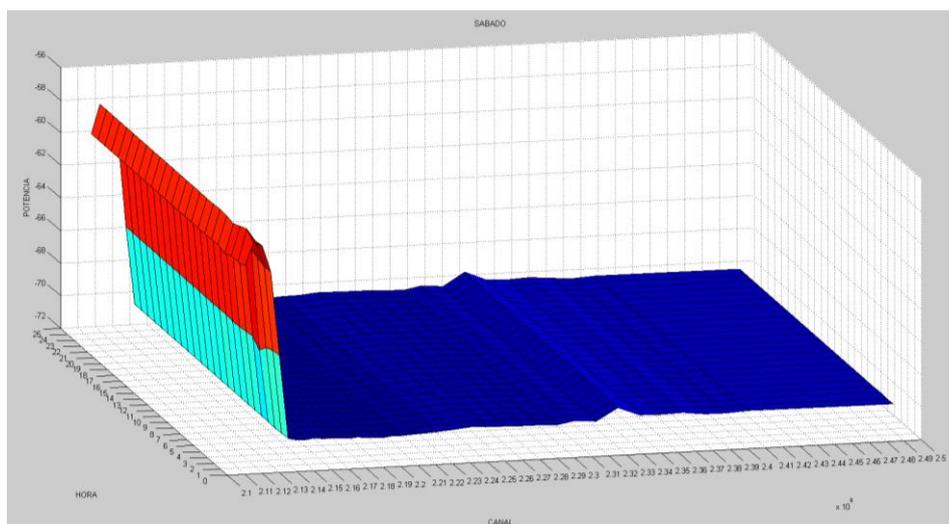
**Figura 5. 26 Disponibilidad Día sábado**

Esto se sustenta en lo observado en las figuras 5.27 y 5.28 que muestran de manera más detallada la actividad en los canales correspondientes a cada una de sus bandas asignadas según el plan nacional de frecuencias.

La diferencia más notoria con respecto los otros días es tonalidad rojiza oscura muy acentuada en el canal 2 que nos indica un alto índice de ocupación en ese canal y también se observa un poco disponibilidad en los canales 1, 3 y 4 correspondientes a IMT, seguidos de una ligera actividad en el canal 5 y de casi ninguna actividad en el resto de los canales.

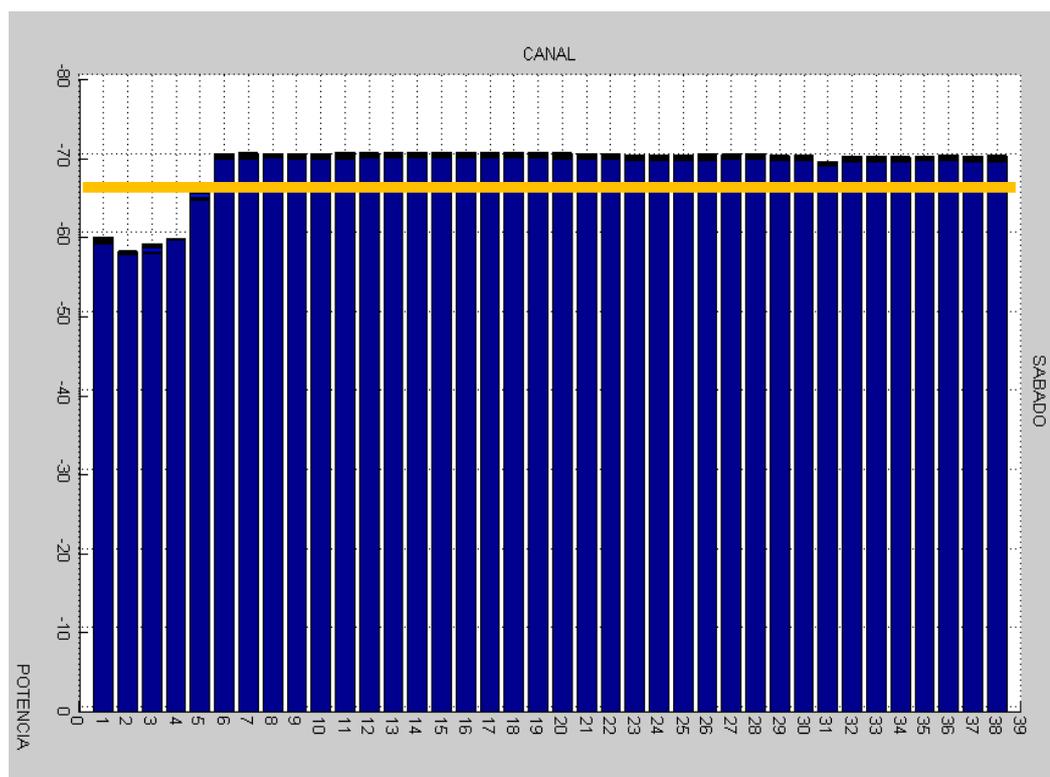


**Figura 5. 27 Disponibilidad Día sábado separado por canal**



**Figura 5. 28 Día sábado visto en 3D**

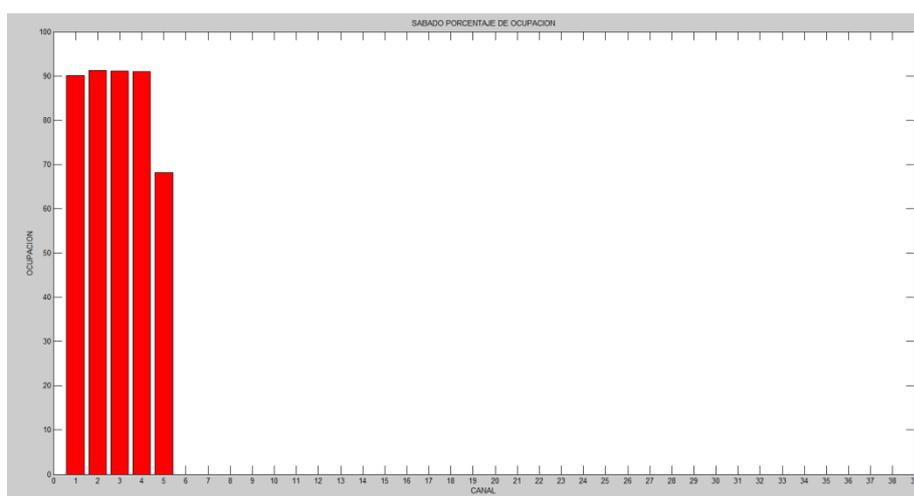
En la figura 5.29 tenemos la representación del día sábado por canal vs la potencia recibida y notamos que, corroborando los gráficos anteriores la actividad se muestra en los primeros canales ya que solo ellos superan el umbral el resto no registra actividad alguna.



**Figura 5. 29 Día sábado potencia de umbral**

Lo antes mencionado en la figura 5.29 lo podemos apreciar de mejor manera en la figura 5.30, registrando en ella los porcentajes de ocupación de cada canal del día sábado.

Esto nos demuestra que, con la ayuda de los demás gráficos presentados hasta el momento el resto de los canales está siendo poco utilizado.



**Figura 5. 30 Día sábado ciclo de trabajo**

En las tablas 5.11 y la 5.12 podemos apreciar por bandas y por canales de mejor manera lo antes explicado en gráficos.

**Tabla 5. 11 Ciclo de trabajo General Día sábado**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	90,65
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	91,03
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	34,06
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 12 Ciclo de trabajo Desglosado Día sábado**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	90,0311526
Fijo Móvil	2115	2120	5	91,2772586
Fijo Móvil	2120	2125	5	91,0695742
Fijo Móvil	2125	2130	5	91,0176532
Fijo Móvil	2130	2135	5	68,1204569
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0

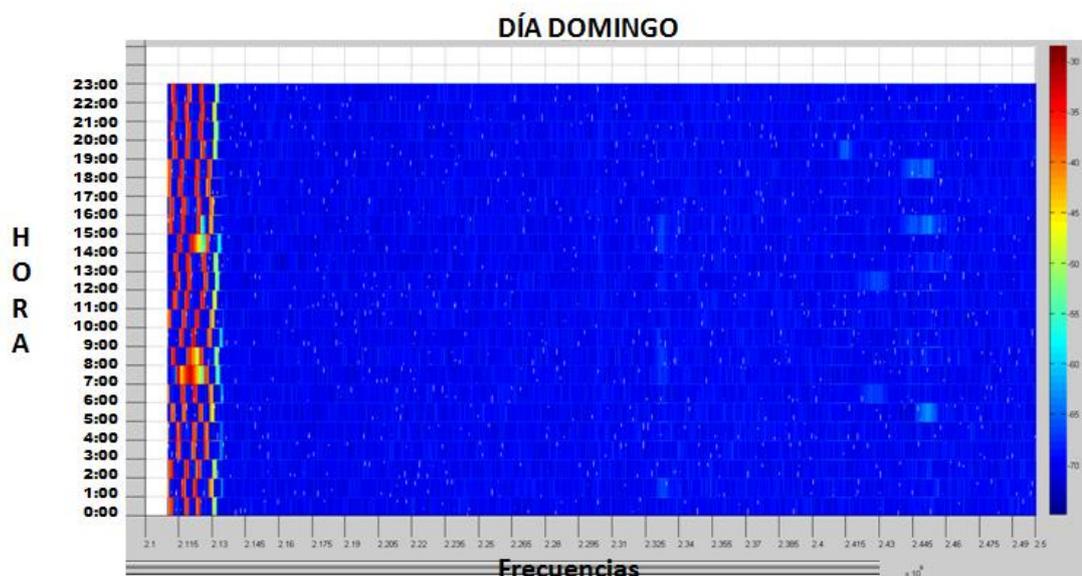
Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

### 5.1.7 DÍA DOMINGO

La figura 5.31 nos muestra el comportamiento general del día domingo considerando sus 2000 muestras con sus respectivos 1560 puntos.

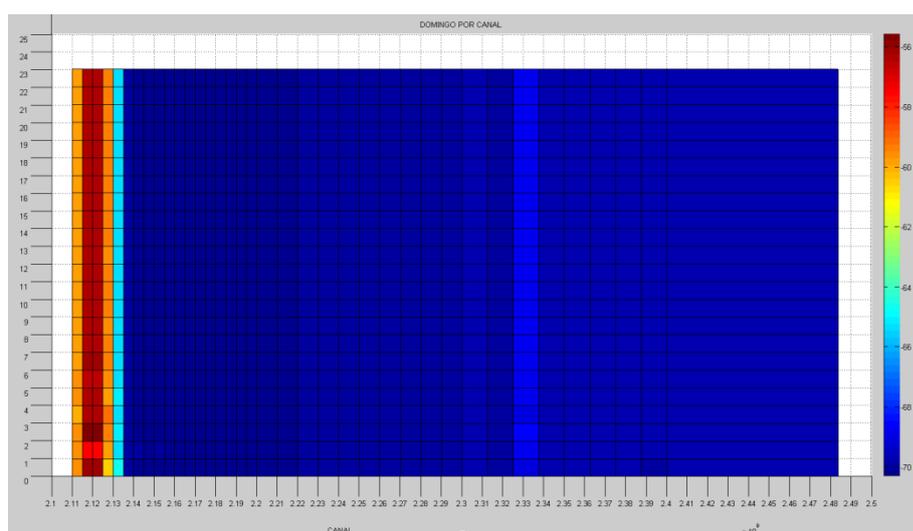
Lo más interesante de este gráfico en comparación a los anteriores es que se puede apreciar como la disponibilidad de los 5 primeros canales se mantiene constante en comparación con el resto de los días.

Se aprecia una gama de colores que juega desde un azul cielo que representa un 66% de disponibilidad hasta un magenta oscuro intenso que representan solo un 10% de disponibilidad, a pesar de ser domingo en el lugar de la medición (campus de la ESPOL una zona considerada semi rural) se registra una gran actividad.

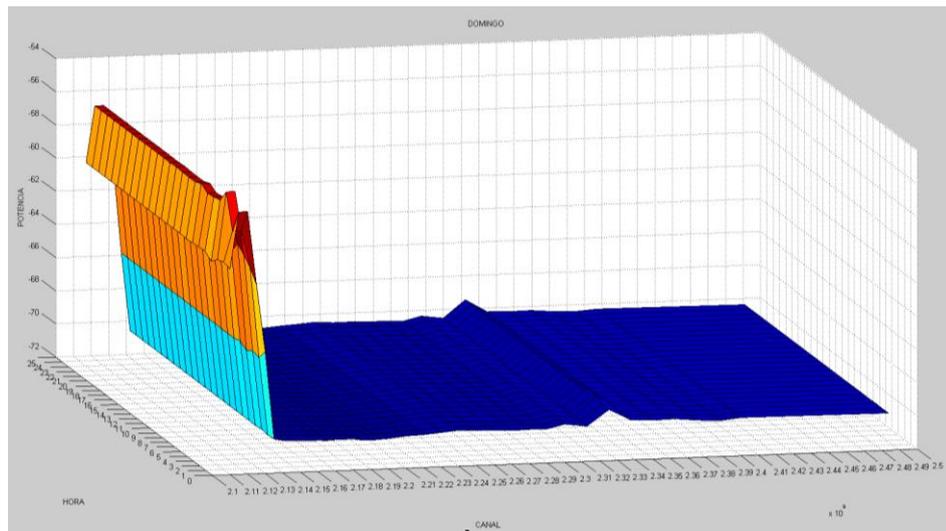


**Figura 5. 31 Disponibilidad Día domingo**

En la figura 5.32 podemos apreciar de manera más clara la actividad por canal y su tendencia a pesar de ser un día en el cual se supondría muy pocas personas estarían muy cerca del lugar de nuestra medición, su registro continua constante como el resto de los días y el patrón se mantiene en alta actividad en los primeros 5 canales y casi nula en el resto.

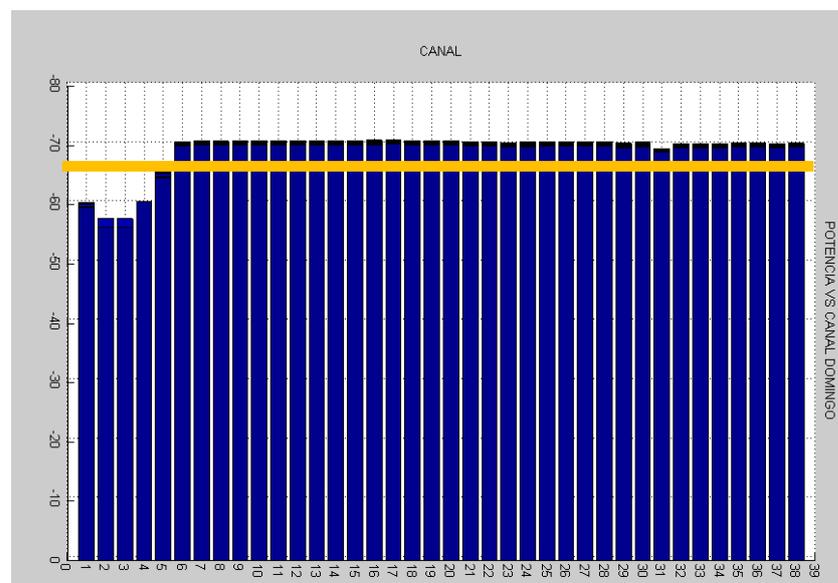


**Figura 5. 32 Disponibilidad Día domingo separado por canal**

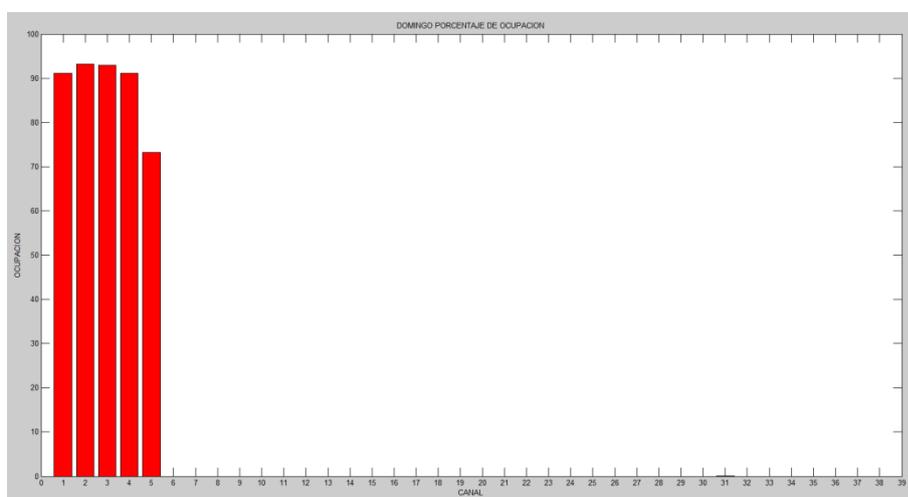


**Figura 5. 33 Día domingo visto en 3D**

Esto lo podemos reafirmar observando las figuras 5.33 y 5.34 guardando una relación de potencia ya esperada para el análisis, con una alta tasa de trabajo en los primeros canales y nula en los últimos.



**Figura 5. 34 Día domingo potencia de umbral**



**Figura 5. 35 Día domingo ciclo de trabajo**

En la figura 5.35 y en las tablas 5.13 y 5.14 se puede apreciar el porcentaje de ocupación de cada canal siendo los más ocupados los que pertenecen a los servicios de IMT y prácticamente infrautilizados a los que se refieren a enlaces fijos, radioeléctricos y determinación por satélite, viéndose muy escasamente actividad en las bandas de las frecuencias militares.

**Tabla 5. 13 Ciclo de Trabajo General Día Domingo**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CYCLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	92,13
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	92,05
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	36,6
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0,006375
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 14 Ciclo de trabajo Desglosado Día Domingo**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CYCLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	91,12149533
Fijo Móvil	2115	2120	5	93,14641745
Fijo Móvil	2120	2125	5	92,99065421
Fijo Móvil	2125	2130	5	91,12149533
Fijo Móvil	2130	2135	5	73,20872274
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0
Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0

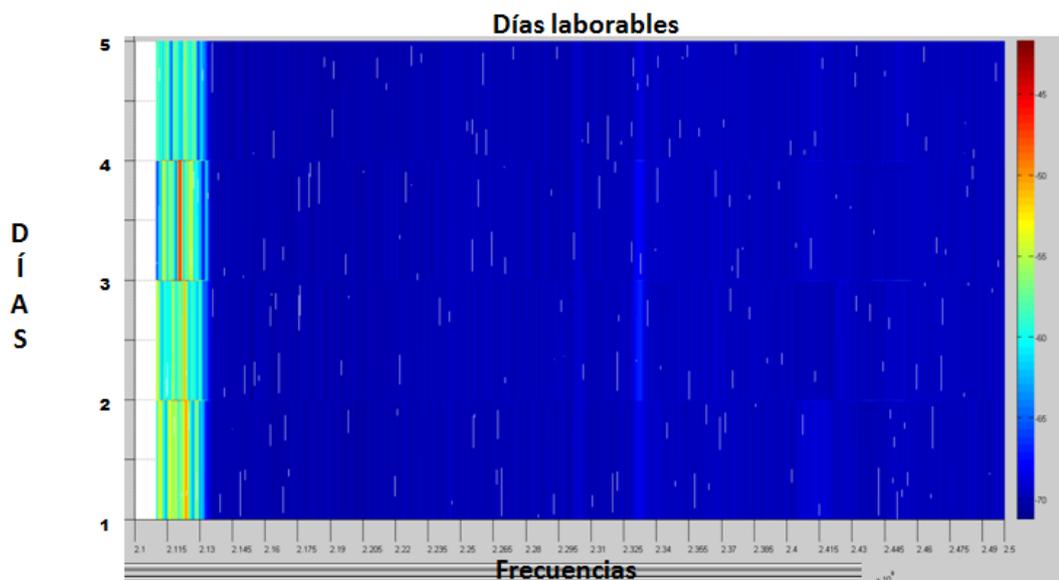
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0,05192108
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

### 5.1.8 DÍAS LABORABLES

Con los gráficos anteriores se pudo apreciar el comportamiento de las señales dentro del rango de frecuencia asignado por días.

La figura 5.36 nos detalla el comportamiento general de los días laborables (lunes a viernes) considerando las 10000 muestras que corresponden a los 5 primeros días (2000 muestras por días) con sus respectivos 1560 puntos

En los cuales se aprecia el comportamiento por día y también se puede apreciar como existieron destellos de actividad en las frecuencias que no pertenecen al servicio de IMT.

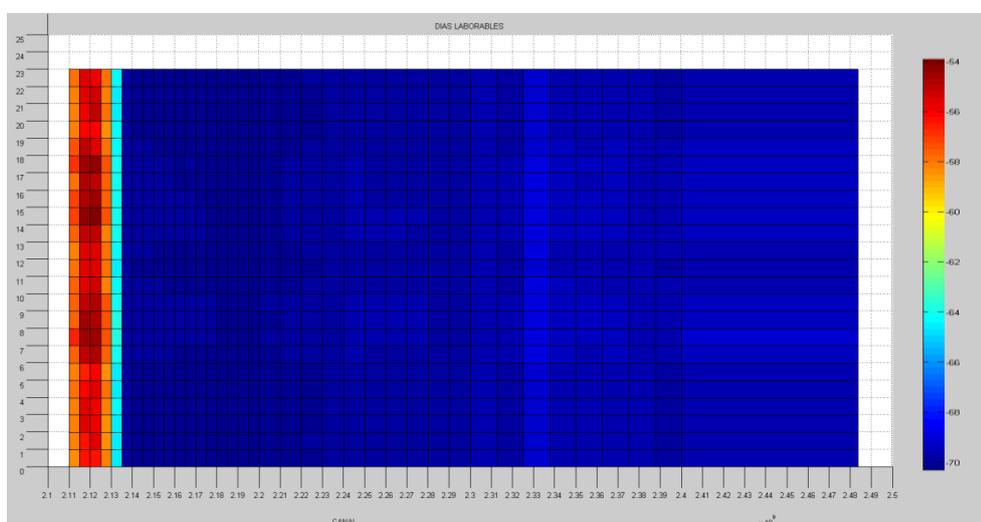


**Figura 5. 36 Disponibilidad Días Laborables.**

La figura 5.37 presenta el comportamiento general de los 5 días laborables pero por horas y por canal, en donde lo más destacable de este grafico son las tonalidades de color que nos presenta que indican el índice de disponibilidad de cada canal.

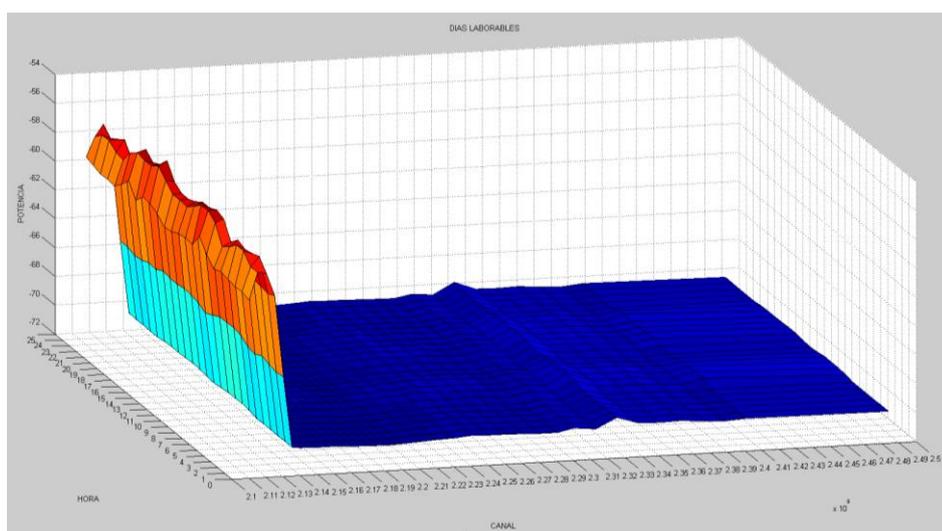
En donde una vez más queda recalcado que la máxima actividad se produjo en las bandas de frecuencia asignadas a IMT, mientras que las demás bandas asignadas a otros servicios ya antes mencionados presentan gran disponibilidad en los días laborables.

Por lo que si se deseara implementar una tecnología que aproveche la disponibilidad que existe en un canal (radio cognitiva) se deberá tener presente que los 5 primeros canales que corresponden al servicio IMT están siendo utilizados en un promedio del 90% de su capacidad, por lo que sería más factible usar las canales del 6 al 38 cuya disponibilidad esta por el 67%



**Figura 5. 37 Disponibilidad Días Laborables. Separados por canal**

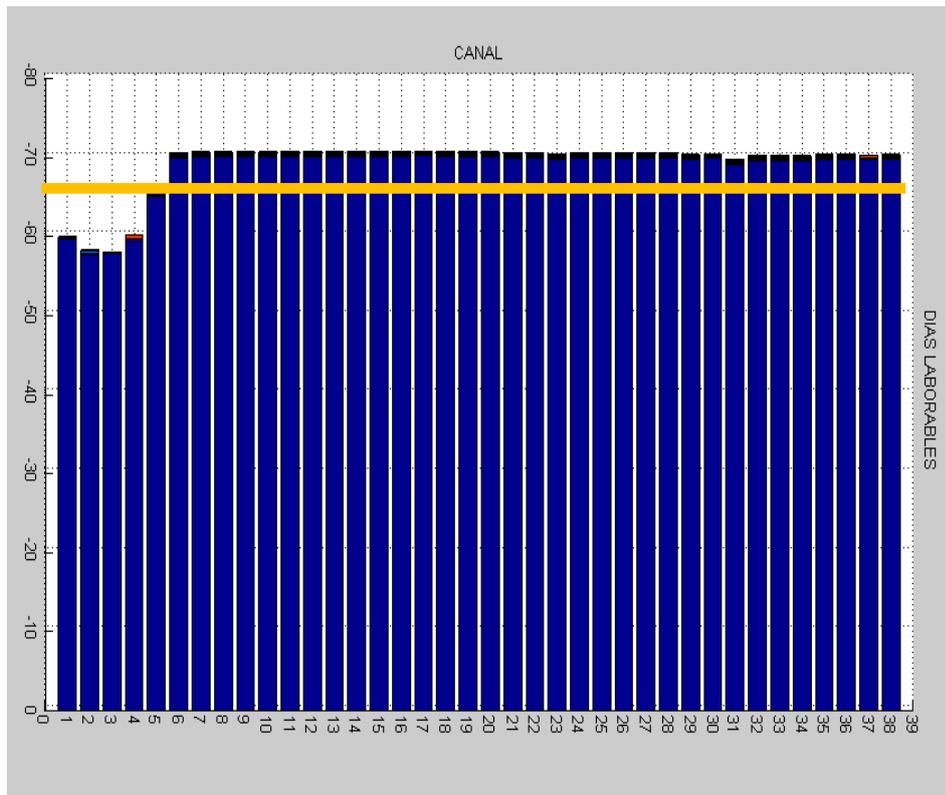
La figura 5.38 presenta lo anteriormente mencionado pero visto desde una forma 3D en donde tenemos canales, frecuencias y potencias que son los parámetros vitales a analizar en este proyecto.



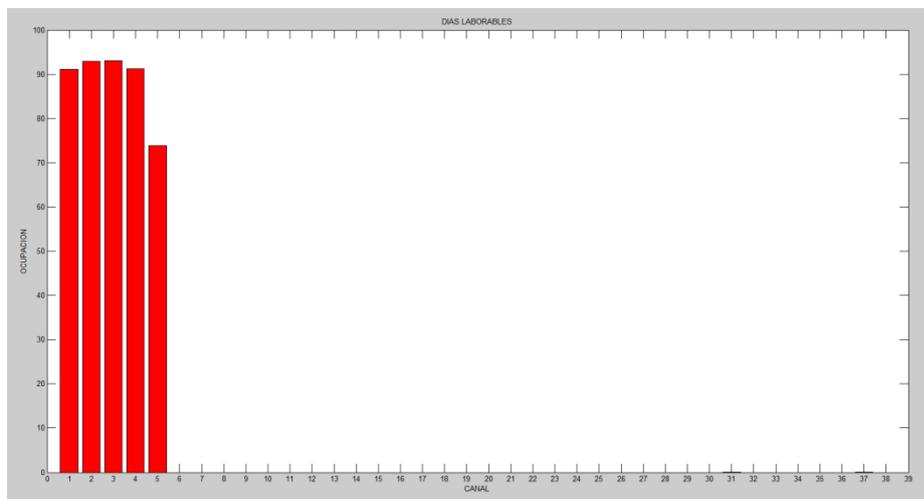
**Figura 5. 38 Días Laborables visto en 3D**

En la figura 5.39 se aprecia que canales tuvieron o no activada comparándolos con la potencia de umbral y en la figura 5.40 el ciclo de trabajo que se obtuvo para los 5 días laborables en donde lo que más se destaca es el trabajo realizado por los 5 primeros canales cuyas barras son bien notorias en contraste a las casi imperceptibles de los canales 31 y 37

El trabajo realizado por los canales se aprecia mejor en las tablas 5.15 y 5.16



**Figura 5. 39 Días Laborables potencia de umbral**



**Figura 5. 40 Días Laborables ciclo de trabajo.**

**Tabla 5. 15 Ciclo de trabajo General Días Laborables**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	92,03
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	92,17
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	36,93
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0,003875
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0,02
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 16 Ciclo de Trabajo Desglosado Días Laborables**

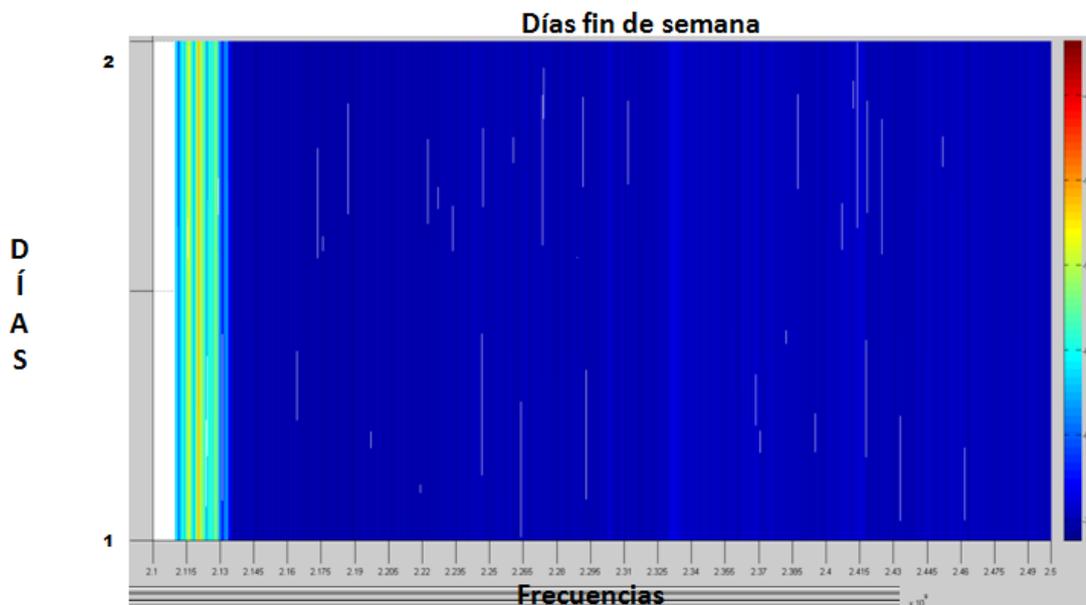
Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	91,1422638
Fijo Móvil	2115	2120	5	92,9387331
Fijo Móvil	2120	2125	5	93,0633437
Fijo Móvil	2125	2130	5	91,2876428
Fijo Móvil	2130	2135	5	73,8629283
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0

Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0,03115265
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0,02076843
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

### 5.1.9 FINES DE SEMANA

La figura 5.41 nos detalla el comportamiento general de los días que conforman el fin de semana (sábado y domingo) considerando las 4000 muestras (2000 muestras por días) con sus respectivos 1560 puntos

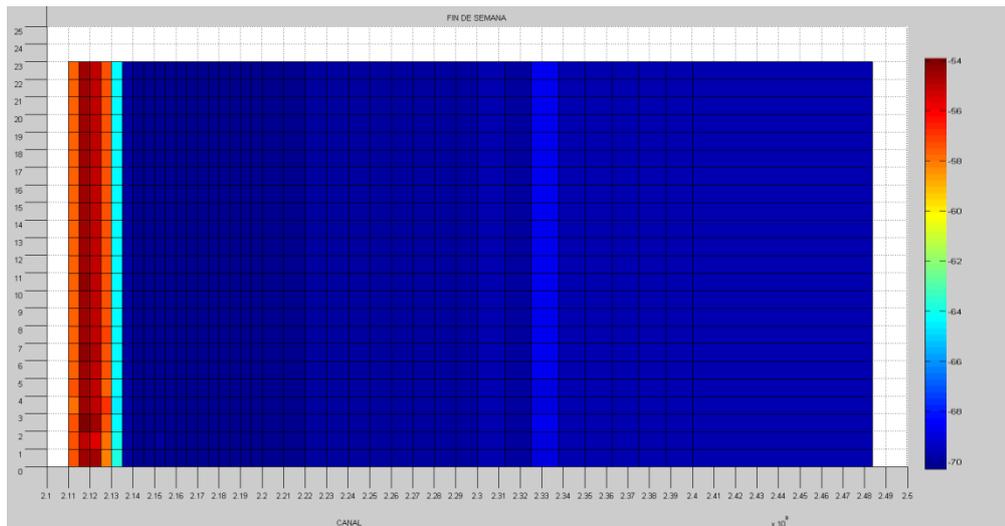
En los cuales se aprecia el comportamiento por día a lo largo de toda la frecuencia de estudio y también se puede observar como no cambio el patrón del comportamiento con respecto a los días laborables teniendo en cuenta la zona de medición se encuentra en una área semi rural y considerando que por ser fin de semana el índice de actividad pudiese bajar, hipótesis que no se cumplió por lo observado en el gráfico.



**Figura 5. 41 Disponibilidad Fines de semana**

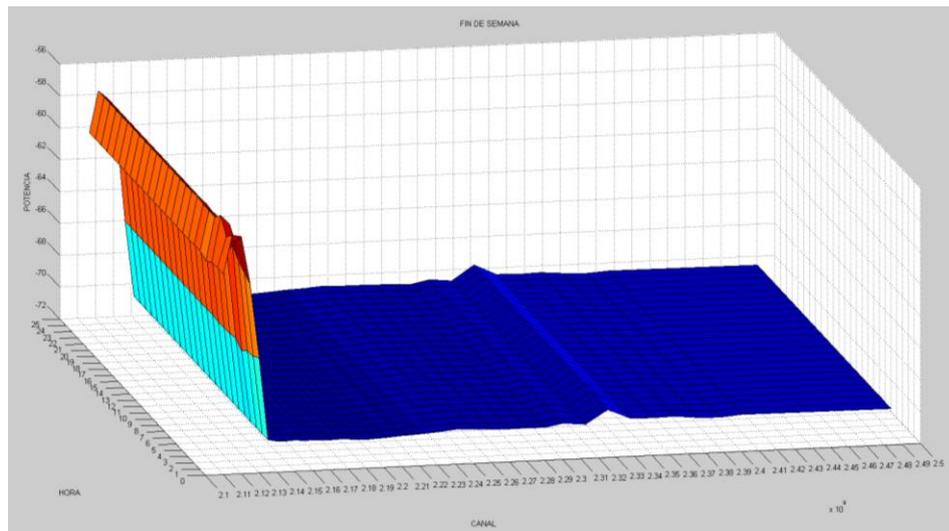
La figura 5.42 a diferencia del 5.41 nos muestra el comportamiento de los días de fin de semana por canal y hora

En donde se aprecia que los canales 2 y 3 a lo largo de las 24 horas que componen se encuentran prácticamente en actividad con un margen de disponibilidad menor al 10%.



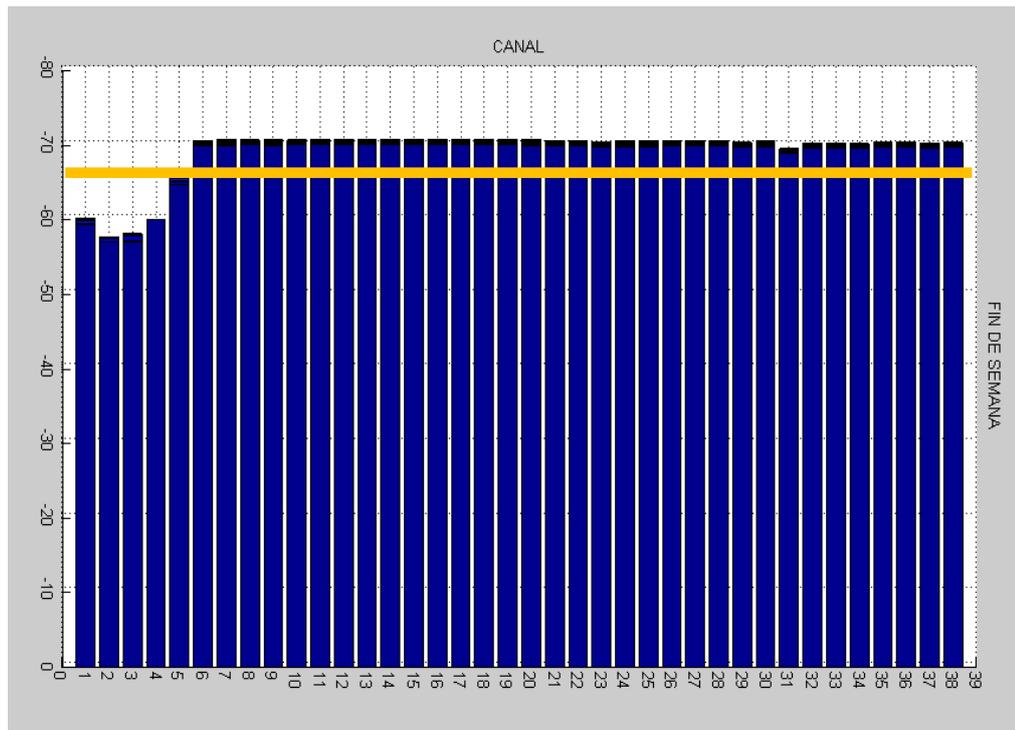
**Figura 5. 42 Disponibilidad fines de semana separados por canal**

La figura 5.43 es la misma figura 5.42 pero visto en forma 3D



**Figura 5. 43 fines de semana visto en 3D**

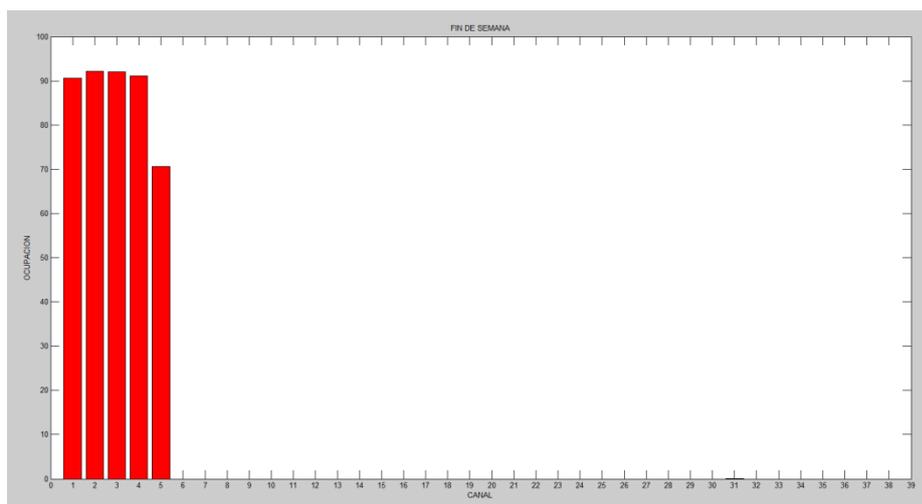
La figura 5.44 nos detallas si existió o no actividad en los canales durante el fin de semana tomando como referencia la potencia de umbral.



**Figura 5. 44 fines de semana potencia de umbral**

Mientras que la figura 5.45 no presenta el ciclo de trabajo obtenido durante los días de fin semana, en donde la mayor novedad es el pequeño ciclo de trabajo que se puede apreciar en el canal 31 que corresponde al 0.02%

Las tablas 5.17 y 5.18 nos detallan con más precisión el ciclo de trabajo en cada canal.



**Figura 5. 45 fines de semana ciclo de trabajo**

**Tabla 5. 17 Ciclo de trabajo General Fines de Semana**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CYCLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	91,39
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	91,54
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	35,33
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0,0032375
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 18 Ciclo de Trabajo Desglosado Fines de Semana**

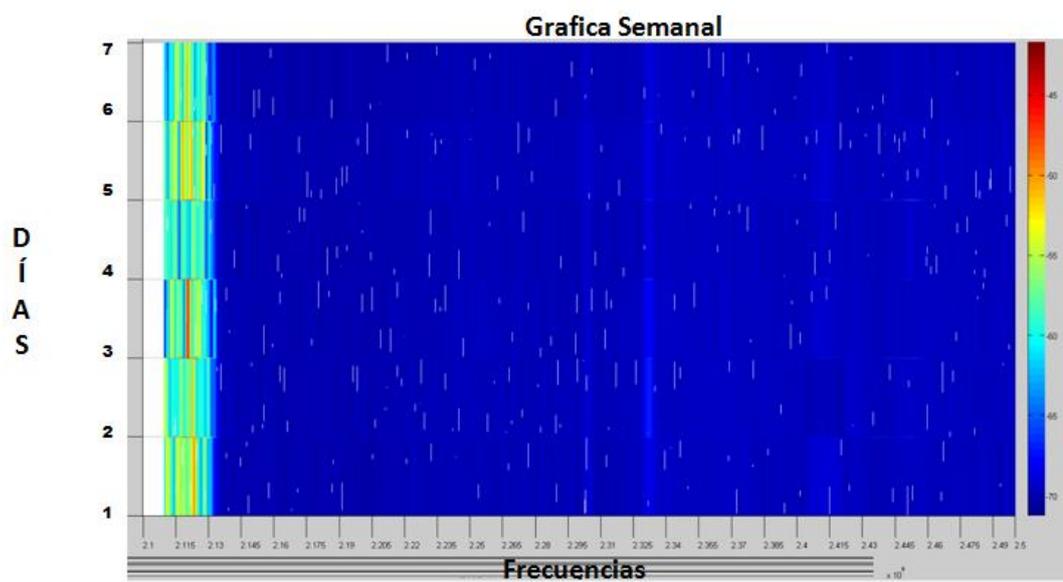
Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	90,576324
Fijo Móvil	2115	2120	5	92,211838
Fijo Móvil	2120	2125	5	92,0301142
Fijo Móvil	2125	2130	5	91,0695742
Fijo Móvil	2130	2135	5	70,6645898
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0
Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0,02596054
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0

Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

### 5.1.10 SEMANAL

La figura 5.46 nos detalla el comportamiento general de toda la semana de medición (lunas a domingo) considerando las 14000 muestras (2000 muestras por días) con sus respectivos 1560 puntos

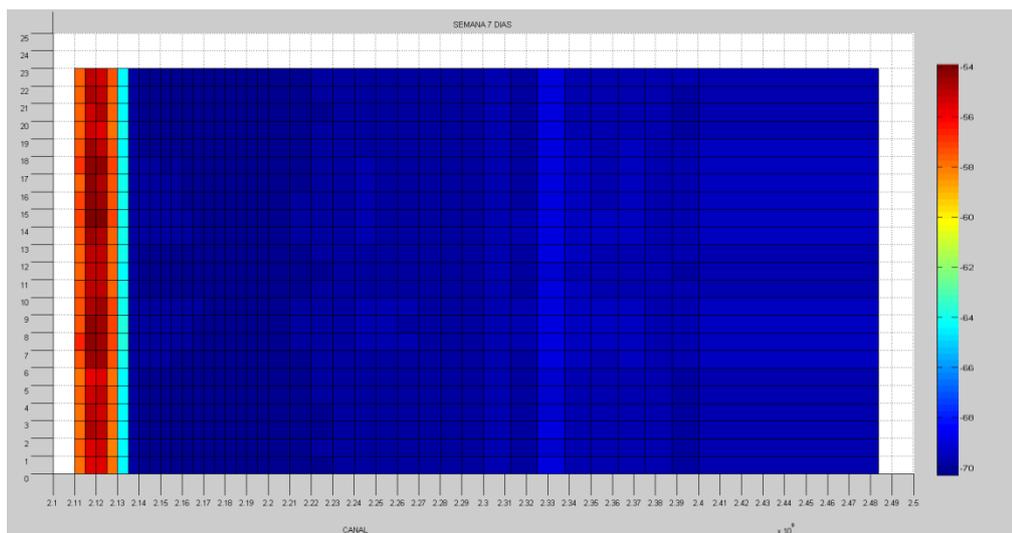
En los cuales se aprecia el comportamiento por día a lo largo de toda la frecuencia de estudio y se puede tener una visión clara de la ocupación o disponibilidad a lo largo de toda la semana.



**Figura 5. 46 Disponibilidad semanal**

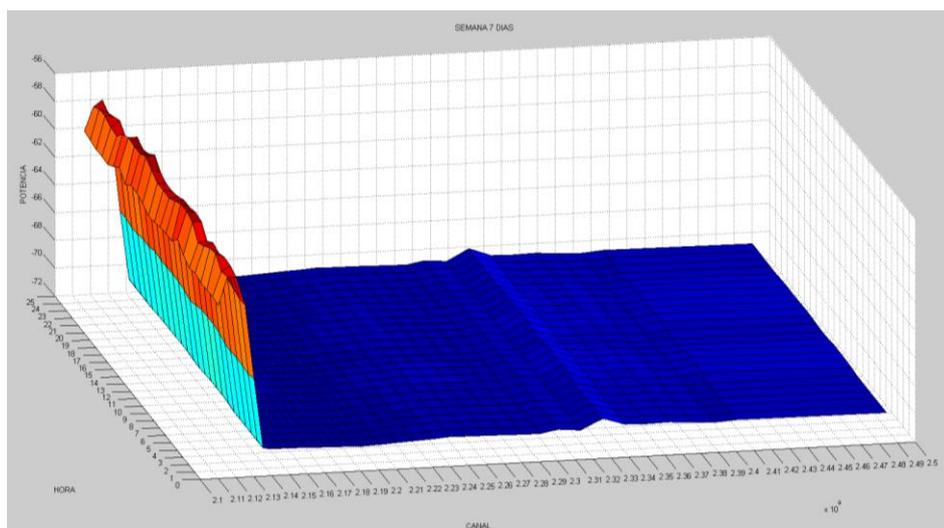
La figura 5.47 nos muestra el comportamiento semanal pero por separación de canales, en donde se aprecia que el canal 1 y el canal 4 poseen una disponibilidad del 10%, mientras que la de los canales 2 y 3 ronda el 5%

El canal 5 está en un 47%, mientras que los demás que se encuentran en una zona de color azul rondan el 80% de disponibilidad



**Figura 5. 47 Disponibilidad semanal separado por canales**

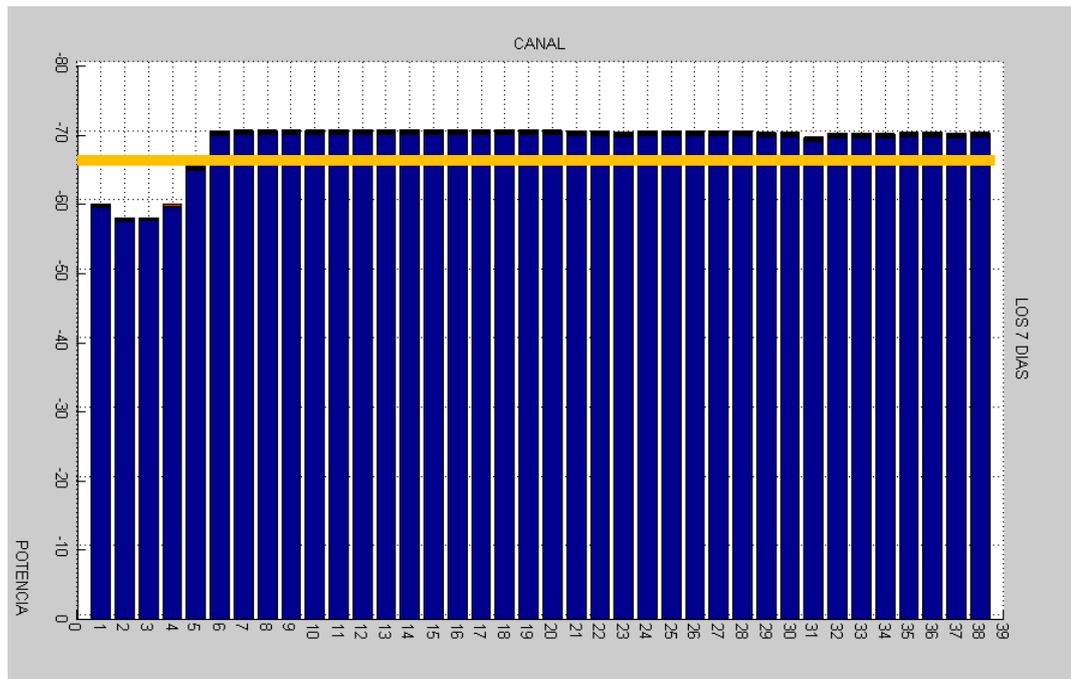
La figura 5.48 detalla el comportamiento semanal del rango de frecuencia de estudio visto en 3D



**Figura 5. 48 semanal visto en 3D**

Por medio del grafico 5.49 se observa que canales entraron o no en actividad comparándolos si atravesaron o no una potencia de umbral determinada.

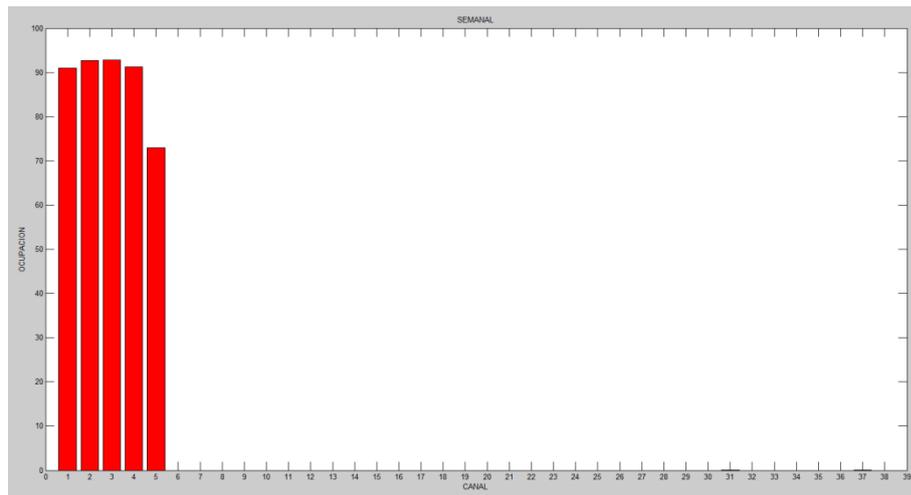
Teniendo ese grafico presente se puede decir que durante toda la semana solo 5 canales estuvieron activos y los 5 pertenecen a servicios de IMT, los restantes no lograron superar la potencia de umbral de referencia por lo que se los considera inactivos.



**Figura 5. 49 semanal potencia de umbral**

En la figura 5.50 se muestra el ciclo de trabajo semanal, en donde los 5 primeros canales presentan barras definidas que representan el ciclo de trabajo realizado y los canales 31 y 37 presentan barras que leve mente se pude apreciar que representan un mínimo trabajo realizado durante el transcurso de la semana.

Lo anteriormente expresado se parecía mejor en las tablas 5.19 y 5.20



**Figura 5. 50 semanal ciclo de trabajo**

**Tabla 5. 19 Ciclo de trabajo General Semanal**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	91,85
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	91,99
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	36,47
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	0,003625
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	0,014
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	0

**Tabla 5. 20 Ciclo de trabajo Desglosado Semanal**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	90,9805667
Fijo Móvil	2115	2120	5	92,7310488
Fijo Móvil	2120	2125	5	92,7681353
Fijo Móvil	2125	2130	5	91,2253375
Fijo Móvil	2130	2135	5	72,9491173
Fijo Móvil	2135	2140	5	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	0
Fijo Móvil	2150	2155	5	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	0,02966919
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	0

Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	0
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	0,01483459
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	0

## 5.2 ANALISIS GENERAL.

El rango de frecuencias aginado que comprende el proyecto va desde 2110MHz hasta 2500MHz, en los cuales según el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador del año 2012 operan servicios de IMT, Radiolocalización, radio determinación por satélite, móvil satelital y bandas asignadas a las fuerzas armadas.

Por lo observado en los gráficos y tablas presentados en la sección 5.1 y por el Plan Nacional de Frecuencias, el rango de frecuencias está distribuido en 38 canales

Del canal 1 al canal 18 destinado a Telefonía fijo Móvil con un ancho de banda de 5Mhz cada uno. De los cuales del canal 1 al canal 4 están asignados a CNT, del canal 4 al 8 a CONECEL y del canal 9 al 12 a OTECEL tal y como lo muestra la figura 5.51



**Figura 5. 51 Banda de 2100MHz**

Del canal 19 al 28 está destinado a servicios para enlaces fijos cada uno con un ancho de banda de 10MHz

Del canal 29 al 36 está destinado al Plan Militar de Frecuencias con un ancho de banda de 12.5 MHz cada uno

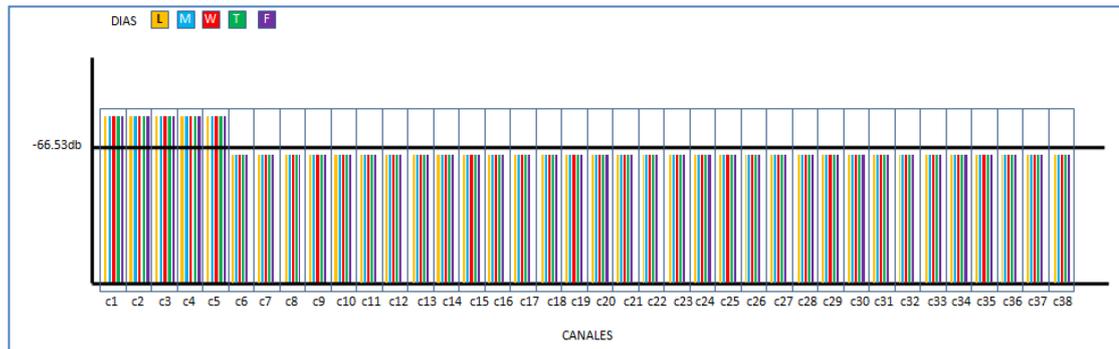
Canal 37 está destinado a MDBA con un ancho de banda de 83.5 MHz y finalmente el canal 38 que es para radio determinación por satélite con un ancho de banda de 16.5Mhz.

De los gráficos presentados en la sección 5.1 tanto en su desglose por cada días, como por días laborables, días de fines de semana y semanal quedo establecido que solo los 5 primeros canales estuvieron activos los 7 días de la semana con un promedio de disponibilidad del 10%.

En lo referente a los canales restantes estos tuvieron un promedio de disponibilidad de casi el 100%

La figura 5.52 presenta la potencia de umbral que los canales debían superar para ser considerados activos que es de -66.53db, cada color en el interior de cada canal representa un día siendo amarillo para el día lunes, azul para el martes, rojo para el miércoles, verde para el jueves y morado para el viernes

Como se aprecia solo los 5 primeros canales correspondientes a servicios fijos móviles lograron superar el piso de ruido.



**Figura 5. 52 canales y potencia de umbral**

La tabla 5.21 nos detalla los servicios con sus respectivos rangos de frecuencias, anchos de bandas y los canales que se encuentran inmersos dentro de cada división, así mismo nos indica el ciclo de trabajo que se obtuvo para de cada servicio

**Tabla 5. 21 Resultados Generales**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	canales	DUTY CICLE %
Fijo Móvil (IMT)	2110	2120	10	1 al 2	91,85
Fijo Móvil (IMT)	2120	2160	10	3 al 10	91,99
Fijo Móvil (IMT)	2160	2170	10	11 al 12	36,47
Fijo Móvil (IMT)	2170	2200	10	13 al 18	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2200	2290	90	19 al 27	0
Fijo (enlaces radioeléctricos con emisiones de televisión)	2290	2300	10	28	0
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2300	2450	150	29 al 36	0,003625
Enlaces radioeléctricos de radiodifusión sonora que utilizan técnicas MDBA)	2450	2483,5	33,5	37	0,014
Radio determinación por satélite (espacio- Tierra)	2483,5	2500	16,5	38	0

Donde la banda de 2300 a 2450MHz y la banda de 2450 a 2483MHz presentan un ciclo de trabajo tan bajo que se lo puede considerar 0%

En la tabla 5.22 se muestra un desglose de la tabla 5.21 donde se aprecia canal por canal el ciclo de trabajo.

**Tabla 5. 22 resultados Desglosados**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	Canales	DUTY CICLE %
Fijo Móvil	2110	2115	5	1	90,9805667
Fijo Móvil	2115	2120	5	2	92,7310488
Fijo Móvil	2120	2125	5	3	92,7681353
Fijo Móvil	2125	2130	5	4	91,2253375
Fijo Móvil	2130	2135	5	5	72,9491173
Fijo Móvil	2135	2140	5	6	0
Fijo Móvil	2140	2145	5	7	0
Fijo Móvil	2145	2150	5	8	0
Fijo Móvil	2150	2155	5	9	0
Fijo Móvil	2155	2160	5	10	0
Fijo Móvil	2160	2165	5	11	0
Fijo Móvil	2165	2170	5	12	0
Fijo Móvil	2170	2175	5	13	0
Fijo Móvil	2175	2180	5	14	0
Fijo Móvil	2180	2185	5	15	0
Fijo Móvil	2185	2190	5	16	0
Fijo Móvil	2190	2195	5	17	0
Fijo Móvil	2195	2200	5	18	0
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	19	0
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	20	0
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	21	0
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	22	0
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	23	0
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	24	0
FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	25	0
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	26	0
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	27	0
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	28	0
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	29	0
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	30	0
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	31	0,02966919
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	32	0
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	33	0
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	34	0
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	35	0

Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	36	0
MDBA	2400	2483,5	83,5	37	0,01483459
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	38	0

Entonces en base a lo expuesto en el rango de frecuencias asignado solo existe actividad concretamente en los canales 1 al 5 que corresponden al rango de frecuencias de 2110 a 2135Mhz, perteneciendo ese rango al servicio de telefonía fijo móvil done los canales del 1 al 4 están concesionados por CNT y el canal 5 por CONECEL.

El resto de canales y frecuencias que estos asocian están siendo infrautilizados, por lo que se podría plantear una reasignación de dichas bandas de frecuencias para así hacer un mejor uso del espectro o que se facilite la implantación de tecnologías como la RC (Radio Cognitiva) que permita aprovechar los momentos en que están bandas no están siendo utilizadas ya sea para brindar algún servicio o para descongestionar bandas contiguas que a ciertas horas del día podrían estar siendo sobresaturadas.

### 5.3 MODELAMIENTO DEL CANAL.

Como se ha mencionado en las secciones anteriores del presente capítulo, los canales del 1 al 4 han presentado un promedio de ocupación diaria y general del 90% y los canales del 6 al 38 una ocupación del 0% que corresponde a una disponibilidad del 100%.

El único canal cuyo comportamiento no tuvo una tendencia definida a lo largo de la semana fue el canal 5, por lo cual se realizara un modelamiento del comportamiento de ese canal por día.

#### 5.3.1 CADENAS DE MARKOV.

Para realizar el modelamiento del canal 5 cuyo comportamiento es estocástico (sucesión de observaciones que no se pueden predecir exactamente) [27] utilizaremos las cadenas de Markov.

Las cadenas de Markov es un proceso estocástico que conoce la historia del sistema por lo cual teniendo toda esa información desde su estado actual puede predecir en probabilidad su estado futuro [28]

Es decir si el estado actual  $X_n$  y los estados previos  $x_1, \dots, X_{n-1}$  son conocidos, puede predecir la probabilidad del estado futuro  $X_{n+1}$

Donde no se depende de los estados anteriores  $x_1, \dots, X_{n-1}$  y solamente se depende del estado actual  $X_n$

Es decir para  $n = 1, 2, \dots$  Y cualquier sucesión de estados  $S_1, \dots, S_{1+n}$

Se tendrá:

$$P(X_{n+1} = S_{n+1} | X_1 = S_1, X_2 = S_2, \dots, X_n = S_n) = P(X_{n+1} = S_{n+1} | X_n = S_n) \quad (14)$$

### 5.3.2 MATRIZ ESTOCÁSTICA.

Es una matriz cuadrada cuyos elementos nunca son negativos, además de poseer la cualidad de que la suma de cada una de las filas da como resultado 1. [27]

Para una cadena de Markov definida con K estados posibles  $S_1, \dots, S_k$  y probabilidades de transición estacionaria.

La matriz de transición P se define como:

$$si p_{ij} = P(X_{n+1} = S_j | X_n = S_i) \rightarrow P = \begin{pmatrix} p_{11} & \dots & p_{1k} \\ \cdot & \dots & \cdot \\ p_{k1} & \dots & p_{kk} \end{pmatrix} \quad (15)$$

“Donde la matriz de transición P de cualquier cadena de Markov finita con Probabilidades de transición estacionarias es una matriz estocástica” [27]

### 5.3.3 MODELAMIENTO CANAL 5.

El punto de partida para modelar el comportamiento del canal 5 es encontrar la matriz de transición P, la cual se obtuvo de la matriz realizada para obtener los ciclos de trabajos que consistía de información de ceros y unos dependiendo de si la potencia recibida había superado o no la potencia de umbral establecida.

No se usaron las potencias debido a que la matriz estocástica no admite valores negativos.

Una vez obtenida la matriz de ceros y unos, donde los unos (1) indican la actividad y los ceros (0) la no actividad como se muestra en la figura 5.53

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1
13	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
14	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
15	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1
16	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0
17	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
18	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0
19	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
20	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0

**Figura 5. 53 Matriz Estocástica de ceros y unos**

Se procede a obtener las probabilidades  $P_1, P_0, P_{11}, P_{00}, P_{10}, P_{01}$

Donde

$P_1$  es la cantidad de unos que existe en la matriz dividida para el número total de datos contenidos en la matriz

$P_0$  es la cantidad de ceros que existe en la matriz dividida para el número total de datos contenidos en la matriz

$P_{11}$  es la cantidad de transiciones de uno a uno que existe en la matriz dividida para el número total de unos en la matriz

$P_{00}$  es la cantidad de transiciones de cero a cero que existe en la matriz dividida para el número total de ceros en la matriz

$P_{10}$  es la cantidad de transiciones de uno a cero que existe en la matriz dividida para el número total de unos en la matriz

$P_{01}$  es la cantidad de transiciones de cero a uno que existe en la matriz dividida para el número total de ceros en la matriz

Los datos obtenidos para  $P_1, P_0, P_{11}, P_{00}, P_{10}, P_{01}$  por día se muestran en la tabla 5.23

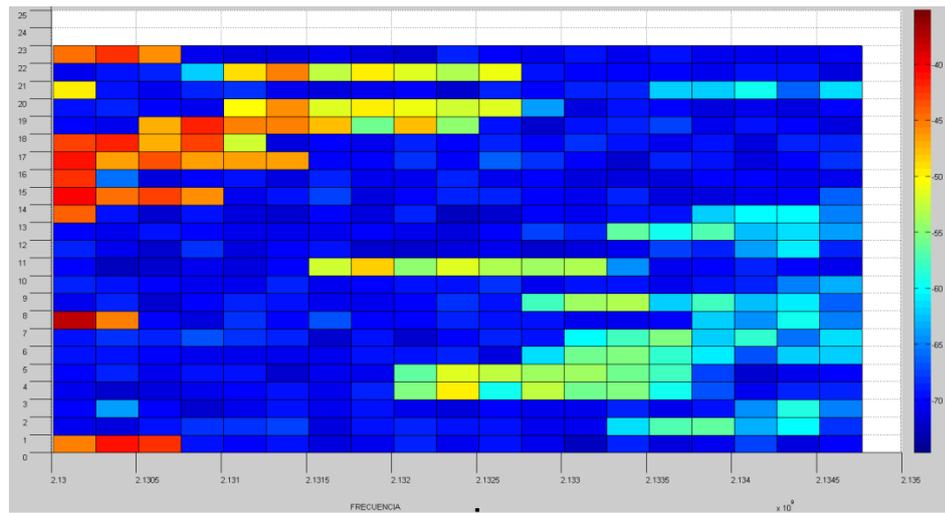
**Tabla 5. 23 Probabilidades Diarias**

DIAS	P1	P0	P11	P00	P10	P01
Lunes	0,32390966	0,67609034	0,31001042	0,66900895	0,6895087	0,33045348
Martes	0,31918484	0,68081516	0,32265148	0,68209724	0,67694185	0,31733079
Miércoles	0,32154725	0,67845275	0,32908122	0,6818321	0,67027289	0,31770873
Jueves	0,31806854	0,68193146	0,31994776	0,68238922	0,67997062	0,31688747
Viernes	0,30970924	0,69029076	0,31735122	0,69315532	0,68264878	0,30609252
Sábado	0,30573728	0,69426272	0,3187569	0,69951015	0,6812431	0,29974199
Domingo	0,30978712	0,69021288	0,31333277	0,69135292	0,68624822	0,3080829

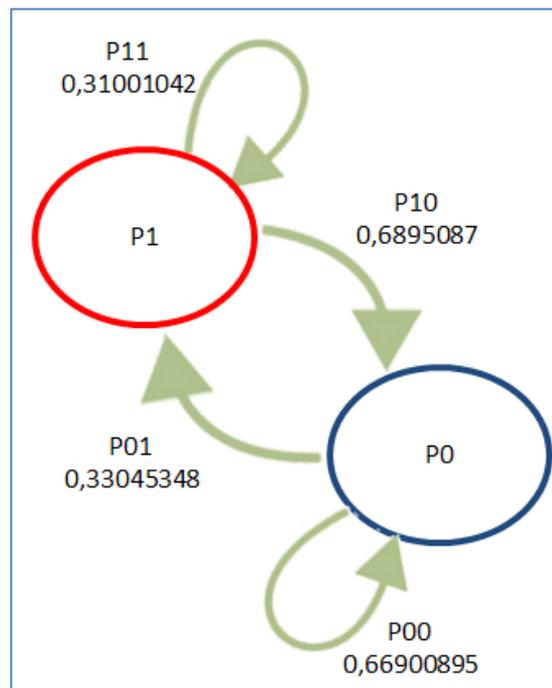
Mediante la información de la tabla 5.23 se puede realizar la Cadena simple biestable de Markov para denotar el comportamiento del canal 5 para cada día.

#### 5.3.4 MODELAMIENTO DÍA LUNES

En la figura 5.54 presenta la disponibilidad solo del canal 5 a lo largo de todo el día lunes y la figura 5.55 la cadena simple biestable de Markov que denota el comportamiento del mismo canal.



**Figura 5. 54 Disponibilidad canal 5 día lunes**

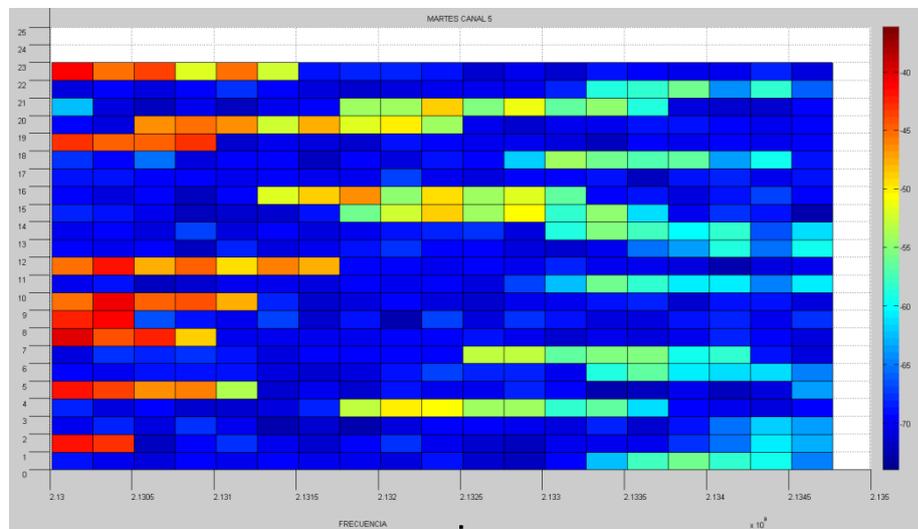


**Figura 5. 55 Cadena de Markov día lunes**

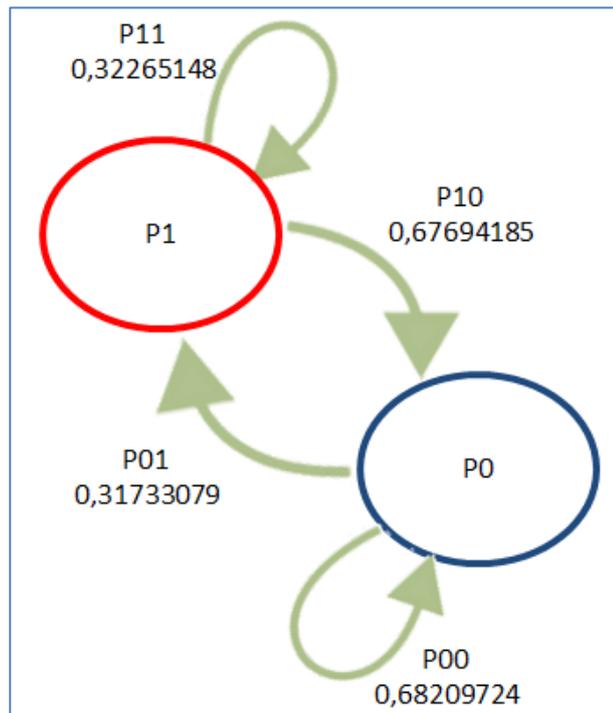
### 5.3.5 MODELAMIENTO DÍA MARTES

En la figura 5.56 presenta la disponibilidad solo del canal 5 a lo largo de todo el día martes que es muy parecido al del día lunes y la figura 5.57 la cadena simple biestable de Markov que denota el comportamiento del mismo canal.

Si se hace una comparación entre la información brindada por la cadena de Markov con la del ciclo de trabajo queda sustentado el comportamiento debido a la relación que han mostrado ambas partes



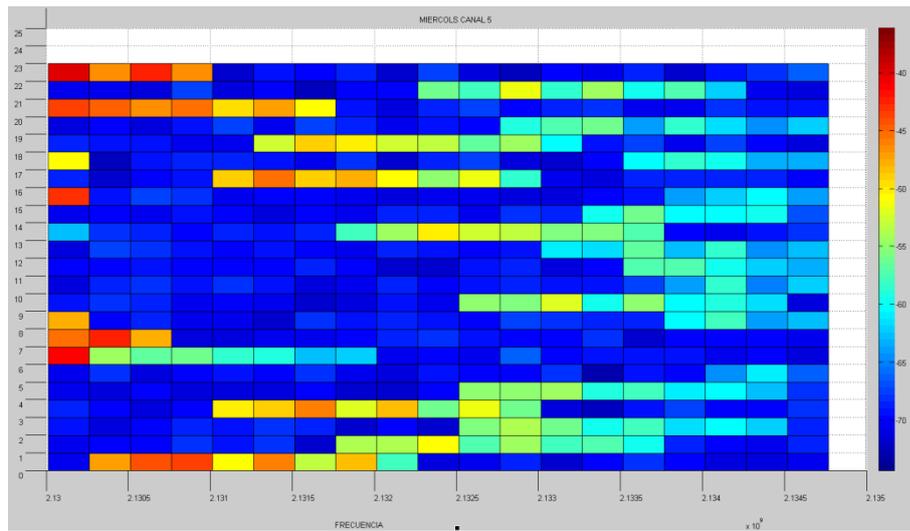
**Figura 5. 56 Disponibilidad canal 5 día martes**



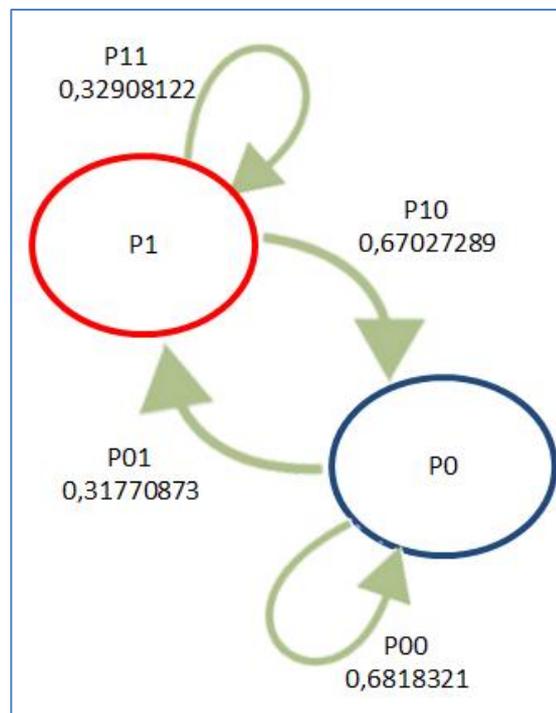
**Figura 5. 57 Cadena de Markov día martes**

### 5.3.6 MODELAMIENTO DÍA MIÉRCOLES

En la figura 5.58 presenta la disponibilidad solo del canal 5 a lo largo de todo el día miércoles muy similar a los días anteriores y la figura 5.59 la cadena simple biestable de Markov que denota el comportamiento del mismo canal



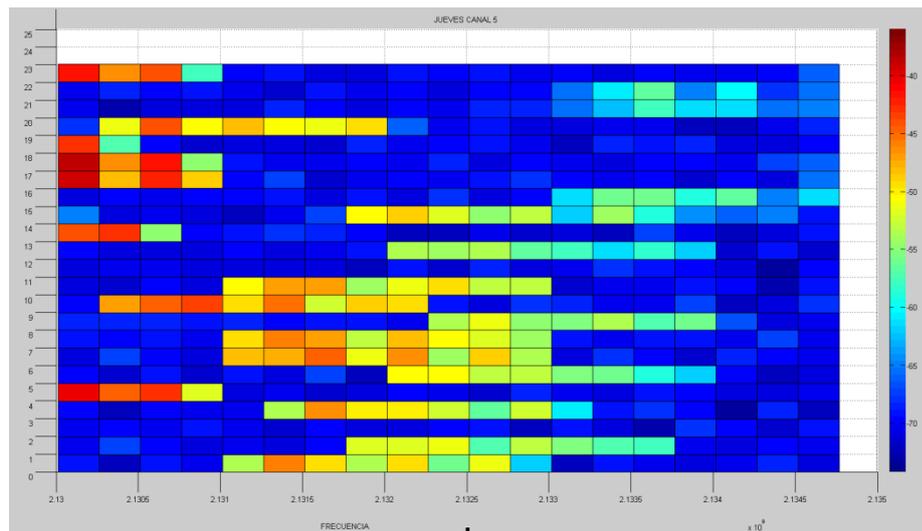
**Figura 5. 58 Disponibilidad canal 5 día miércoles**



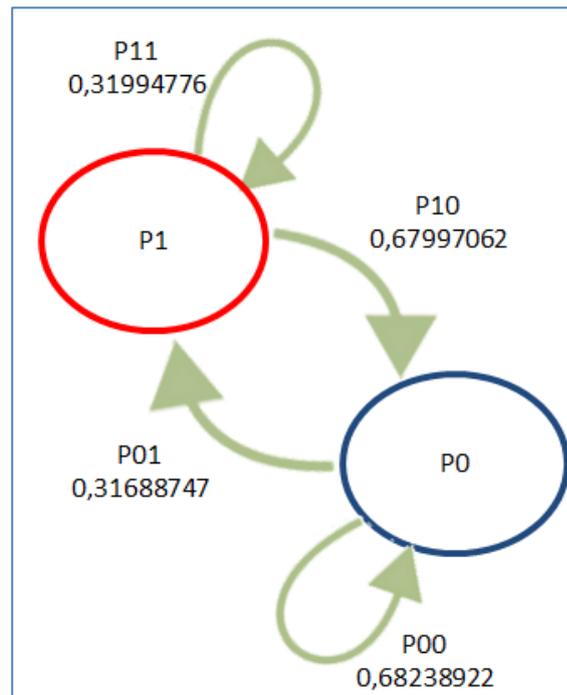
**Figura 5. 59 Cadena de Markov día miércoles**

### 5.3.7 MODELAMIENTO DÍA JUEVES

En la figura 5.60 presenta la disponibilidad solo del canal 5 a lo largo de todo el día jueves y la figura 5.61 la cadena simple biestable de Markov que denota el comportamiento del mismo canal



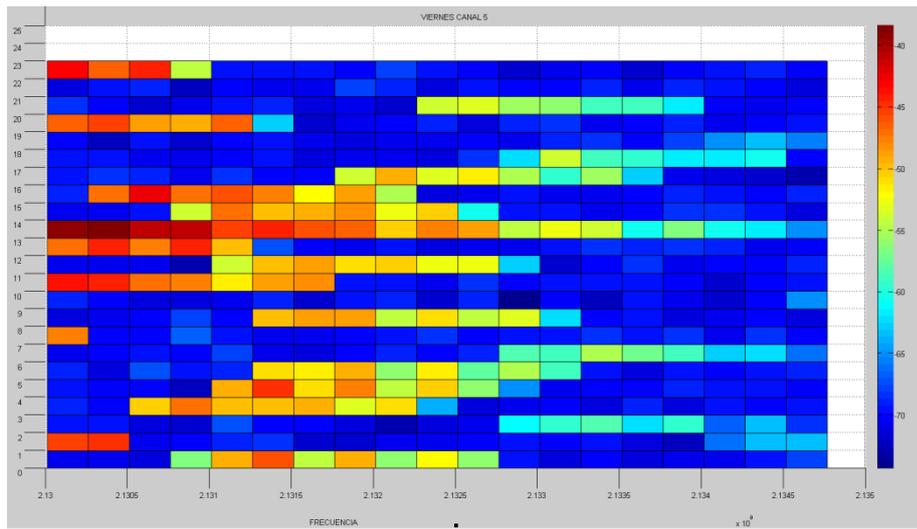
**Figura 5. 60 Disponibilidad canal 5 día jueves**



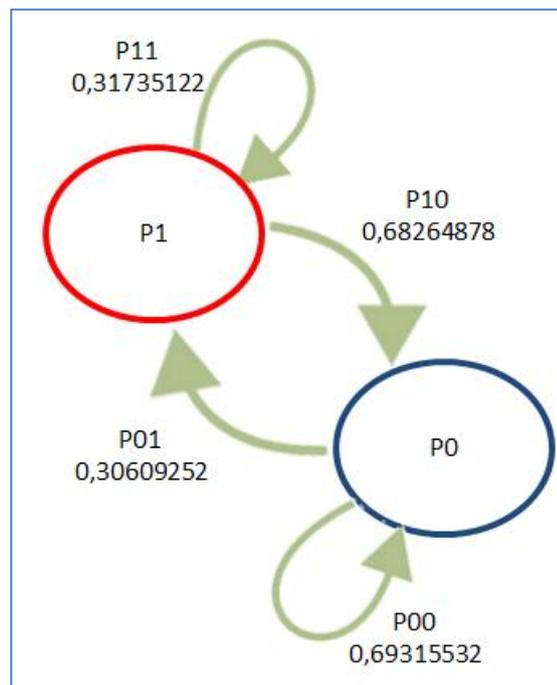
**Figura 5. 61 Cadena de Markov día jueves**

### 5.3.8 MODELAMIENTO DÍA VIERNES

En la figura 5.62 presenta la disponibilidad solo del canal 5 a lo largo de todo el día viernes en el cual se aprecia que durante los 5 primeros días el canal 5 tuvo un comportamiento muy similar poco cambiante y esto se refleja en la figura 5.63 en la cual la cadena simple biestable de Markov que denota el comportamiento del canal que no presenta muchas diferencias de porcentajes de transición con respecto a los 4 días anteriores.



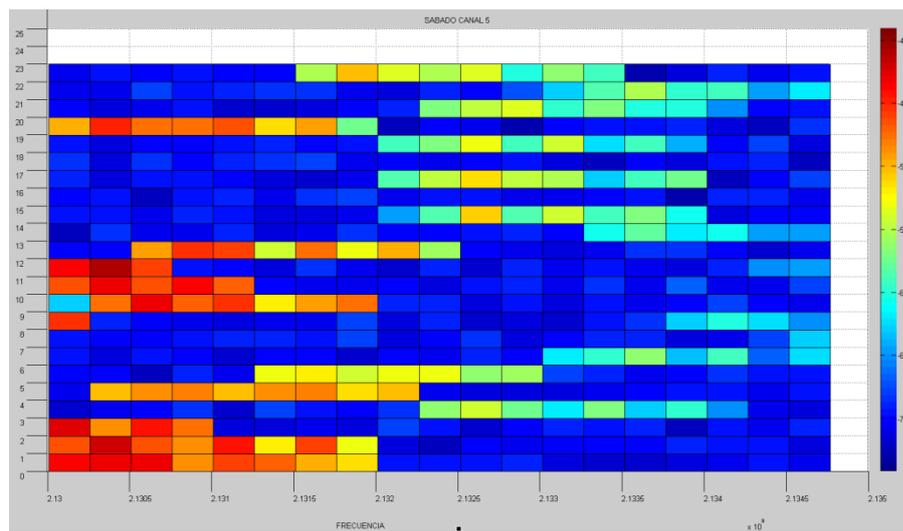
**Figura 5. 62 Disponibilidad canal 5 día viernes**



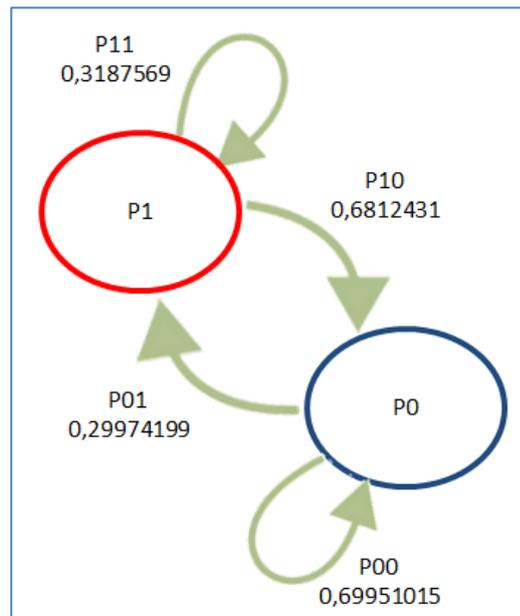
**Figura 5. 63 Cadena de Markov día viernes**

### 5.3.9 MODELAMIENTO DÍA SÁBADO

En la figura 5.64 presenta la disponibilidad solo del canal 5 a lo largo de todo el día sábado y la figura 5.65 la cadena simple biestable de Markov que denota el comportamiento del mismo canal



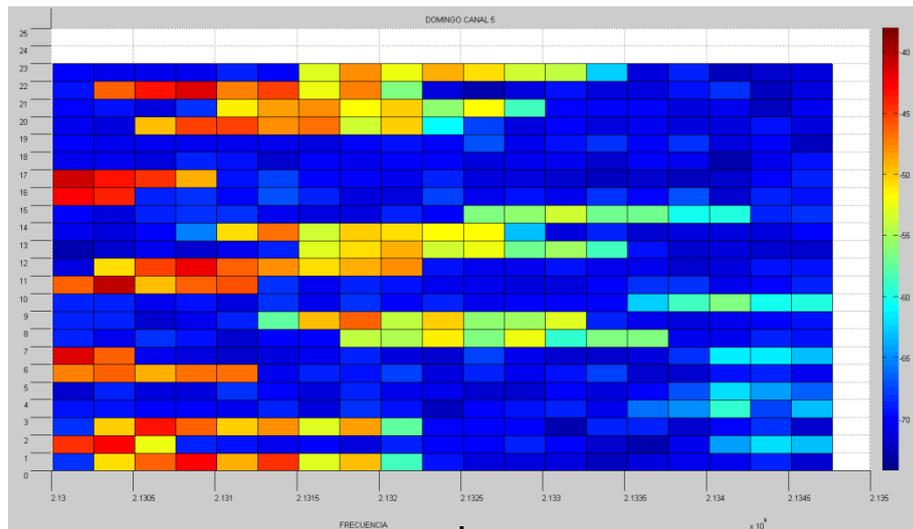
**Figura 5. 64 Disponibilidad canal 5 día sábado**



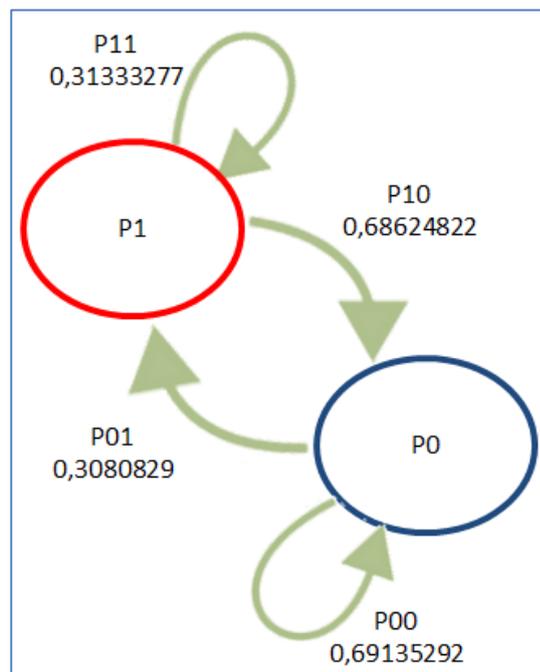
**Figura 5. 65 Cadena de Markov día sábado**

### 5.3.10 MODELAMIENTO DÍA DOMINGO

En la figura 5.66 presenta la disponibilidad solo del canal 5 a lo largo de todo el día domingo y la figura 5.67 la cadena simple biestable de Markov que denota el comportamiento del mismo canal



**Figura 5. 66 Disponibilidad canal 5 día domingo**

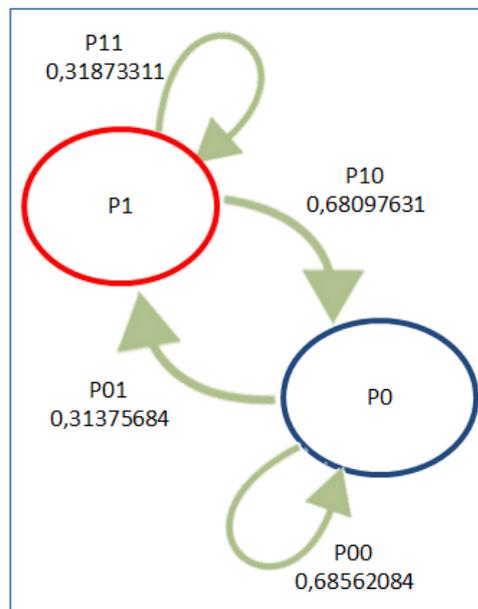


**Figura 5. 67 Cadena de Markov día domingo**

### 5.3.11 MODELAMIENTO SEMANAL

Después de haber observado las 7 cadenas de Markov correspondiente a los 7 días de la semana, se presenta a continuación una cadena que denota el comportamiento semanal del canal 5

La figura 5.68 y la tabla 5.24 nos muestra la probabilidad de  $P_1, P_0, P_{11}, P_{00}, P_{10}, P_{01}$  a lo largo de la semana.



**Figura 5. 68 Cadena de Markov día semanal**

**Tabla 5. 24 Probabilidades semanal canal 5**

	P1	P0	P11	P00	P10	P01
semanal	0,31542056	0,68457944	0,31873311	0,68562084	0,68097631	0,31375684

#### 5.4 CAPACIDAD DEL CANAL.

Es importante conocer cuál es la capacidad de cada uno de los canales que se encuentra dentro del rango asignado para este proyecto, ya que la capacidad de transmisión de información va ligado a la toma de decisiones sobre que propuestas se pueden implementar o no en un caso que se desee utilizar la disponibilidad que presentan dichos canales en un determinado instante de tiempo usando tecnologías o plataformas que utilicen radio definida por software.

Para ello se utilizara el teorema de Shannon - Hartley que se muestra en la ecuación 16

$$C = Bw \text{LOG}_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (16)$$

Donde

C es la capacidad del canal dado en bits/s

Bw es el ancho de banda del canal

S es la potencia de la señal dada en mw o W

N es la potencia de ruido en el canal, así mismo expresada en mw o W

La capacidad de los 38 canales se muestra en la tabla 5.25, donde se puede apreciar la capacidad en Mbits/s a la cual se puede transmitir sin error. Pero siempre teniendo presente que el resultado obtenido teóricamente difiere levemente del real debido a que en la ecuación solo se considera el ruido térmico y no otros factores como puede ser el medio ambiente.

**Tabla 5. 25 Resultados Desglosados**

Servicio	Frecuencia de Inicio (MHz)	Frecuencia final (MHz)	BW (MHz)	CANAL	C en Mbit/s
Fijo Móvil	2110	2115	5	1	4,59280134
Fijo Móvil	2115	2120	5	2	4,46499343
Fijo Móvil	2120	2125	5	3	4,46710816
Fijo Móvil	2125	2130	5	4	4,59531032
Fijo Móvil	2130	2135	5	5	4,91410166
Fijo Móvil	2135	2140	5	6	5,18269539
Fijo Móvil	2140	2145	5	7	5,1878033
Fijo Móvil	2145	2150	5	8	5,18806041
Fijo Móvil	2150	2155	5	9	5,18815937
Fijo Móvil	2155	2160	5	10	5,18848629
Fijo Móvil	2160	2165	5	11	5,18962713
Fijo Móvil	2165	2170	5	12	5,19079136
Fijo Móvil	2170	2175	5	13	5,19145881
Fijo Móvil	2175	2180	5	14	5,19202441
Fijo Móvil	2180	2185	5	15	5,19341449
Fijo Móvil	2185	2190	5	16	5,19402903
Fijo Móvil	2190	2195	5	17	5,19502003
Fijo Móvil	2195	2200	5	18	5,19394827
FIJO (ENLACES)	2200	2210	10	19	10,3848137
FIJO (ENLACES)	2210	2220	10	20	10,3774882
FIJO (ENLACES)	2220	2230	10	21	10,3690949
FIJO (ENLACES)	2230	2240	10	22	10,3634364
FIJO (ENLACES)	2240	2250	10	23	10,3533839
FIJO (ENLACES)	2250	2260	10	24	10,3575257

FIJO (ENLACES)	2260	2270	10	25	10,3576306
FIJO (ENLACES)	2270	2280	10	26	10,3606609
FIJO (ENLACES)	2280	2290	10	27	10,3643451
FIJO (ENLACES)	2290	2300	10	28	10,3662708
Plan Militar de Frecuencias	2300	231,25	12,5	29	12,9256199
Plan Militar de Frecuencias	231,25	2325	12,5	30	12,9439446
Plan Militar de Frecuencias	2325	2337,5	12,5	31	12,8399996
Plan Militar de Frecuencias	2337,5	2350	12,5	32	12,9095806
Plan Militar de Frecuencias	2350	2362,5	12,5	33	12,9153615
Plan Militar de Frecuencias	2362,5	2375	12,5	34	12,9104003
Plan Militar de Frecuencias	2375	2387,5	12,5	35	12,9247023
Plan Militar de Frecuencias	2387,5	2400	12,5	36	12,9343714
MDBA	2400	2483,5	83,5	37	86,2541098
Radio determinación por satélite	2483,5	2500	16,5	38	17,0647835

## 5.5 PROPUESTAS.

Los datos obtenidos durante el proyecto reflejan que sólo hay actividad dentro de los 5 primeros canales del rango de frecuencia asignado, por lo cual implementar plataformas de radio definida por software, como lo puede ser la radio cognitiva permitiría que usuarios no concesionados pudiesen trabajar sobre esas frecuencias infrautilizadas brindando servicios parecidos o diferentes o que usuarios concesionados pudiesen cambiar a frecuencias de poco uso cuando sus respectivas frecuencias se encuentren congestionadas.

La propuesta anterior también conlleva a una reforma sobre la ley actual de telecomunicaciones ya que como está estipulada actualmente, no permite el uso de tecnologías RC y solo el usuario concesionario está autorizado para realizar actividades sobre su banda de frecuencia.

Por lo que realizar una nueva ley más flexible, que permita el uso esta nueva tecnología de vanguardia ayudaría a solventar en gran medida el problema de los escasos del espectro electromagnético.

Otra propuesta, basándonos en los datos obtenidos, es la reasignación de servicios para determinadas bandas de frecuencias como se apreció en los gráficos y tablas la sección 5.1, de las 3 bandas destinadas a IMT solo una

está en actividad, por lo que si en otras frecuencias existe un servicio cuyo ancho de banda no le permite satisfacer las demandas de los usuarios este pudiese ser reasignado a algunas de estas bandas de 10MHz o canales de 5MHz que están siendo infrautilizadas y poder darle un mejor uso

Otro rango de frecuencias que podría ser utilizado para solventar la escasez del espectro y garantizar un mejor uso del mismo, es el utilizado por la FFAA, el Plan Militar de frecuencias es de 100MHz y como se observó en los gráficos y tablas tuvieron un mínimo ciclo de trabajo de tan solo 0.029% que se lo puede considerar 0%

Una idea es reducir el ancho de banda que ellos poseen de 100MHZ a 75MHz lo cual nos brindaría un ancho de banda de 25MHz que puede ser utilizado para nuevas e innovadoras tecnologías o para servicios ya existentes.

## CONCLUSIONES

Podemos concluir respecto a las herramientas utilizadas como el complemento Intuilink en Microsoft Excel para la captura de datos, que es la herramienta principal después del analizador de espectro para programar una estricta secuencia en la continuidad de los datos y así poder obtenerlos, guardarlos y administrarlos para su análisis que en este caso se lo hizo utilizando el programa de Matlab.

El comportamiento de la banda de frecuencia comprendida en el rango de 2110 MHz a 2500 MHz fue la esperada según lo apreciado en el Plan Nacional de Frecuencia, en donde los primeros canales obtenidos con la ayuda del analizador de espectro son los más utilizados, debido al servicio que ofrecen y que cada vez aumenta su demanda reflejada en los gráficos y datos obtenidos. A diferencia de los canales posteriores en donde los gráficos y datos obtenidos reflejaron que el comportamiento de esas bandas actualmente están siendo infrautilizadas

En base a lo anterior mencionado y teniendo como referencia el comportamiento del canal 5 por medio de las cadenas de Markov, se concluye que es factible la utilización de estas bandas de frecuencias para nuevas tecnologías a partir del canal 5 (2135MHz a 2500MHz), debido a que a su comportamiento mostrado a lo largo de la semana de medición.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda para tener una mayor precisión en los datos y el análisis obtenido, contar con un dispositivo capaz de subdividir los canales al mismo tiempo para tener una mayor granularidad en el estudio propuesto de cada canal.

Para evitar una elevada pérdida es recomendable tener una antena con una alta ganancia y un cable de ultra baja pérdida como el utilizado en este estudio, el cual nos ayudó a no necesitar de un amplificador y evitar introducirle a nuestros datos un mayor ruido en la potencia.

Es recomendable en esta banda de frecuencia reformar parte de las leyes de utilización de los canales ya asignados, para que la nueva tecnología pueda seguir en crecimiento y no tener el problema de la escases de espectro. Demostrado en este estudio que en muchos canales su asignación para esta zona de medición está siendo muy poco utilizada.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Foster Mclan & Co. En colaboración con Cave Martin y Jones W. Robert “Gestión del Espectro radioeléctrico” Disponible en: <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/Section.1247.html>(Modulo 5 Consultado el 30 de Enero del 2015).
- [2] Comunicación de la comisión al consejo, al parlamento europeo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones sobre un acceso rápido al espectro para los servicios de comunicaciones electrónicas inalámbricas a través de una mayor flexibilidad. Disponible en: [http://www.europarl.europa.eu/registre/docs\\_autres\\_institutions/commission\\_europeenne/com/2007/0050/COM\\_COM\(2007\)0050\\_ES.pdf](http://www.europarl.europa.eu/registre/docs_autres_institutions/commission_europeenne/com/2007/0050/COM_COM(2007)0050_ES.pdf) (Consultado el 11 de Noviembre del 2015).
- [3] VNI Mobile forecast highlights 2013-2018 Disponible en: [http://www.cisco.com/assets/sol/sp/vni/forecast\\_highlights\\_mobile/index.html](http://www.cisco.com/assets/sol/sp/vni/forecast_highlights_mobile/index.html)(Consultado el 15 de Enero del 2015).
- [4] Rec. UIT-R M.1036-2 1RECOMENDACIÓN UIT-R M.1036-2 Disposiciones de frecuencias para la implementación de la componente terrenal de las telecomunicaciones móviles (Consultado el 15 de Enero del 2015).

- [5] Fernández Díaz Matías Gerente Regulatorio, GSMA Latinoamérica “Políticas de asignación del Espectro en A. latina”  
“Disponible en:  
<http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2013/11/2.7.-Mat%C3%ADas-Fernandez-GSMA-Pol%C3%ADticas-de-Asignaci%C3%B3n-de-Espectro.pdf>(Consultado el 15 de Enero del 2015).
- [6] Plan Nacional de Frecuencias Ecuador 2012 Disponible en:  
[http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan\\_nacional\\_frecuencias\\_2012.pdf](http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf) (Consultado el 5 de Noviembre del 2014).
- [7] Radio cognitiva: tecnología inteligente para redes inalámbricas.  
Disponible en: [http://cordis.europa.eu/result/rcn/92095\\_es.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/92095_es.html)  
(Consultado el 1 de Febrero del 2015).
- [8] Una radio que salta de frecuencia en frecuencia. Disponible en:  
[http://www.technologyreview.es/read\\_article.aspx?id=40594](http://www.technologyreview.es/read_article.aspx?id=40594)(Consultado el 1 de Febrero del 2015).
- [9] Antenas Inteligentes. Disponible en:  
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15/11/Capitulo4.pdf>  
(consultado el 10 de febrero del 2015)
- [10] Luque Ordoñez Javier “Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico” Disponible en:

[http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/062017.pdf](http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf) (Consultado el 12 de Noviembre del 2014).

- [11] Radiaciones Electromagnéticas Disponible en: <http://astrojem.com/radiacionelectromagnetica.html>(Consultado el 29 de Noviembre del 2014).
- [12] Radiación Electromagnética: Energía con Doble Personalidad Disponible en: <https://naturalmenteciencias.wordpress.com/2013/04/04/radiacion-electromagnetica-energia-con-doble-personalidad/>(Consultado el 29 de Noviembre del 2014).
- [13] Bonastre Muñoz Jordi “Propagación de Ondas Electromagnéticas” Disponible en: [http://www.exabyteinformatica.com/uoc/Fisica/Fisica\\_II\\_ES/Fisica\\_II\\_ES\\_\(Modulo\\_5\).pdf](http://www.exabyteinformatica.com/uoc/Fisica/Fisica_II_ES/Fisica_II_ES_(Modulo_5).pdf) (Consultado el 1 de Diciembre del 2014).
- [14] Que es la UIT Disponible en: <http://www.itu.int/itudoc/gs/promo/gs/member/81286-es.pdf>(Consultado el 2 de Diciembre del 2014).
- [15] Cuadro Nacional De Frecuencias Disponible en: [http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG\\_ID=19](http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG_ID=19) (Consultado el 11 de Noviembre del 2014).
- [16] Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información

Disponible en:<http://www.telecomunicaciones.gob.ec/el-ministerio/>  
(Consultado el 19 de Noviembre del 2014).

- [17] Concejo Nacional de Telecomunicaciones Disponible en:  
<http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/conatel/>(Consultado el 19 de Noviembre del 2014).
- [18] Secretaria Nacional de Telecomunicaciones Disponible en:  
[http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/secretaria\\_nacional\\_telecomunicaciones/](http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/secretaria_nacional_telecomunicaciones/) (Consultado el 19 de Noviembre del 2014).
- [19]Superintendencia de Telecomunicaciones Disponible en:  
<http://supertel.gob.ec/>(Consultado el 19 de Noviembre del 2014).
- [20]International Mobile TelecommunicationDisponible en:  
[http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1224-1-201203-1!!PDF-S.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1224-1-201203-1!!PDF-S.pdf)(consultado el 04 de Noviembre del 2014)
- [21]Sistemas de Radio búsqueda Disponible en:  
[http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.499-5-1990-PDF-S.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.499-5-1990-PDF-S.pdf)(consultado el 11 de Noviembre del 2014)
- [22]Sistemas de Transmisión Satelital Disponible en:  
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/1102/4/04%20ISC%20071%20CAPITULO%20DOS.pdf>(Consultado el 11 de Noviembre del 2014)
- [23] Uso Eficiente del Espectro y “White Space” por José Manuel HuidroboDisponible en:

<http://www.zonamovilidad.es/noticia/2392/Reportajes/Uso-eficiente-del-espectro--y-White-Spaces.html>(Consultado el 30 de Octubre del 2014).

- [24] MATLAB El lenguaje del cálculo técnico Disponible en: [http://es.mathworks.com/products/matlab/index.html?s\\_tid=gn\\_loc\\_drop](http://es.mathworks.com/products/matlab/index.html?s_tid=gn_loc_drop)(Consultado el 7 de Noviembre del 2014).
- [25] Behaviour Study of TV Bands in Ecuador for a Potential use of Opportunistic Spectrum Access Technologies (Consultado el 25 de Enero del 2015).
- [26] Procesos Determinísticos y estocásticos Disponible en: <https://sites.google.com/site/simulacionrvd/home/tarea-2/tarea-3>(Consultado el 28 de Noviembre del 2014).
- [27] D.R. Cox, H.D. Miller (1970). “The Theory Stochastic Processes”. Methuen (Consultado el 5 de Febrero del 2015).
- [28] A.T. Bharucha-Reid (1960). “Elements Of The Theory of Markov Processes And Their Applications”. McGraw Hill Series in Probability and Statistics.(Consultado el 5 de Febrero del 2015).